Специальная астрофизическая обсерватория
Российская академия наук

Алгоритм работы управляющего вычислительного комплекса БТА

Автор программы: Шергин В.
Автор инструкции: Максимова В.

Нижний Архыз
2000

Содержание

Созданная, на базе PC, система управления БТА позволяет управлять телескопом в следующих режимах: наведение по **A** и **Z**, наведение по α и δ, ведение, тестирование телескопа, работа в ручном пультовом режиме (полуавтомат).

Кроме того оставлена возможность движения телескопа по осям **A** и **Z** без использования PC, но только при работе с ЦПУ.

Все основные алгоритмы непосредственного управления БТА реализованы в главной управляющей программе **bta_control**.

1 Условия работы.

- Работа на главном управляющем компьютере АСУ – **acs1** (**acs1.bta.sao.ru**) под ОС **Linux**;
- Графическая оболочка **X11** под **Linux** на главном управляющем компьютере АСУ – **acs1** или **acs5** (для запуска интерфейса оператора **bta_oper**);

Алгоритм УВК БТА решает следующие задачи:

1. Формирование информации о текущем времени;
2. Задание коордитат;
3. Расчёт текущих координат;
4. Ввод в УВК информации о положении телескопа, купола, состоянии атмосферы;
5. Управление приводами телескопа;
6. Контроль работы аппаратуры телескопа и действий оператора;
7. Моделирование приводов телескопа;
8. Работа с интерфейсом оператора, работа по сети.

2 Формирование информации о текущем времени.

Хранение и выдача среднего (солнечного) времени осуществляется в системе АСУ БТА с помощью синхронометра Ч7-15. Время на нем синхронизируется вручную по радиосигналам точного времени (из Москвы) с UTC, затем вводится поправка DUT-1 для получения среднего времени. Управляющая программа считывает это среднее Московское время и рассчитывает величину текущего звездного времени, которое в дальнейшем используется для пересчёта координат α, δ в **A,Z**.

2.1 Московское время.

В момент запуска управляющей программы, при старте **OC Linux**, производится синхронизация времени операционной системы с Ч7-15. В дальнейшем программа работает по этому системному времени. Один раз в минуту производится сверка Ч7-15 и системного времени. При этом определяется коэффициент дрейфа часов компьютера относительно Ч7-15. Этот коэффициент и используется в течение следующей минуты.

Время с Ч7-15 считывается в виде двоично-десятичного кода с точностью до 0.01 сек. Прерывание 50Гц не используется. Точности 0.01сек может оказаться недостаточно для корректного ведения, поэтому сверка часов происходит в момент переброса младшего разряда Ч7-15. Это гарантирует, что следующие невидимые его разряды равны нулю. Таким образом достигается точность времени лучше 1.0 мс.

Чтобы обеспечить максимально точную временну́ю привязку рассчётных координат и положения телескопа считывание и запоминание текущего времени в программе делается вместе со считыванием кодов датчиков ДУП.

Если за, приблизительно, 0.1 сек код на Ч7-15 не меняется, то выдается признак отказа Ч7-15 и ежеминутная сверка не производится, а после пяти отказов подряд программа переходит в режим работы без Ч7-15. Этот принцип позволяет проводить наблюдения и после отказа Ч7-15 (с ухудшающейся точностью).

2.2 Звездное время.

При старте управляющей программы запоминается московское время старта программы M_0. Оно переводится в стартовое звездное время S_{L0} по формуле:

$$S_{L0} = S_{G0} + (M_0 - 3^h) \times (1 + \mu) + \lambda \qquad (1)$$

где:

- S_{L0} – стартовое звездное время;
- S_{G0} – звездное истинное время в гринвичскую полночь;
- M_0 – московское время;
- λ – долгота места наблюдения;
- μ = 0,0027379093.

Примечание: в текущей версии программы стартовое звездное время S_{L0} рассчитывается при помощи запуска программы О.Верходанова **epoch**.

Текущее звездное время считается по формуле:

$$S = S_{L0} + (M - M_0)(1 + \mu) \tag{2}$$

где М – текущее среднее московское время.

3 Расчёт текущих координат.

Расчёт координат производится в основном цикле управления телескопом с частотой 10Гц. В цикл расчёта координат входит пересчёт текущих α и δ в **A, Z** и **P**, вычисление поправок положения на рефракцию и геометрию телескопа (СКН), обратный пересчёт положения телескопа по **A, Z** в α, δ.

3.1 Расчёт азимутальных координат.

Производится пересчёт текущих координат α и δ, на текущий момент звездного времени S, в азимутальные координаты **A, Z, P**.
Где:

- α – прямое восхождение объекта;
- δ – склонение объекта;
- A – положение объекта по азимуту;
- Z – положение объекта по зенитному расстоянию;
- P – параллактический угол.

Сначала вычисляется часовой угол объекта **t** по формуле:

$$t = 15\ (S - \alpha)\ \ (\text{в градусах}) \tag{3}$$

Далее используются формулы сферической тригонометрии:

$$\cos Z = \cos\varphi\cos\delta\cos t + \sin\varphi\sin\delta \tag{4}$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos\delta\sin t}{\cos\delta\sin\varphi\cos t - \cos\varphi\sin\delta} \tag{5}$$

Для вычисления **P** используется формула:

$$sinP = \frac{\sin t\cos\varphi}{\sin Z} \tag{6}$$

$$\cos P = \frac{\sin\varphi\cos\delta - sin\delta\cos\varphi\cos t}{\sin Z} \tag{7}$$

$$P = \operatorname{arctg} \frac{\sin P}{\cos P} \tag{8}$$

Для решения проблемы выбора из двух возможных положений по **A** в северной зоне (при **A** $> 120°$ или **A** $< -120°$) в алгоритм расчёта **A** входит значение азимута сравнения (обычно это просто предыдущее значение **A**). Выбирается ближайшее значение к азимуту сравнения.

3.2 Расчёт поправки на рефракцию и аберрацию.

Поправки на рефракцию рассчитываются по формуле:

$$\Delta Z_{(\text{реф})} = -60.2 \frac{273B}{760(273+t)} \operatorname{tg} Z \left(1 - \frac{273+t}{273}\, 0.00726 \sec^2 Z\right) \tag{9}$$

где:

- B – давление в мм.рт.ст;
- t – температура атмосферы в градусах.

Эти значения фиксируются в момент перехода телескопа в режим **ведения** и не меняются до выхода из этого режима.

Расчёт поправок на суточную аберрацию в данном варианте программы не производится, поскольку значение этих поправок на порядок меньше ошибок наведения. В предыдушей программе в **ОС DOS** такого расчёта тоже не было.

3.3 Расчёт поправок на геометрию телескопа (СКН).

Эти поправки рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta A = K_0 + K_1 \frac{1}{\operatorname{tg} Z} + K_2 \frac{1}{\sin Z} - K_3 \frac{\sin A}{\operatorname{tg} Z} + K_4 \frac{cos\delta \cos P}{sinZ} \tag{10}$$

$$\Delta Z = K_5 + K_6 \sin Z + K_7 \cos Z + K_3 \cos A + K_4 \cos\varphi \sin A \tag{11}$$

где:

- $K_0(A_0)$ – поправка нуль-пункта датчика азимута;
- K_1 (L) – наклон горизонтальной оси;
- K_2 (k) – коллимационная ошибка;
- K_3 (F) – широтная ошибка вертикальной оси;
- $K_4(\Delta S)$ – ошибка часового угла;

- $K_5(Z_0)$ – нуль-пункт датчика Z;
- K_6 (d) – гнутие трубы;
- $K_7(d_1)$ – косинусоидальный коэффициент гнутия трубы.

Для каждого фокуса (**ПФ, N1, N2**) используется свой набор коэффициентов. Они определяются методом наименьших квадратов по результатам тестовых наблюдений (серия наведений по координатам из Астрономического ежегодника).

Подробный расчёт поправок СКН приведен в отчёте Вайнберга В.Я. (ЦНИИГАиК) и отчёте Снежко Л.И и Шхагошевой З.У. – „Точностные характеристики наведения БТА".

3.4 Обратный пересчёт.

Обратный пересчёт положения телескопа это преобразование значений **A** и **Z**, полученных с датчиков угла, в координаты α, δ на текущий момент звездного времени. Расчёт производится по формулам:

$$\operatorname{tg} t = \frac{sinZsinA}{cosAsinZsin\varphi + cosZcos\varphi} \tag{12}$$

$$\alpha = \left(S - \frac{t}{15}\right) \tag{13}$$

$$sin\delta = cosZsin\varphi - cosAsinZcos\varphi \tag{14}$$

Перед тем как производить обратный пересчёт вычисляются поправки на рефракцию и геометрию для положения телескопа и вычитаются из значений **A** и **Z**.

3.5 Порядок расчёта координат.

Порядок расчёта координат в основном цикле управления 10Гц.

1. Расчёт текущего звездного времени происходит сразу после считывания значений ДУП по **A, Z, P**.
2. Пересчёт текущих α, δ в **A, Z, P**. Пересчёт ведется в вариантах для нормального объекта и для неподвижного (стационар).
3. Расчёт и добавление поправок на рефракцию для **Z** объекта.
4. Расчёт поправки на рефракцию для **Z** телескопа.
5. Расчёт и добавление поправок СКН для объекта.
6. Расчёт поправок СКН для телескопа.

7. Вычитание поправок СКН и рефракции из **A** и **Z** телескопа и обратный пересчёт их в α, δ телескопа.

8. Коррекция текущих координат α, δ с учётом скорости движущегося объекта.

4 Алгоритм наведения.

В программе существуют два идейно близких, но отличных в деталях алгоритма управления двигателями наведения. Это алгоритм наведения телескопа на звезду (с последующим переходом в режим **ведения**) и алгоритм наведения телескопа в определенное положение по **A** и **Z** (с последующей остановкой).

4.1 Общие принципы наведения.

1. Управляемый разгон с ограниченным ускорением **a**, т.е. программное увеличение скорости задания **V** на каждом шаге управления на $\mathbf{a}/10$ (10Гц). Скорость возрастает либо до максимально установленной скорости ($\mathbf{V}_{max\ A} = 27'$/сек, $\mathbf{V}_{max\ Z} = 25'$/сек), либо до меньшей, при переезде на небольшие расстояния.

2. Дальнейшее движение выполняется на этой (постоянной) скорости $\mathbf{V_{max}}$.

3. Торможение выполняется как равнозамедленное движение с постоянным ускорением торможения $\mathbf{a}_{\text{торм}}$.

4. Если по одной координате телескоп уже доехал, а по другой еще нет – включается режим непрерывного подслеживания положения, который необходим либо из-за движения объекта, либо из-за дебаланса усилителя привода координаты.

5. Если рассогласование по координате меньше чем $40''$ ($\Delta_{ok} < 40''$), то считаем что телескоп „приехал". Когда это условие выполняется для обеих координат, то включается счетчик времени $\mathbf{t}_{ok}$.Если $\mathbf{t}_{ok} \geq 3$*сек*, то режим наведения считается законченным.

4.2 Наведение на звезду.

В этом режиме в начале каждого такта управления производится дополнительный расчёт $\mathbf{A}_{(\text{упреждения})}$, $\mathbf{Z}_{(\text{упреждения})}$(в дальнейшем $\mathbf{A}_{(\text{упр})}$, $\mathbf{Z}_{(\text{упр})}$) объекта на момент звездного времени:

$$S_{(\text{упр})} = S + \Delta t_{(\text{упр})} \qquad (15)$$

где $\Delta t_{(\text{упр})}$ – время упреждения равное предполагаемому времени смены режима **наведение** – **ведение**. Оно складывается из предполагаемого времени остановки приводов и времени разгона привода ведения до базовой скорости объекта. Базовая скорость объекта получается из этого же расчёта. Например по азимуту:

$$V_{(A\,\text{баз})} = \frac{A_{(\text{упр})} - A_{(\text{тек})}}{\Delta t_{(\text{упр})}} \tag{16}$$

Скорость по **Z** рассчитывается аналогично. В дальнейшем именно $\mathbf{A}_{(\text{упр})}$ и $\mathbf{Z}_{(\text{упр})}$ используются для расчёта рассогласований.

Относительная скорость торможения и отработки рассогласования, для слежения за объектом, рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{относ})} = \sqrt{2|\Delta| a_{(\text{торм})} + a^2_{(\text{торм})}} - a_{(\text{торм})} \tag{17}$$

где:

- $\mathbf{a}_{(\text{торм})}$ – ускорение торможения;
- Δ – рассогласование.

По этой формуле (при $\mathbf{a}_{(\text{торм})} = 70''/\text{с}$ и максимальной скорости $\mathbf{V} = 27'/c$) торможение начинается при рассогласовании $\Delta = 5°40'$ и происходит равнозамедленно.

На рисунке представлена зависимость скорости **V** от рассогласования Δ.

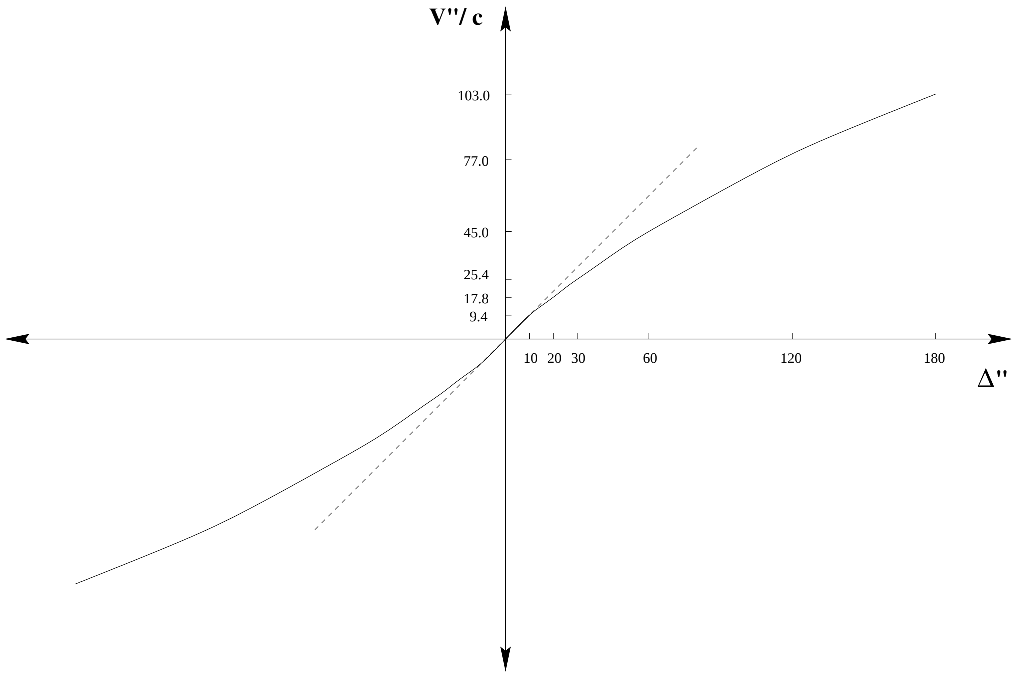


Рис.1. Зависимость скорости **V** от рассогласования Δ.

При малых рассогласованиях, меньше $30''$, формула задает линейную отработку с коэффициентом около 1.0. Это используется для режима слежения за объектом при помощи привода наведения.

Скорость задания на привод устанавливается как

$$V_{(\text{прив})} = V_{(\text{относ})} + V_{(\text{баз})} + \Delta V \tag{18}$$

где ΔV – поправка скорости привода (аналог изодрома). В большинстве случаев она равна нулю. Ее расчёт начинается после пяти секунд нахождения в зоне Δ_{ok} – **приехали** по формуле:

$$\Delta V = \Delta V + \Delta 0.01''/c \tag{19}$$

Это происходит на каждом шаге управления, т.е. 10 раз в секунду.

4.3 Наведение на фиксированное положение по A и Z.

При реализации этого режима ставилась задача установки телескопа в фиксированное положение с достаточной точностью $(10'' - 20'')$ только приводами наведения, причем с первой попытки и при „неидеальном" состоянии привода (т.е. при меняющейся зоне нечувствительности привода). Для этого определяется минимальная скорость – $\mathbf{V}_{(min)} = 1'/c$, которая заведомо больше зоны нечувствительности привода и зона движения на минимальной скорости – $\Delta_{(min)} = 5'$. Также рассчитывается зона $\Delta_{(max)}$– начало равнозамедленного торможения от скорости $\mathbf{V_{(max)}}$ так, чтобы скорость движения упала до $\mathbf{V_{(min)}}$ к моменту подъезда к зоне $\Delta_{(min)}$.

$$\Delta_{(max)} = \frac{V^2_{(max)} - V^2_{(min)}}{2a_{(\text{торм})}} + \tau\, V_{(max)} + \Delta_{(min)} \tag{20}$$

где τ – время задержки отработки привода (принято $\tau = 1$сек).

Скорость в зоне торможения рассчитывается по формуле:

$$V = \sqrt{2\left(|\Delta| - \Delta_{min}\right) a_{(\text{торм})} + V^2_{min}} - \tau\, a_{(\text{торм})} \tag{21}$$

Начиная с Δ_{min} до Δ_{ok} устанавливается постоянная скорость $\mathbf{V_{min}}$, а начиная с Δ_{ok} скорость равномерно уменьшается до нуля.

Если телескоп по одной координате уже подъехал, а по второй еще едет – включается расчёт поправки скорости привода ΔV, который аналогичен описанному ранее. Это сделано для того, чтобы скомпенсировать дебаланс усилителя.

5 Алгоритм ведения.

В отличие от алгоритма наведения алгоритм ведения имеет не два варианта, а пять фаз (этапов), которые последовательно сменяют друг друга. На каждом из этих этапов решаются разные задачи и, соответственно, работают разные алгоритмы управления приводом ведения.

На каждом такте управления производится расчёт базовых скоростей объекта путем расчёта координат **A, Z, P** с упреждением на одну секунду. Разница с текущими координатами и дает эти скорости. Далее рассчитывается рассогласование как разница между текущими (расчётными) и измеренными (реальными) координатами.

5.1 Фаза Останов.

Фаза **Останов** возникает либо после наведения, либо при начальном старте сразу в режиме **ведения** (близкий объект). При входе в это состояние включаются привода ведения на нулевой скорости и ожидаются условия для перехода в следующую фазу. Такими условиями являются появление ответного сигнала от привода (отработка ведения) и физический останов телескопа (измеренные скорости равны нулю).

5.2 Фаза Старт.

Фаза **Старт** это разгон привода до базовой скорости объекта. Осуществляется управляемый разгон с постоянным ускорением $a_A = 10''/c^2$, $a_Z = 1.7''/c^2$.
Фаза завершается когда обе скорости, по **A** и **Z**, достигли соответствующих скоростей объекта. Необходимость этой фазы следует из принципа наведения с упреждением, описанного ранее. Эта фаза синхронизирует движение телескопа с движением неба.

5.3 Фаза Переезд на объект.

Алгоритм во многом аналогичен алгоритму **наведения на звезду**. В основном эта фаза нужна либо когда происходит **старт** в **ведении** без **наведения**, либо при переезде на близкий объект в режиме **ведения** без остановки телескопа. Если переход из режима **наведения** в **ведение** происходит через две предыдущие фазы, то фаза **переезд на объект** бывает очень короткой. Условием окончания этой фазы является вхождение в зону рассогласований $\Delta_A = 5''/sinZ$, $\Delta_Z = 5''$. Выбор скорости осуществляется по формуле аналогичной формуле используемой в **наведении**:

$$V_{(\text{расс})} = \sqrt{2\,|\Delta|\,a + \,a^2} - a \tag{22}$$

где $a_A = 10''/\text{c}$, $a_Z = 1.7''/c$.

По этой формуле считается относительная скорость, а скорость задания на привод устанавливается как:

$$V_{(\text{прив})} = V_{(\text{отн})} + V_{(\text{баз})} \tag{23}$$

где $V_{(\text{баз})}$ – расчётная скорость объекта.

5.4 Фаза Слежение за объектом.

В этом режиме обеспечивается точная установка телескопа на объект и максимально качественное его сопровождение. При этом возможны три режима работы, которые устанавливаются оператором через программный интерфейс.

1. Учёт рассогласования.
2. Определение поправки скорости привода (изодром).
3. Использование цифрового фильтра рассогласований.

Нормально все эти режимы включены. Их выключение требуется для тестово - отладочных работ с телескопом и программами. Скорость управления приводом считается по формуле:

$$V_{(\text{прив})} = V_{(\text{баз})} + V_{(\text{расс})} + V_{(\text{изод})} \tag{24}$$

где

- $V_{(\text{баз})}$ – базовая скорость объекта,
- $V_{(\text{расс})}$ – добавка к скорости для слежения по рассогласованию (если режим **учёт рассогласования** выключен, то $V_{(\text{расс})} = 0$),
- $V_{(\text{изод})}$ – поправка скорости привода (если режим **изодром** выключен, то $V_{(\text{изод})}= 0$).

1. Учёт рассогласования.

Скорость рассогласования рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{расс})} = \sqrt{2|\Delta|a + \left(\frac{a}{k}\right)^2} - \frac{a}{k} \tag{25}$$

где k – коэффициент отработки.

Для **A** коэффициент $k_A = 0.75$, для **Z** коэффициент $k_Z = 0.5$.

На рисунках представлена зависимость скорости **V** от рассогласования Δ для **A** и **Z**.

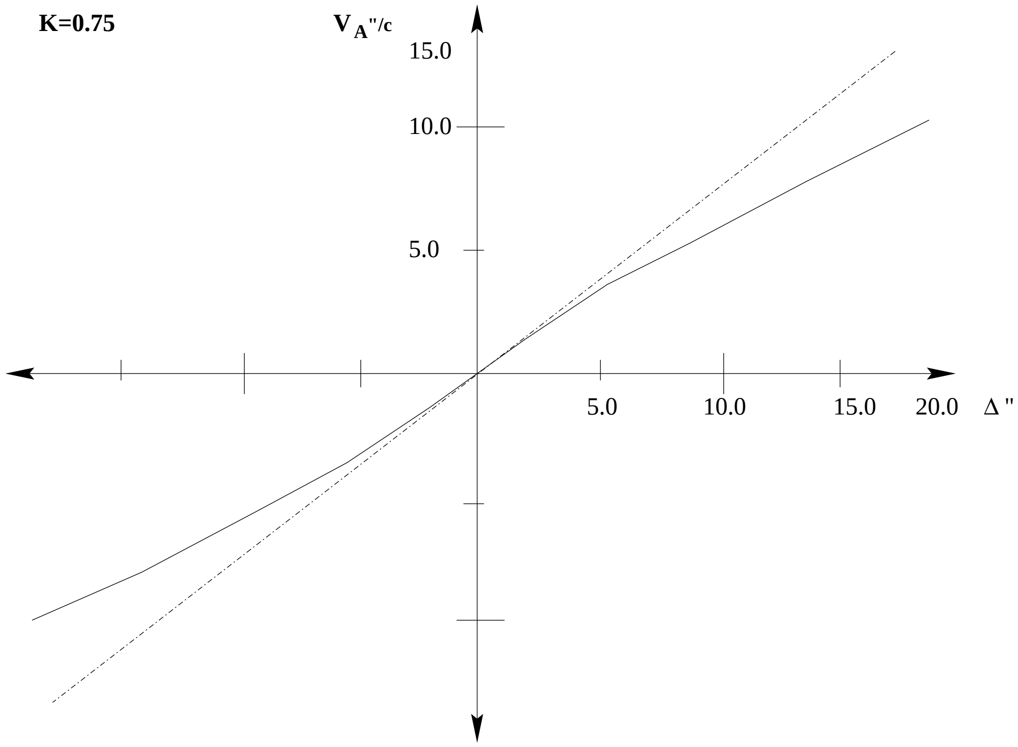


Рис.2. Зависимость скорости V от рассогласования Δ (для **A**).

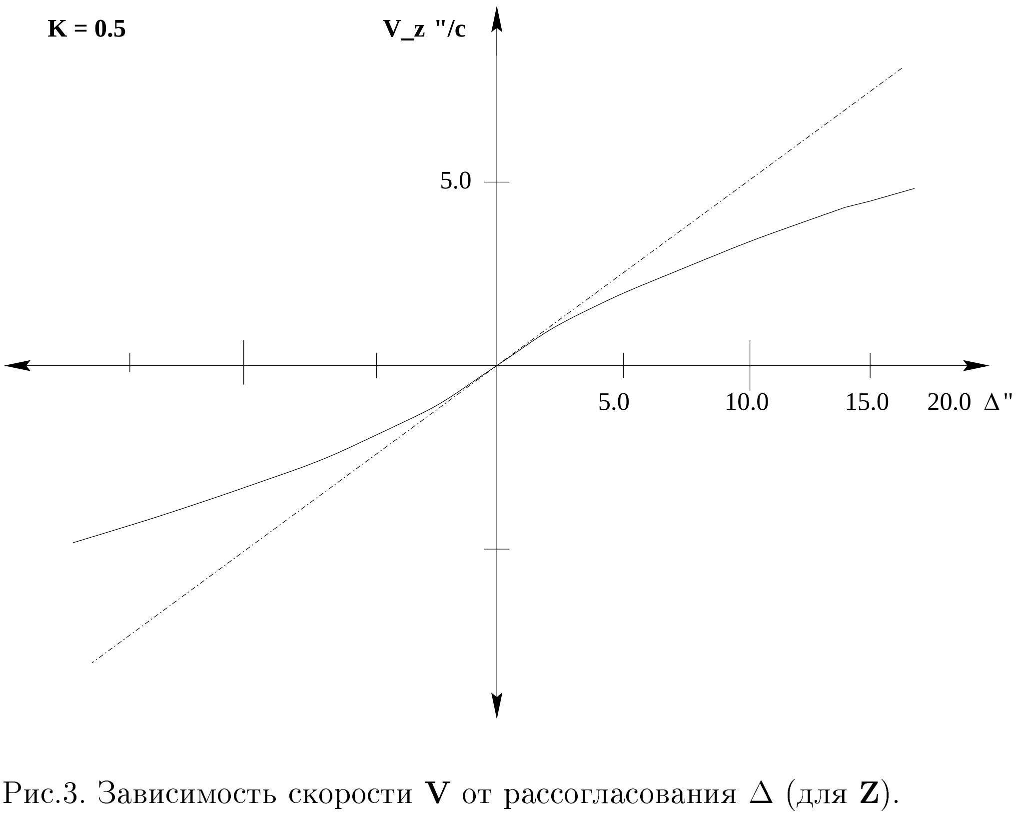


Рис.3. Зависимость скорости **V** от рассогласования Δ (для **Z**).

2. Расчёт поправки скорости привода (изодром).

Поправка скорости привода рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{изод}.n)} = V_{(\text{изод}(n-1))} + \Delta k_{(\text{изод})} \tag{26}$$

где $k_{(\text{изод}A)} = 0.01$, $k_{(\text{изод}Z)} = 0.005$.
Расчёт производится только тогда, когда включен режим **учёт рассогласования**, иначе значение $V_{(\text{изод})}$ не изменяется.

Существуют еще внутренние критерии расчёта изодрома, которые должны определять вошла ли система в нормальный режим **слежения по рассогласованию** (т.е. Δ – „хорошие"), иначе сохраняется текущее значение $V_{(\text{изод})}$. Этими критериями являются следующие условия:

- рассогласования не слишком большие –
  $k_A\Delta < 0.05\,V_{(\text{баз})} + 0.8$
  $k_Z\Delta < 0.05\,V_{(\text{баз})} + 0.4$
  где 0.05 – предполагаемая максимальная 5% скоростная ошибка привода, а 0.4 и 0.8 – предполагаемые максимальные зоны нечувствительности приводов по **A** и **Z**.

- изменения (вариации) Δ за последние две секунды не превышают $0.35''$ (два дискрета датчика).

Если расчёт изодрома включается первый раз после перенаведения телескопа, то сначала делается „быстрый"расчёт с коэффициентом умноженым на три (т.е. $k_{(\text{изод}A)} = 0.01 \times 3 = 0.03$ и, соответственно, $k_{(\text{изод}Z)} = 0.005 \times 3 = 0.015$).

Условием перехода на нормальный расчёт является появление рассогласований разного знака. Очень маленькие (формальные) рассогласования не учитываются.

3. Работа цифрового фильтра.
Если цифровой фильтр выключен, то $V_{(\text{расс})}$ рассчитывается по прежней формуле (см. с. 13). Если цифровой фильтр включен, то последние двадцать значений Δ (т.е. за 2 секунды) умножаются на коэффициенты цифрового фильтра и суммируются. Полученное значение считается фильтрованным рассогласованием. Коэффициенты фильтра рассчитаны по другой программе так, чтобы получился режекторный фильтр с подавлением более чем в пять раз полосы частот 0.6 – 1.0 Гц. Цель включения цифрового фильтра – не провоцировать колебаний телескопа на главной резонансной частоте со стороны управления.

Если вдруг рассогласование увеличилось до $\Delta_A = \frac{25''}{sinZ}$, а $\Delta_Z = 25''$, то фаза **слежение** возвратится в фазу **переезд на объект**.

Надпись в интерфейсе оператора – **ошибка в допуске** означает, что в течение двух секунд рассогласования не выходят за $\pm 0.23''$ (1.5 дискрета датчика).

5.5 Фаза Коррекция телескопа.

В фазу **коррекция телескопа** можно попасть только из предыдущей фазы **слежение за объектом**. Это происходит в том случае если устанавливается какая либо скорость коррекции отличная от нуля.

Скорость коррекции ставится либо по команде через программный интерфейс, либо нажатием „физической"кнопки на одном из старых пультов. Последовательность (с частотой 10 Гц) установленных скоростей коррекции пропускается через простой цифровой фильтр, усредняющий последние десять значений (т.е. за 1 секунду). Это обеспечивает плавное включение / выключение ступенек скоростей, естественно, за счёт более медленной реакции системы. Этот принцип также позволяет выполнять небольшие коррекции, не переключаясь на меньшую скорость, за счёт кратковременных включений.

При работе в **N1** и **N2** реализован режим коррекции по **X,Y** (вертикаль – горизонталь), а не по **A, Z**. Для этого используются следующие формулы:

для **N1**

$$V_{kA} = -cosZV_X - sinZV_Y \tag{27}$$

$$V_{kZ} = -sinZV_X + cosZV_Y \tag{28}$$

для **N2**

$$V_{kA} = sinZV_X - cosZV_Y \tag{29}$$

$$V_{kZ} = cosZV_X - sinZV_Y \tag{30}$$

где V_{kA}, V_{kZ} – скорости коррекции по **A** и **Z**;
V_X, V_Y – скорости коррекции в горизонтальном и вертикальном направлении.

Скорость для управления приводом в этой фазе считается по следующим формулам:

$$V_{(\text{прив}A)} = \frac{V_{kA}}{sinZ} + V_{(\text{баз}A)} + V_{(\text{изод}A)} \tag{31}$$

$$V_{(\text{прив}Z)} = V_{kZ} + V_{(\text{баз}Z)} + V_{(\text{изод}Z)} \tag{32}$$

Т.е. во время коррекции слежение за объектом отключается, фиксируется текущая расчитанная скорость и к ней добавляется скорость коррекции.

В режиме **коррекции** на каждом такте фиксируется обратный пересчёт. Т.е. обратный пересчёт координат **A, Z** в α, δ телескопа переписывается в текущие координаты α, δ объекта и таким образом корректируются координаты объекта. После отключения коррекции ($V_{kA} = 0$) и ($V_{kZ} = 0$) состояние коррекции сохраняется еще 1.5 секунды для того, чтобы телескоп успел, реально, восстановить прежнюю скорость. После чего восстанавливается режим **слежения**. В качестве координат для режима **ведения** остается последний, зафиксированный обратный пересчёт в момент отключения режима **коррекции**.

6 Тестовые режимы.

Для сосредоточения всех функций работы с аппаратурой только в управляющей программе необходимо чтобы она включала в себя функции, позволяющие разрабатывать основные тесты для телескопа в виде отдельных интерфейсных программ.

Для этой цели служат команды программного интерфейса, позволяющие напрямую включать привод в режимах **наведение** и **ведение** и устанавливать значения скоростей движения приводов **A, Z, P2**. Также есть, пока, команды прямой установки кодов на ПКН **A и Z** (команда установки ПКН **P2** уже неактуальна).

После подачи этих команд управляющая программа переходит в режим **Тест**, включается привод (наведения или ведения) и на преобразователи подаются коды, соответствующие заданным скоростям в выбранном режиме.

Заданные через программный интерфейс скорости по **A** и **Z** могут изменяться кнопками коррекции на старых пультах управления. При этом скорости коррекции умножаются на десять, что позволяет проверять работу этих пультов и легко менять скорость при тестировании телескопа.

7 Режим ручного управления по A и Z.

Для реализации возможности работы оператора с удаленного рабочего места (комната N204) часть пультовых операций, которые ранеее производились с ЦПУ, переведена на компьютерное управление (автор Данилов В.Г.). Для этого в главную управляющую программу введен специальный режим работы **Пульт**. Этот режим включается и выключается по командам от программного интерфейса. Он похож на режим **Тест** в том смысле, что через программный интерфейс подаются такие же команды установки скорости на привода, но включаются по этим командам только привода наведения. При этом привод наведения по **A** и привод наведения по **Z** могут включаться отдельно.

Для движения в нерабочей зоне ($Z > 80^\circ$ и $Z < 5^\circ$) введен специальный подрежим **Зенит – Горизонт**. Он включается также по команде от программного интерфейса и только в нерабочей зоне. При этом включается реле и подается сигнал в РК. В свою очередь при получении команды **движение по Z** проверяется в какой зоне находится телескоп и установлен ли режим **Зенит – Горизонт**. Если одно не соответствует другому, то команда отменяется.

Аналогично для движения по **A**. Если не включен режим **Зенит – Горизонт** движение по A в зоне $Z > 80^\circ$ запрещено.

Реле **Вкл. СУ** предназначено для включения системы управления, т.е. для включения маслостанции и ЭМУ. Оно включается на 2.0 секунды от программного интерфейса.

Реле **Пуск** включается на 2.0 секунды либо при получении команды **пуск телескопа** от программного интерфейса, либо при включении приводов А или Z в режиме **Пульт**.

8 Формирование кода ПКН по А и Z.

Значение скорости $V_{(\text{прив}A)}$ и $V_{(\text{прив}Z)}$ в виде кода подается соответственно на ПКН$_A$ или ПКН$_Z$. ПКН (преобразователь код – напряжение) – это специальный одиннадцатиразрядный ЦАП, на выходе которого напряжение изменяется от 0 до 10 v при f = 400 Гц. Десять разрядов задают величину напряжения, а одиннадцатый разряд – знаковый. Он задает фазу выходного сигнала, от которой зависит направление движения привода. При формировании кода знаковый разряд устанавливается в соответствии со знаком скорости привода, а остальные (десять) – делением модуля скорости на цену младшего разряда. Скорость зависит от режима работы (**наведение**, **ведение**) и **А** , **Z** телескопа. Она должна быть равна $V_{(max)}/2^{10}$.

8.1 Наведение по А.

Теоретически $V_{(maxA)} = 45'$/сек, т.е. теоретическая цена младшего разряда равна $\approx 2.64''$/сек, но реально (в настоящий момент) привод отрегулирован так, что он не добирает $\sim 14\%$ от установленной скорости. Поэтому в управляющей программе $V_{(maxA)} = 38.7'$/сек и, соответственно, цена младшего разряда $\approx 2.269''$/сек.

В зонах около концевиков $\pm 239°$ максимальная скорость наведения ограничивается. Ограничение начинается за 15° до концевика и плавно меняется от $27'$/сек (при А = 224°) до $2'$/сек (при А = 239°). Ограничивается также и максимальное ускорение $a_{(\text{уск})}$ и $a_{(\text{торм})}$, т.е. изменение скорости за один шаг управления – $a_{(\text{уск/торм})} = 2'/\text{сек}^2$.

8.2 Ведение по А.

ПКН азимута может работать в двух режимах. Цена младшего разряда в этих режимах отличается в четыре раза. Выбор режима управляется специальным сигналом – **масштаб А**. Если он выключен, то максимальная скорость $V_{(maxA)} = 210''$/сек. Если включен, то максимальная скорость $V_{(maxA)} = 52''$/сек. Соответственно цена младшего разряда в первом случае $\approx 0.2050''$/сек, а во втором $\approx 0.0513''$/сек. Режим переключается на рубеже скорости $50.0''$/сек.

Чтобы избежать частых переключений масштаба при прохождении этого рубежа, когда скорость варьируется алгоритмом отработки рассогласования, предусмотрен *гистерезис* переключения в $1''$/сек.

8.3 Наведение по Z.

Теоретическая $V_{(maxZ)} = 35'/$сек, но на практике привод отрегулирован с отличием примерно на 22%, т.е. $V_{(maxZ)} \approx 27.1'/$сек, что дает цену младшего разряда ПКН $\approx 1.59''/$сек (вместо $2.05''/$сек).

Ограничение максимальной скорости делается в зонах $Z > 60°$ (при движении с положительной скоростью) и $Z < 20°$ (при движении с отрицательной скоростью). Программное ограничение скорости дублируется аппаратными концевиками $Z = 60°$ и $Z = 20°$. Программа снижает скорость движения до $3.5'/$сек. Реально же скорость зависит от настройки аппаратных ограничений. Ограничивается также и максимальное ускорение $a_{(\text{уск})}$ и $a_{(\text{торм})}$, т.е. изменение скорости за один шаг управления – $a_{(\text{уск/торм})} = 2.5'/\text{сек}^2$.

8.4 Ведение по Z.

В этом режиме максимальная скорость $V_{(maxZ)} = 21''/$сек, а цена младшего разряда, соответственно, $\approx 0.0205''/$сек.

В тестовом режиме **ведения** с выключенным учётом рассогласования, т.е. когда скорость задания меняется очень плавно, включается специальный алогоритм статистического округления теоретически рассчитанной скорости до младшего разряда ПКН. При этом вероятность округления в большую или меньшую сторону зависит от величины отбрасываемой части. Этот алгоритм используется в режимах **ведения** по **A** и **Z**.

9 Управление приводом P2.

Привод поворотного стола традиционно работает в двух режимах – **режиме ручного управления** и режиме **автоматического ведения** от управляющей программы. В настоящий момент с вводом в работу нового привода **P2** (ДБУ) эти режимы практически полностью реализуются программно.

9.1 Режим ручного управления.

Режим ручного управления включается и управляется только командами через программный интерфейс. Сигналы с кнопок управления **P2** старых пультов в компьютер не заводились и поэтому с новым приводом эти кнопки не используются. Собственно включение режима **ручное управление** происходит при подаче команды (**движение в** $+$) и (**движение в -**). В реализации для нового привода появилась команда для установки скорости этого движения.

$$V_{(max)} = 45'/\text{сек},\ V_{(min)} = 1,26''/\text{сек}. \tag{33}$$

В команде **движение** может быть задан таймерный интервал по истечении которого управляющая программа сама остановит движение.

Если **Р2** находится в состоянии автоматического ведения в момент выдачи команды (+) или (−), то происходит переход в состояние **ручного управления** с последующим возвратом в режим **автоматического ведения**.

Изменение скорости происходит с ограничением по максимальному ускорению $20'/\text{сек}^2$, т.е. разгон до максимальной скорости и останов происходит приблизительно за 2 секунды. При возврате из движения с большой скоростью в режиме **ручного управления** в режим **автоматического ведения** скорость сначала плавно приводится к рассчётной (теоретической). При разнице этих скоростей <10% включается, описанный ниже, режим **ведения по рассогласованию**.

9.2 Режим автоматического ведения.

Этот режим работы **Р2** необходим для компенсации вращения поля при наблюдениях в **ПФ БТА**. Поэтому он может включаться только в режиме **ведения** телескопа.

Скорость управления приводом в этом режиме рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{прив})} = V_{(\text{баз})} + V_{(\text{расс})} + V_{(\text{изод})} \tag{34}$$

где:

- $V_{(\text{баз})}$ – теоретическая скорость поворота поля;
- $V_{(\text{расс})}$ – добавка к скорости для слежения по рассогласованию. Она рассчитывается по формуле:

  $$V_{(\text{расс})} = \Delta K_{\text{P2}} \;\; (K_{\text{P2}} = 1) \tag{35}$$

  $$\Delta = P - P2 - \Delta_0 \tag{36}$$

  где:

  - Р – расчётный параллактический угол;
  - Р2 – показания датчика поворотного стола;
  - Δ_0 – начальное рассогласование, т.е. разность между Р и Р2 в момент старта режима **ведение** поворотного стола.

- $V_{(\text{изод})}$ – поправка скорости привода, которая рассчитывается по этой формуле:

  $$V_{(\text{изод})} = V_{(\text{изод})} + 0.01\Delta \tag{37}$$

  После ввода нового привода поворотного стола эта поправка стала несущественной.

9.3 Управление приводом (ДБУ).

Привод ДБУ управляется импульсным сигналом, который компьютер выдает на его устройство управления. Скорость вращения двигателя пропорциональна частоте этих импульсов. Частота вычисляется по формуле:

$$f = 2.429\, V_{(\text{прив})} \text{ Гц} \tag{38}$$

Сейчас частота формируется с помощью счётчика - таймера модуля PCL 818, который делит опорную частоту 100 КГц. Поэтому начальное значение счётчика равно: С = 100 000/f.

Для режима **ручного управления**, в котором возможна большая скорость привода, реализован принцип управляемого равномерного **разгона – торможения** с ускорением а $= 20'/\text{сек}^2$.

10 Управление приводом фокуса.

Привод фокуса состоит из двух нерегулируемых двигателей для большой ($\sim$ 0.67мм/сек) и малой ($\sim$ 0.13мм/сек) скоростей. Каждый двигатель может включаться по командам программного интерфейса для движения в обе стороны. Команда включения может содержать интервал времени, на который включается двигатель. Управляющая программа сама отключит двигатель по истечении заданного времени.

11 Управление приводом купола.

Управление приводом купола подключено к УСО компьютера через несколько реле, которые управляющая программа включает по командам от программного интерфейса.

11.1 Режим автомат.

В режиме работы **автомат** включена электромеханическая схема согласования купола с телескопом. Если команда включения режима **автомат** приходит в момент, когда купол еще реально не остановился после ручного управления, то она не исполняется и оператору выдается сообщение – **Автомат? Купол едет!**

11.2 Режим ручное управление.

При работе в режиме **ручное управление** программа воспринимает команды установки скорости движения купола. По три скорости в каждом направлении – малая, средняя, большая. При этом проверяется реальная скорость купола и при обнаружении реверса команда не выполняется. Происходит останов купола и оператору выдается сообщение – **Купол в +? Реверс!** или **Купол в -? Реверс!**

В командах установки скорости купола (как и для привода фокуса) можно задавать интервал времени, на который включается привод. Реально эта возможность, пока, не используется.

12 Считывание информации с датчиков.

Все цифровые датчики, с которых берется информация, опрашиваются каждый раз в основном цикле управления 10 Гц. По считанной информации делается попытка косвенно определить включено ли питание УСО. При выключенном питании датчики ППНДД и ДУП выдают нули. И хотя для каждого датчика **ноль** это рабочее состояние, вероятность того, что все датчики одновременно окажутся в **нуле** ничтожно мала.

12.1 Датчики угла.

Используются датчики угла двух типов – ППНДД (9 разрядов) и ДУП (14 разрядов). На основных координатах телескопа (**A, Z, P**) ППНДД это грубый отсчёт (старшие разряды), а ДУП – точный отсчёт (младшие разряды). Отсчёты фокуса и купола считаются только через датчики ДУП. Из-за проблем со считыванием датчиков ППНДД и возникающих из-за этого сбоев, получаемые от них коды не используются в формировании полного кода в режиме **ведение**. Вместо этого переключение старших разрядов кода имитируется программно по коду, получаемому от ДУП. Это возможно только на малых скоростях.

Алгоритм считывания ППНДД – программный, основанный на формировании последовательной импульсной диаграммы и детектировании приходящих ответных импульсов (см. приложение Шварцмана Ю.Б.).

Датчик ДУП выдает 14-ти разрядный параллельный код Грея. Преобразование кода Грея призводится программным путем для каждого отсчёта отдельно. Алгоритм преобразования следующий:

1. В первом цикле число в коде Грея суммируется по модулю 2 с самим собой, но сдвинутым на **1** разряд вправо. В результате получаем два старших разряда двоичного кода;

2. Складывается по модулю 2 число, полученное после первого цикла и это же число, сдвинутое на **2** разряда вправо. В результате получаются уже четыре старших разряда двоичного кода (включая два разряда, полученные в первом цикле).

3. Число, полученное во втором цикле, суммируется с самим собой, но сдвинутым на **4** разряда вправо. При этом получается восемь старших разрядов двоичного кода, включая ранее полученные.

4. Число, полученное в третьем цикле суммируется с самим собой, сдвинутым на **8** разрядов вправо.

К полученным двоичным 14-ти разрядным кодам добавляется смещение положения **нуля** этих датчиков (ДУП). Это делается для стыковки их с датчиками старших разрядов (ППНДД). В настоящий момент смещение вводится для ДУП **Z** и оно равно $-5'19''$.

12.1.1 Формирование отсчёта по A и Z.

При формировании кода (для **A** и **Z**) 9-ть старших разрядов (ППНДД) совмешаются с 14-ю младшими разрядами (ДУП) и получается общий 23-х разрядный код. Значение отсчёта получается умножением на цену младшего разряда, которая равна:

$$\frac{360.0 \times 3600.0}{2^{23}} = 0.1545''$$

Для оси **A** отсчётный блок кодирует положение в диапазоне углов $0° - 360°$, а на самом деле телескоп поворачивется на $\pm 250°$. Для формирования правильного кода используется сигнал **положение относительно 0**°. Если показания кода больше чем 250° или оно лежит в диапазоне (от 110°до 250°) и сигнал **положения относительно нуля** показывает, что азимут отрицательный, то из значения азимута вычитается 360°.

12.1.2 Формирование отсчёта P2.

Формирование кода **P2** аналогично формированию кода для **A** и **Z**, но в коде ППНДД не используется старший разряд, а в коде полученном из ДУП не используются 4 младших разряда. Поэтому результирующий код получается 18-ти разрядным, а отсчёт получается вычитанием из 360° кода умноженного на цену младшего разряда, которая в свою очередь равна:

$$\frac{360.0 \times 3600.0}{2^{18}} = 4.9438''$$

12.1.3 Формирование отсчёта фокуса.

Для получения отсчёта фокуса используется датчик ДУП. После преобразования из кода Грея значение отсчёта фокуса вычисляется следующим образом: положение **нуля** датчика (173.09) плюс, умноженный на цену младшего разряда, код датчика. Цена младшего разряда равна:

$$\frac{200}{2^{14}} = 0.0122\text{мм}$$

Если значение получилось больше чем 200, то из него вычитается 200. Далее прибавляется поправка на нелинейность:

$$\Delta F = -0.33 sin\left((F-8)\frac{\pi}{100}\right) \tag{39}$$

12.1.4 Формирование отсчёта купола.

Для получения значения отсчёта купола используется датчик ДУП, который кодирует не один оборот купола, а 640° (т.е. ±320°). Значение вычисляется следующим образом: из положения **нуля** датчика (4641″) вычитается код, умноженный на цену деления.

$$D = D_0 - \text{код} \times \text{цена деления} \tag{40}$$

Цена деления равна:

$$\frac{640^\circ}{2^{14}} = 2.3438'$$

Если полученное значение меньше чем −320°, то к нему добавляется 640°, чтобы получилось число из диапазона ±320°. Далее прибавляется поправка на текущую ошибку масштаба и нелинейность датчика:

$$\Delta D = 0.0025D + 0.1^\circ sin\left(\frac{(D + 40^\circ)\,\pi}{180}\right) \tag{41}$$

12.1.5 Формирование кода давления.

В настоящий момент, пока еще, работает старый датчик давления, основанный на ППНДД. Выходное давление в мм.рт.ст. рассчитывается по форлуле:

$$670 - \text{код} \times 0,9375\ \text{мм.рт.ст.} \tag{42}$$

12.2 Аналоговые датчики.

Датчики, выдающие аналоговый сигнал (напряжение), оцифровываются в управляющей программе с помощью АЦП (PCL 818). Он представляет из себя фактически цифровой вольметр, измеряющий напряжение в диапазоне ±5v и выдающий 12-ти разрядный код (-5 v – это ноль, +5 v – это 4095). Цена деления младшего разряда равна 2.44 mv.

Сейчас в управляющей программе постоянно измеряется восемь каналов и их коды распространяются через программный интерфейс. Первые четыре, из этих каналов, сейчас используются и внутри управляющей программы. Это температура атмосферы, температура подкупольного пространства, температура зеркала и скорость ветра.

Датчики температуры выдают сигнал в масштабе 1° – 0.1 v. Диапазон измерения температур – ±50°. Поэтому формула расчёта температур выглядит следующим образом:

$$t = \frac{\text{код АЦП} \times 100}{2^{12}} - 50^\circ \tag{43}$$

Датчик ветра выдает сигнал в масштабе 1 м/сек – 0.0667 v. Диапазон измерения от 0 м/сек до 75 м/сек. Формула расчёта скорости ветра:

$$W = \frac{\text{код АЦП} \times 150}{2^{12}} - 75\text{м/сек} \tag{44}$$

Для уменьшения влияния помех выходные значения температур и ветра фильтруются с помощью простейшего цифрового фильтра. Если последовательные измерения отличаются менее чем на 10 значений младшего разряда датчика, то применяется формула:

$$T_n = 0.1T_{(\text{измер})} + 0.9\, T_{(n-1)} \tag{45}$$

При больших отличиях новое значение отбрасывается и вместо него берется предыдущее значение, измененное на ± 1.0.

При измерении скорости ветра применяется только формула:

$$W_n = 0.1W_{(\text{измер})} + 0.9\, W_{(n-1)} \tag{46}$$

В результате использования двух методов маленький шум разглаживается фильтром, а большие шумовые отбросы срезаются.

13 Вычисление измеренных скоростей движения A, Z, P2, F и купола.

Скорость движения вычисляется как разность между отсчётами положений, взятыми через одну секунду. Все скорости рассчитываются пять раз в секунду. Соответственно алгоримт сохраняет последние пять измеренных значений положений. Таким образом скорость – это разница между текущим положением и самым старым из сохраняемых. Временна́я база расчёта, одна секунда, выбрана как оптимум между точностью и оперативностью расчёта. При временно́й базе равной одной секунде, точность скорости равна младшему разряду датчика положения. Например для **A** и **Z** это $0.15''$. При улучшении оперативности пропорционально уменьшается точность и наоборот, при увеливении базы расчёта получается более точное, но устаревшее значение скорости.

14 Алгоритмы контроля.

Программная реализация контроля подразумевает обнаружение управляющей программой ошибочных состояний аппаратуры управления и некоторых действий оператора или наблюдателя. Возникающие ошибочные состояния подразделяются на *серьёзные* (в этом случае делается автоматический останов работы телескопа) и *несерьёзные*, по которым выдается предупреждение оператору с записью в протокол наблюдений. В некоторых случаях, если возможно, выполняется программная компенсация аппаратных ошибок.

14.1 Контроль кодов угловых датчиков.

Общий принцип этого контроля – проверка соответствия изменений кодов датчиков конструктивным особенностям и текущему режиму работы приводов телескопа. Необходимость этого вида контроля вызвана отсутствием нормальных аппаратных средств конторoля передачи кодов от датчиков к компьютеру.

14.1.1 Контроль кодов ППНДД датчиков.

Котроль кодов ППНДД это предварительный контроль, основанный на том, что при реально возможных скоростях работы приводов, меняться, между последовательными считываниями, может только младший разряд кода и только в момент изменения старшего разряда кода, соответствующего ДУП.

В случае обнаружения ошибки формируется признак ошибки и код заменяется на предыдущий. В дальнейшем при формировании выходного значения координаты оно считается подозрительным и окончательное значение вычисляется по специальному алгоритму, в котором кроме этого значения учитывается и предыдущее значение.

Сообщение оператору не выдается потому, что ошибки обнаруживаются очень часто и, фактически, являются нормой работы.

14.1.2 Контроль кодов ДУП A, Z, P2.

Контроль кодов ДУП выполняется только в режимах **ведения** при маленьких скоростях, когда коды ППНДД не используются, а имитируются по изменению кодов ДУП. Конторолируется, естественно, не исходный код датчика, а преобразованный из кода Грея в двоичный код.

Принцип контроля основан на предсказании границ, в которые должен попасть полученный код. Границы вычисляются на основе информации о текущей скорости. Делается предположение о максимально возможных изменениях этой скорости и по ним рассчитываются границы изменения кода.

Предположение о возможном диапазоне скоростей делается на основе значений скоростей (устанавливаемых и измеряемых) за последнюю секунду. Для этого сохраняется массив из 20 значений скоростей – 10 рассчитанных для управления и 10 измеренных. Из этого массива выбирается максимальное $V_{(max)}$ и минимальное $V_{(min)}$ значение. Они и считаются границами вероятной вариации реальной скорости телескопа в данный момент. Т.е. при маломеняющейся скорости „ворота"контроля будут узкими, а при резких изменениях скоростей они автоматически расширятся. По этим скоростям вычисляются два значения кода:

$$K_{(max)} = \frac{V_{(max)}\Delta t}{0.1545} + K_{(n-1)} \tag{47}$$

$$K_{(min)} = \frac{V_{(min)}\Delta t}{0.1545} + K_{(n-1)} \tag{48}$$

где:

- Δt – время, прошедшее от предыдушего считывания кода;
- 0.1545 – цена деления.

Считанный код должен удовлетворять условию:

$$K_{(min)} < K_n < K_{(max)} \tag{49}$$

При невыполнении этого условия выдается признак ошибки, по которому при формировании выходного значения угла код K_n не используется, а его значение получается экстраполяцией по предыдушим значениям. Оператору выдается сообщение: **Сбой ДУП А** или **Сбой ДУП Z**.

В алгоритме контроля ДУП **Р2** предположение о диапазоне скоростей делается исходя из предположений о максимально возможных ускорениях – $a = 2'/\text{сек}^2$ (реально $1'/\text{сек}^2$). Далее вычисляется $V_{(max)}$ и $V_{(min)}$ как текущая скорость:

$$V_{(max)} = V_{(\text{тек})} + a \tag{50}$$

$$V_{(min)} = V_{(\text{тек})} - a \tag{51}$$

Далее, по этим формулам, считаются значения кода:

$$K_{(max)} = \frac{V_{(max)}\Delta t}{4.9438} + K_{(n-1)} \tag{52}$$

$$K_{(min)} = \frac{V_{(min)}\Delta t}{4.9438} + K_{(n-1)} \tag{53}$$

где:

- Δt – время, прошедшее от предыдушего считывания кода;
- 4.9438 – цена деления младшего разряда датчика.

Считанный код должен удовлетворять следующему условию: $K_{(min)} < K_n < K_{(max)}$. Если фиксируется ошибка, то код не используется, а подменяется экстраполяцией по измеренной скорости и выдается сообщение оператору: **Сбой ДУП Р2**.

14.1.3 Контроль полных кодов (ППНДД плюс ДУП).

Контроль полных кодов выполняется во всех режимах, кроме режима **ведение**. В этих режимах реально используются датчики ППНДД и из-за больших возможных скоростей, контролировать можно только полный код. Алгоритм контроля похож на алгоритм контроля для

соответствующих датчиков ДУП, но предположение о диапазоне скоростей делается исходя из предположений о максимально возможных ускорениях.
Для **A** – $a_{(\text{уск}A)} = 130''/\text{сек}^2$ (реально $\sim 80''/\text{сек}^2$), $a_{(\text{торм}A)} = 250''/\text{сек}^2$ (реально $\sim 180''/\text{сек}^2$).
Для **Z** – $a_{(\text{уск}Z)} = 130''/\text{сек}^2$ (реально $\sim 80''/\text{сек}^2$), $a_{(\text{торм}Z)} = 250''/\text{сек}^2$ (реально $\sim 180''/\text{сек}^2$).
Для **P2** – $a_{(\text{уск})} = a_{(\text{торм})} = 30'/\text{сек}^2$.
Далее вычисляются максимальная $V_{(max)}$ и минимальная $V_{(min)}$ скорости.

$$V_{(max)} = V_{(\text{тек})} + a_{(\text{уск})} \tag{54}$$

$$V_{(min)} = V_{(\text{тек})} - a_{(\text{торм})} \tag{55}$$

Реакция на ошибки такая же, но оператору выдается сообщение: **Сбой кода**

14.1.4 Контроль ДУП фокуса и ДУП купола.

Контроль этих датчиков аналогичен контролю ДУП **P2**, но проще. За основу берется абсолютное значение максимально возможной скорости (с запасом).
$V_{(maxF)} = 1$мм/сек (реально 0.67 мм/сек);
$V_{(max\ \text{куп})} = 40'/\text{сек}$.
По этому значению рассчитывается максимально возможное изменение кода (без учёта знака кода датчика):

$$\Delta K_{(maxF)} = \frac{V_{(maxF)}\Delta t}{0.0122\text{мм}} \tag{56}$$

где 0.0122 – цена младшего разряда датчика.

$$\Delta K_{(max\ \text{куп})} = \frac{V_{(max\ \text{куп})}\Delta t}{2.3437'} \tag{57}$$

где 2.3437 – цена младшего разряда датчика.

Реальное изменение должно удовлетворять следующему условию:

$$|K_n - K_{(n-1)}| < \Delta K_{(max)}. \tag{58}$$

Если фиксируется ошибка, то сбойный код отбрасывается и заменяется на предыдущий. Оператору выдается соответствующее предупреждение.

14.2 Контроль положений телескопа, режимов работы приводов, действий оператора и т.д.

Проверки положений телескопа, режимов работы приводов, действий оператора производятся один раз в секунду.

14.2.1 Контроль функционирования интерфейса оператора.

Программа **bta_oper** (интерфейс оператора) в режиме **BTA Main Operator Interface** (главный оператор) периодически выдает управляющей программе пустые команды. Управляющая программа контролирует возникновение ситуации отсутствия этих команд в течение 3-х секунд. Если при возникновении этой ситуации телескоп находится в движении, то он останавливается и на мониторы всех компьютеров, где был запущен интерфейс оператора, выдается сообщение: **нет главного оператора**.

14.2.2 Контроль переключателя ± A.

Этот переключатель используется для правильного формирования кода **A** в **северной зоне**, т.е. отсчёт датчика находится между 110° и 250°. В остальных положениях телескопа этот переключатель не нужен, а его работа может быть проконтролирована. Из области контроля исключается зона ±2° около **нуля**, которая считается зоной возможного переключения.

При обнаружении несоответствия положения переключателя знаку **A** выдается сообщение: **Сбой концевика + A**. Это сообщение выдается и в том случае, если значение **A** резко меняется на $\approx 360°$.

14.2.3 Контроль положения телескопа по азимуту.

Условия, проверяемые при контроле положения, зависят от режима работы управляющей программы. В режиме **Пульт** условия для проверки одни, а во всех других режимах – другие.

При работе программы **не** в режиме **Пульт**:

- если абсолютное значение кода датчика больше чем 240°, то происходит останов телескопа и для оператора выдается сообщение: **Азимут > 240°**
- если **A** $>$ **239°** и телескоп движется в $(+)$ или **A** $<$ **−239°** и телескоп движется в $(-)$, то выдается сообщение:
  Концевик A > 239°

При работе программы в режиме **Пульт**:

- движение разрешается и после концевиков ±240°, но только в направлении выхода из этого аварийного состояния. В противном случае оператору выдается сообщение: **Концевик A > 240°** или **Концевик A < −240°**.
- при любой попытке движения по азимуту в зоне **Z** $> 80.5°$, телескоп останавливается и выдается сообщение: **Движение A при Z > 80°**.

- попытка движения по азимуту в зоне $80.5^\circ > Z > 80^\circ$, если привод **Z** при этом движется не в (-), приводит к такому же результату. Но если труба поднимается - движение по азимуту допустимо. Эта „хитрость"сделана для того, чтобы можно было стартовать режим **наведение** на объект сразу после прохождения механического концевика при подъеме трубы из горизонта.

14.2.4 Контроль положения телескопа по Z.

При работе программы **не** в режиме **Зенит - Горизонт**:

- если $\mathbf{Z < 5^\circ}$ и телескоп движется в $(-)$, но не в режиме **Пульт**, то оператору выдается сообщение: **Концевик** $\mathbf{Z< 5^\circ}$
- если $\mathbf{Z > 80^\circ}$ и телескоп движется в $(+)$, но не в режиме **Пульт**, то движение останавливается и оператору выдается сообщение: **Концевик** $\mathbf{Z > 80^\circ}$
- если $\mathbf{Z < 4^\circ 45'}$ или $\mathbf{Z > 80^\circ 20'}$ – движение телескопа запрещено и в режиме **Пульт**

При работе программы в режиме **Зенит - Горизонт**:

- если $\mathbf{Z > 86^\circ 25'}$ и телескоп движется в $(+)$, то выдается сообщение: **Концевик** $\mathbf{Z > 86^\circ}$ и телескоп останавливатся.
- если $\mathbf{Z\ < 0^\circ\ 20'}$ и телескоп движется в (-), то оператору выдается сообщение: **Концевик** $\mathbf{Z = 0^\circ}$ и телескоп останавливается.
- если при движении по **Z** телескоп выходит из нерабочей зоны, то выдается сообщение: **Зенит - Гор 5** $\mathbf{< Z\ < 80}$ **!**

14.2.5 Контроль положения P2.

Если скорость вращения поворотного стола положительна и значение $\mathbf{P2 > 22^\circ}$ или скорость отрицательна и значение $\mathbf{P2 < 89^\circ}$, то выдается сообщение оператору: **Концевик** $\mathbf{P2 = 22^\circ}$ или, соответственно, **Концевик** $\mathbf{P2 = 88^\circ}$ и поворотный стол останавливается.

14.2.6 Контроль положения купола.

Предельными положениями купола (как и телескопа по азимуту) считаются $\pm 239^\circ$. Если купол движется по направлению к концевику, то вычисляется время за которое на этой скорости он доедет до концевика.

$$t = \frac{239^\circ - |D|}{|V_D|} \tag{59}$$

где D – положение купола.

Если это время меньше 40 секунд, то выдается предупреждение: **Концевик купола**. Если же это время меньше 20 секунд, то выдается такое же сообщение об ошибке. Если движением купола управляет компьютер и это время меньше 10 секунд, то купол останавливается.

14.2.7 Контроль положения фокуса.

Если привод фокуса движется в (-) и значение **F < 1мм**, или привод движется в (+) и значение **F >199** мм, то выдается сообщение: **Концевик F < 1** или **Концевик F > 199** и привод фокуса останавливается.

Вышеописанный контроль выполняется при управлении фокусом через программный интерфейс и не относится к прямому включению двигателей со старых пультов.

14.2.8 Контроль рассчётного положения объекта.

В данном случае выполняется проверка того, что рассчитанные **A, Z** объекта находятся в рабочей зоне, т.е. $-239° < A_{(\text{расч})} < +239°$ и $5° < Z_{(\text{расч})} < 80°$.

Если объект ушел из рабочей зоны, то выдается соответствующее сообщение и телескоп останавливается. Выдаваемые сообщения выглядят следующим образом: **A объекта < −239°**, **A объекта > 239°**, **Z объекта < 5°**, **Z объекта > 80°**.

Если объект ушел из рабочей зоны по азимуту, то автоматически включается режим **обхода по A**.

14.2.9 Контроль работы приводов A, Z и купола.

Контролируются следующие грубые ошибки в работе приводов **A** и **Z**:

- **отказ привода A или Z**. Если на управление приводом выдана какая-то скорость, а измеренная скорость не превышает 10% от затребованной в течение 10 - 15 секунд, то в этом случае выдается сообщение: **Отказ привода A!** или **Отказ привода Z!**. Если же при этом измеренная скорость равна нулю (т.е. привод вообще стоит) делается останов телескопа;
- **превышение допустимой скорости**. Для контроля допустимых скоростей по каждой координате в каждом режиме определяется три скорости – $V_1 < V_2 < V_3$. Проверяется условие превышения этих скоростей в течение 3 секунд.
  - превышение V_1 вызывает предупреждающее сообщение оператору: **Большая скор. привода!**
  - превышение V_2 вызывает сообщение об ошибке: **Превыш. ск. прив!**

– превышение V_3 считается аварийной ситуацией и, кроме выдачи сообщения, происходит останов телескопа.

Значения этих пороговых скоростей:

* режим наведения по **A** в зоне $-224^\circ - +224^\circ$
  $V_1 = 29'/$сек
  $V_2 = 32'/$сек
  $V_3 = 35'/$сек
* при наведении по **A** в зоне $< -224^\circ, > +224^\circ$
  происходит плавное снижение порогов к $\pm 239^\circ$ до
  $V_1 = 3'/$сек
  $V_2 = 3.5'/$сек
  $V_3 = 4'/$сек
* режим наведения по **Z** в зоне $17^\circ - 63^\circ$
  $V_1 = 27'/$сек
  $V_2 = 29'/$сек
  $V_3 = 31'/$сек
* режим наведения по **Z** в зоне $7^\circ - 17^\circ, 63^\circ - 73^\circ$
  $V_1 = 4'/$сек
  $V_2 = 5'/$сек
  $V_3 = 6'/$сек
* режим наведения по **Z** в зоне $< 7^\circ, > 73^\circ$
  $V_1 = 3'/$сек
  $V_2 = 3.5'/$сек
  $V_3 = 4'/$сек
* режим ведения по **A**
  $V_1 = 170''/$сек
  $V_2 = 185''/$сек
  $V_3 = 200''/$сек
* режим ведения по **Z**
  $V_1 = 21''/$сек
  $V_2 = 22''/$сек
  $V_3 = 23''/$сек

- **реверсирование привода**. Анализ производится в том случае, если скорости не очень маленькие. Для **наведения по A** – $V_{(\text{прив})} > 3'/$сек, для **ведения по A** – $V_{(\text{прив})} > 10''/$сек, для **наведения по Z** – $V_{(\text{прив})} > 2'/$сек, для **ведения по Z** – $V_{(\text{прив})} > 3''/$сек. Если скорость заданная и измеренная отличаются знаком в течение 1 - 2 секунд, то выдается сообщение: **Реверс привода A!** или **Реверс привода Z!** и телескоп останавливается.

В работе привода купола контролируются следующие грубые ошибки:

- **превышение допустимой скорости купола.** Если измеряемая скорость купола превышает значение $\approx 33.1'/$сек в течение

5 секунд, то выдается сообщение: **Превыш. ск. купола!**. Если управление куполом, при этом, происходит от компютера, то оператору выдается сообщение: **СТОП купола!!!** и купол останавливается.

- **реверсирование привода купола.** Если управление приводом происходит от компьютера, но не в режиме **Автомат**, то при управлении движением в (+) и отрицательной измеряемой скорости, либо при управлении в (-) и положительной измеряемой скорости в течение 2 секунд выдается сообщение: **Реверс Купола! СТОП** и купол останавливается.

  Если управление приводом происходит от компьютера в режиме **Автомат** и направление движения не совпадает с направлением согласования в течение 10 секунд, то выдается сообщение оператору: **Реверс автомата купола?** и купол останавливается.

- **отказ привода купола.** Если при управлении куполом от компьютера в режиме **Автомат** рассогласование купола с телескопом более 2° или при ручном движении купола измеряемая скорость купола равна 0 в течение 10 секунд, то выдается сообщение оператору: **Отказ привода купола**. В случае сохранения этой ситуации сообщение будет выдаваться каждые 10 секунд.

15 Режим моделирования.

Режим моделирования это замена реальной аппаратуры телескопа программными алгоритмами, имитирующими ее работу. То есть вся программа работает точно также, но на каждом шаге управления управляющее воздействие (в основном рассчитанные скорости приводов) не преобразуются в коды для выдачи в аппаратуру, а передаются соответствующим моделирующим алгоритмам вместе с текущим положением „телескопа". Эти алгоритмы вычисляют скорость отработки привода и отсчётные значения нового положения „телескопа". Кроме того имитируются и сигналы отработки, возвращаемые из РК. Работа конкретных датчиков угла (ППНДД и ДУП) не имитируется. Имитируется дискретность отсчёта в соответствии с младшим разрядом конкретного датчика. Скорость, выдаваемая в модель, также как и реальная скорость, дискретизирована в соответствии с ценой младшего разряда ПКН.

Такой, достаточно общий, охват программы режимом моделирования позволяет производить подавляющую часть отладок и проверок алгоритмов, как самой управляющей программы так и всего комплекса программ – клиентов (интерфейсов), без использования реального телескопа, а с другой стороны помогает производить обучение обслуживающего персонала и пользователей работе с телескопом в режиме моделирования. В момент перехода в режим моделирования в качестве начальных положений берутся реальные положения телескопа, но есть возможность ввести и прозвольные начальные положения телескопа по A и Z.

15.1 Общие принципы моделирования.

Основой для моделирования приводов является расчёт простого апериодического звена:

$$\longrightarrow \mathrm{X(t)} \boxed{\frac{b_0 p + b_1}{a_0 p + a_0}} \mathrm{Y(t)} \longrightarrow$$

где a и b – параметры апериодического звена.
То есть численное решение дифференциального уравнения 1-го порядка:

$$a_0 \frac{dy}{dt} + a_1 y = b_0 \frac{dx}{dt} + b_1 x \tag{60}$$

Вычисления выполняются по рекурсивной формуле:

$$y_n = \frac{y_{(n-1)} \left(2a_0 - \Delta\, t a_1\right) + 2b_0 \left(x_n - x_{(n-1)}\right) + \Delta t\, b_1 \left(x_n + x_{(n-1)}\right)}{\Delta t\, a_1 + 2a_0} \tag{61}$$

где:

- x_n и $x_{(n-1)}$ – текущее и предыдущее входные значения;
- y_n и $y_{(n-1)}$ – результаты расчёта на текущем и предыдушем шаге;
- Δt – шаг по времени в моделировании. Для повышения точности моделирования он должен быть много меньше чем шаг управления в управляющей программе. Сейчас во всех случаях используется шаг $\Delta t = 0.01$сек. То есть 10 промежуточных модельных расчётов на один шаг управления.

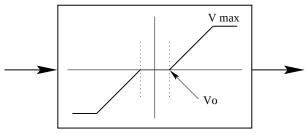
Конструирование хорошей модели, приближенной к конкретному реальному приводу, требует длительного и трудоемкого его исследования. Поэтому в данной программе пока только модель привода ведения по **A** выполнена на основе исследований Рухлева В.Ф. и более менее соответствует реальному приводу. Все остальные модели это приблизительная замена одним этим элементом:

$$\longrightarrow V_{(\text{зад})} \boxed{\frac{K_v}{1 + \tau \times p}} V_{(\text{отр})} \longrightarrow$$

где:

- τ – примерная постоянная времени;
- K_V – коэффициент имитации скоростной ошибки;
- $V_{(\text{зад})}$ – заданная скорость привода;
- $V_{(\text{отр})}$ – скорость отработки.

Для моделей приводов A и Z используется еще два алгоритма (элемента) имитации особенностей реальных приводов. Первый алгоритм это имитация зоны нечуствительности (т.е. того, что привод начинает отработку со скорости $\pm V_0$) и ограничение по возможной максимальной скорости $V_{(max)}$.



Второй алгоритм это ограничение максимального ускорения и торможения.

$$\longrightarrow \boxed{a_{(\text{торм})} < \frac{dv}{dt} < a_{(\text{уск})}} \longrightarrow$$

Которые могут объясняться, например, ограничением по максимальному току в реальном приводе.

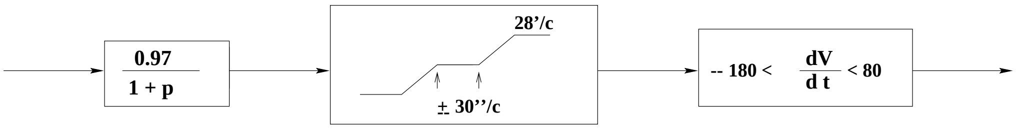
Для моделей приводов **A** и **Z** имитируется останов при переходе из режима **наведения** в режим **ведения**, т.е. программа ждет пока модельная скорость отработки упадет до нуля.

Во всех случаях после получения модельной скорости отработки рассчитывается следующее значение соответствующей модельной координаты. Например:

$$A_n = A_{(n-1)} + V_{(\text{отр})}\Delta t \tag{62}$$

15.2 Модель привода наведения по A.

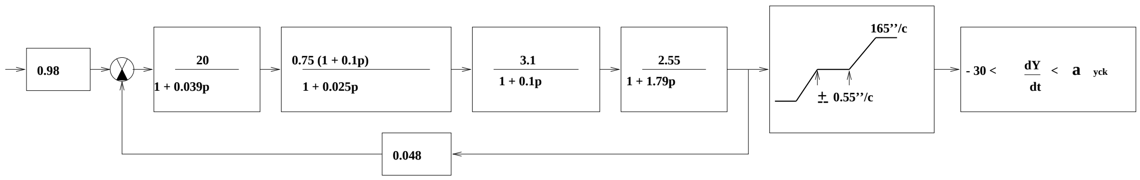
Модель привода наведения выглядит следующим образом:



В ней имитируется скоростная ошибка привода 3%, постояная времени 1 секунда, зона нечуствительности 30″/сек, возможная максимальная скорость 28′/сек и несиметричность ускорений при разгоне и торможении.

15.3 Модель привода ведения по A.

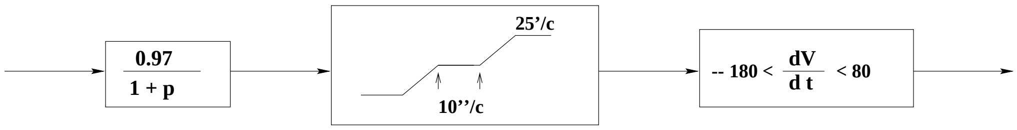
В основе этой модели лежит схема привода ведения по **A** из отчёта ЦНИИ Точ. Маш. Главный исполнитель Рухлев В.Ф.



То есть к модели Рухлева В.Ф. добавлена имитация скоростной ошибки в 2%, максимальной скорости в 165″/сек, зоны нечувствительности ±0.55″/сек, несиметричности ускорений при разгоне и торможении, причем максимальное ускорение при разгоне $a_{(\text{уск})}$ – переменное, зависящее от начальной скорости. Оно меняется от $\approx 18.3''/\text{сек}^2$ (при старте с нуля) до $0.0''/\text{сек}^2$ (при максимальной скорости).

15.4 Модель привода наведения по Z.

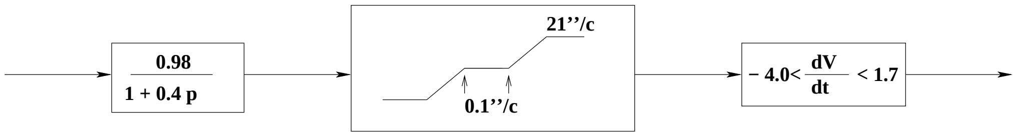
Модель привода наведения по **Z** аналогична модели привода наведения по **A**.



То есть имитируется скоростная ошибка привода в 3%, постоянная времени 1 секунда, зона нечуствительности 10″/сек, возможная максимальная скорость 25′/сек и несисметричность ускорений при разгоне и торможении.

15.5 Модель привода ведения по Z.

Модель привода ведения по **Z** аналогична моделям приводов наведения по **A** и **Z**.



В ней имитируется скоростная ошибка привода в 2%, постоянная времени 0.4 секунды, зона нечуствительности 0.1″/сек, возможная максимальная скорость 21″/сек и несисметричность ускорений при разгоне и торможении.

15.6 Модель привода P2.

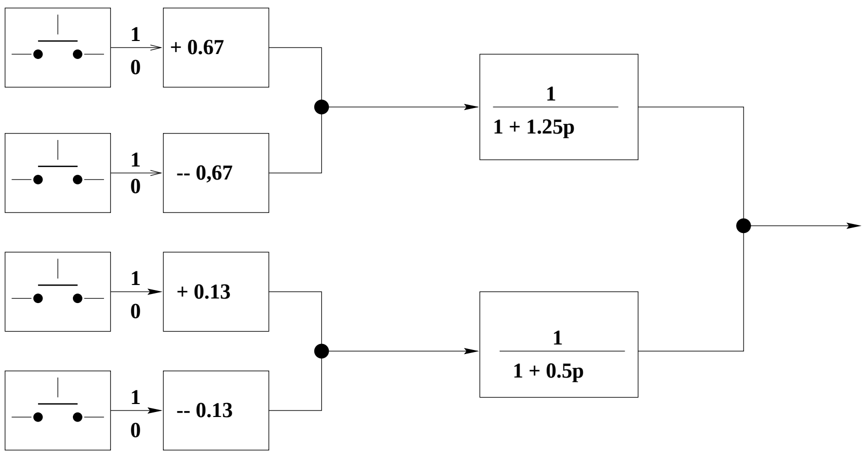
Модель привода **P2** состоит из одного элемента.

$$\longrightarrow V_t \boxed{\frac{1}{1+0.5p}} V_t \longrightarrow$$

Это приблизительно отражает характеристики поворотного стола.

15.7 Модель привода фокуса.

Модель привода фокуса выглядит следующим образом:



То есть имитируются кнопки включения двух двигателей привода фокусировки для движения на большой (0.67 мм/сек) и малой (0.13мм/сек) скорости.

15.8 Модель привода купола.

Модель привода купола аналогична модели привода P2.

$$\longrightarrow V_t \boxed{\frac{1}{1+3.0p}} V_t \longrightarrow$$

Входная скорость формируется исходя из установленного режима управления куполом. Это либо $0.0'/c$, либо одна из скоростей ручного управления: малая – $\pm 2'/c$ек, средняя – $\pm 14'/c$ек, большая – $\pm 28'/c$ек, либо имитация режима **Автомат**, когда скорость вычисляется исходя из рассогласования (Δ) между телескопом и куполом:

- если $\Delta < 1^\circ$, то V = 0. Иначе скорость $V = 0.1\ \Delta$
- если эта скорость $V > 28'/сек$, то она приравнивается к $28'/сек$.

16 Сообщения оператору и протоколирование работы управляющей программы.

Во время работы управляющая программа может генерировать текстовые сообщения для оператора. Они подразделяются на три типа: ошибки, предупреждения, информация. В каждый момент времени сохраняются и предоставляются через программный интерфейс три последних сообщения. Каждое сообщение сопровождается порядковым номером, чтобы другие программы могли отличать новые сообщения от устаревших. Все сообщения, которые выдаются оператору, заносятся также и в протокол.

Все важные моменты в работе управляющей программы протоколируются распечаткой сообщений. Сообщение состоит из текущего момента времени и информационного сообщения. Если со времени предыдущего сообщения изменилась дата, то она тоже распечатывается. В протокол заносятся изменения состояния или режима работы программы, начало и окончание действий по управлению конкретными приводами и возникающие при работе ошибки.

При каждом старте управляющей программы (обычно это происходит при начальном запуске операционной системы **Linux**) заводится новый файл в справочнике **/var/log/bta_control**. Имя файла состоит из даты и расширения log. Например: **00_07_27.log** – это протокол за 27 июля 2000 года. Предыдущие файлы протоколов сохраняются в закомпрессированном, с помощью программы **gzip**, виде. Автоматической чистки справочника с протоколами пока не предусмотрено. **Поэтому администратор системы Linux должен следить за наличием свободного места на диске**.

17 Общая архитектура организации расширяемой модульной сетевой системы управления.

Математическое обеспечение системы управления БТА построено как расширяемый набор программ, взаимодействующих между собой по принципу **клиент – сервер**. На рисунке отражен принцип такого взаимодействия.

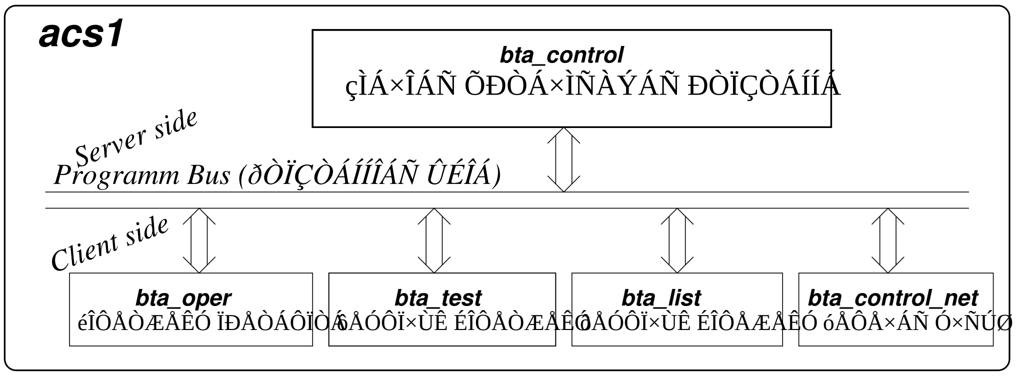


Рис.4. Взаимодействие по принципу **клиент – сервер**.

Сервером является главная управляющая программа **bta_control**, в которой сосредоточены все функции работы с аппаратурой системы управления телескопом и все алгоритмы, требующие реального времени. Все остальные интерфейсные информационные функции, не требующие реального времени, реализуются в виде набора программ – клиентов. Например, **bta_oper** – программа интерфейса оператора, **bta_list** – программа для тестовых наведений по списку звезд из Астрономического ежегодника, **bta_test** – тестовый интерфейс, **bta_control_net** – программа организующая сетевое взаимодействие и т.д.

17.1 Межпрограммный интерфейс.

Для взаимодействия между программами – клиентами и главной управляющей программой разработан специальный межпрограммный интерфейс (программная шина). Он состоит из двух частей – блока общей (разделяемой) памяти и очередей сообщений. Они создаются при старте главной управляющей программы и используются программами – клиентами. Через блок общей памяти сервер распространяет информацию о текущем состоянии системы управления. Это может быть:

- режим работы телескопа (**наведение**, **ведение**,**ошибка в допуске**, **останов**);
- режим моделирования;
- цель наведения (**Объект**, **Зенит**, **Горизонт**, **„Гнездо“**);
- рабочий фокус телескопа (**ПФ**, **N1**, **N2**,);
- состояние приводов **P2**, **фокуса**, **купола**;
- значение координат α, δ (**исходных**, **текущих**, **введенных**);
- рассчитанные значения **A, Z, P2**, а также рассогласования и скорости по ним;
- московское и звездное время;

- коды датчиков телескопа;
- измеренные значения **A, Z, P2**, **фокуса**, **купола**, **давления**, **температуры**, **ветра**;
- измеренные скорости **A**, **Z**, **P2**, **фокуса**, **купола**;
- последние три системных сообщения (оператору).

Программы – клиенты читают эту информацию, но изменять ее не могут. Команды управления передаются от интерфейсных программ к серверу через очереди сообщений. Очередь сообщений это специальное средство для межпрограммных взаимодействий, представляемое операционными системами типа **Unix**. Несколько программ могут записывать свои сообщения в общую очередь, а одна программа – считывает их либо в порядке очередности, либо приоритетно (по типу сообщений). В момент запуска главная управляющая программа создает три очереди сообщений (канала приема команд):

1. Канал команд **наблюдателя**. Через него принимаются команды ввода координат и оперативного управления телескопом (коррекция телескопа, управление приводами фокусировки и поворотного стола).
2. Канал команд **удаленного оператора**. Через него принимаются команды разрешенные наблюдателю и команды запуска и останова телескопа.
3. Канал команд **главного оператора**. Через него принимаются все команды.

Такое разделение реализует первый, простейший, способ ограничения доступа к системе управления.

Максимальный темп выборки команд из очередей в главной управляющей программе – до 100 команд в секунду (10 раз в секунду по 10 команд). Сначала проверяется наличие команды **Останов телескопа** в канале главного оператора, а затем выбираются все прочие команды из этого канала. Потом проверяется наличие команды **Останов телескопа** в канале удаленного оператора и все прочие команды из этого канала. Последним проверяется канал команд наблюдателя. Основные типы команд:

- команда **Останов телескопа**;
- команда **Null** – пустая команда по которой ничего не делается, только запоминается время ее прихода. Она циклически подается интерфейсом главного оператора и главная управляющая программа, таким образом, проверяет работоспособность (наличие) главного оператора;

- команды **задания координат** α **и** δ объекта, **установки скорости смещения** объекта, **старта режима наведения** или **ведения**;
- команды **задания положения** по **A, Z** и **старт наведения** на это положение;
- команды **тестовые режимы A, Z** – установка скоростей движения и старт привода наведения или ведения;
- команды **управления P2** – установка режима **автомат** (ведение) или **ручное управление**, установка скорости ручного движения, старт/стоп ручного движения, старт движения на заданный интервал времени;
- команды **управления приводом фокусировки** – включение двигателя грубой или точной фокусировки в нужную сторону на определенное время;
- команды **установки рабочего фокуса телескопа** (ПФ, N1, N2);
- команды **изменения режимов работы** – вкл/выкл моделирования, Обход по A, учёт СКН, синхронизация по Ч7-15, использование изодрома, слежение по рассогласованию, цифровой фильтр рассогласования;
- команды **коррекции телескопа** – коррекция текущих координат α и δ, коррекция положения по **A** и **Z**, установка скорости для ручной коррекции (**останов** – установка скоростей равных нулю).

17.2 Сетевая архитектура АСУ БТА – трансляция межпрограммного интерфейса по сети.

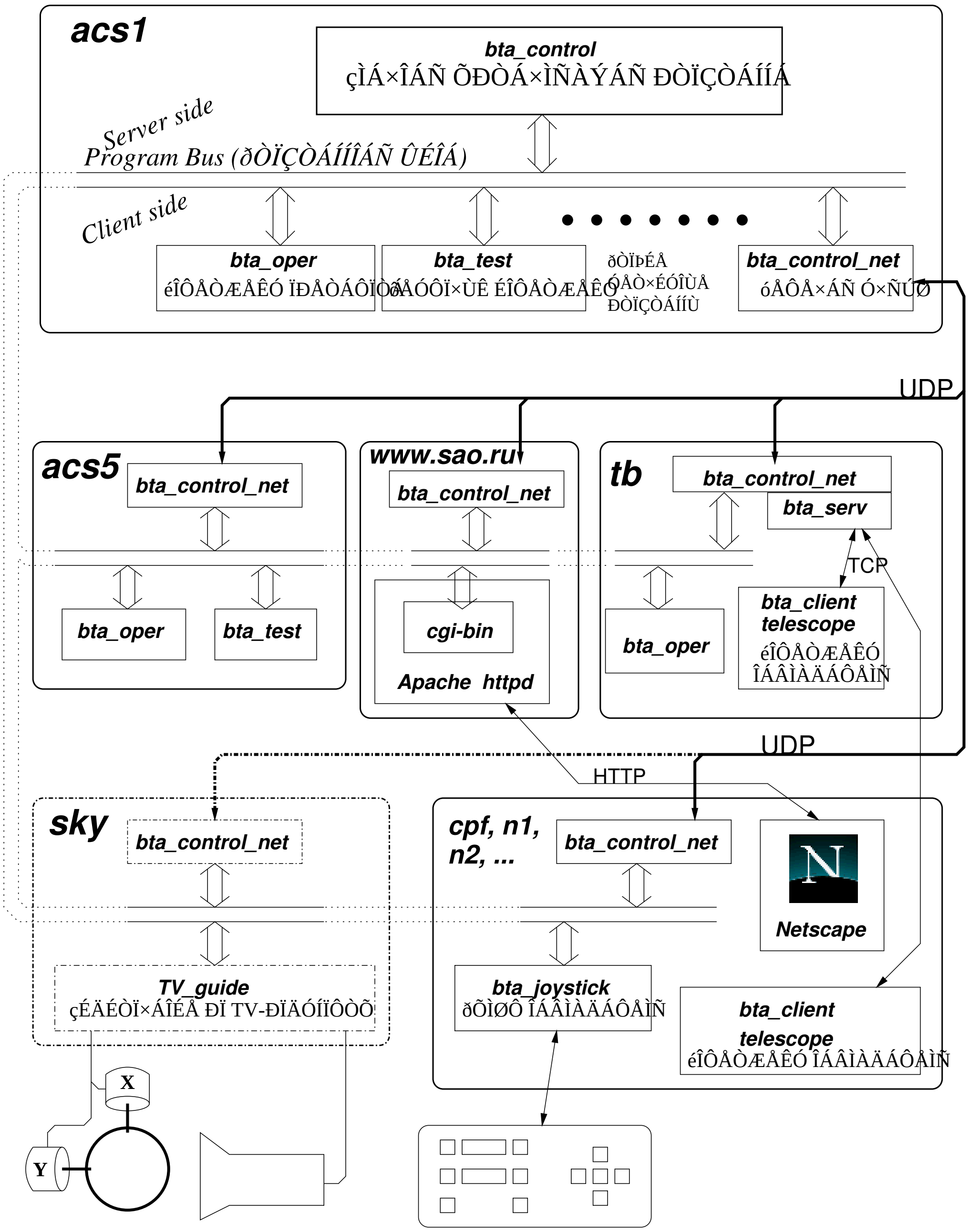


Рис.5. Сетевая архитектура нового матобеспечения УВК БТА.

Программа–сервер (главная управляющая программа) всегда располагается на главном управляющем компьютере телескопа **acs1**, включенном в **IP–сеть** САО (локальный сегмент Интернета). Интерфейсные программы–клиенты могут располагаться на других компьютерах, включенных в эту сеть. Для этого необходимо распространение межпрограммного интерфейса по сети из **acs1** в другие компьютеры. То есть необходимо, с одной стороны, передать блок общей памяти из **acs1** в другие компьютеры, а с другой – передавать в **acs1** команды, генерируемые программами–клиентами.

Для этой цели разработана специальная программа, организующая все сетевое взаимодействие. Она назывется **bta_control_net**. Для организации передачи программа использует **UDP** – протокол, т.е. передача пакетов–дейтаграмм, без организации связей. На главном управляющем компьютере **acs1** она запускается как программа–клиент. При этом она передает в сеть пакеты с информацией из блока общей памяти, т.е. информацию о состоянии телескопа и ожидает пакеты с командами, которые она передает в соответствующий канал команд главной управляющей программы. На всех остальных компьютерах программа запускается в режиме сервера, т.е. заменяет собой, для программ–клиентов, главную управляющую программу. При этом она запаковывает полученные команды вместе с номером канала в пакеты, которые отправляет по адресу **acs1** и ждет пакеты с информацией от **acs1**, которые записывает в блок общей памяти. Варианты ее запуска:

- **bta_control_net local** – это вариант распространения информации от **acs1** по локальной сети БТА в режиме **broadcast** (широковещательная передача).

  IP– адрес формируется как **broadcast – адрес** текущей сети типа **C** (например: 192.168.3.255);

- **bta_control_net multicast[:McastAddr]/ttl** – этот вариант аналогичен предыдущему, но с использованием режима передачи **multicast**.

  IP–адрес (номер группы) формируется как 239.0.Nсети.Nкомпьютера. Например, для **acs1** (**IP**=193.168.3.56) это 239.0.3.56.

  ttl (time–to–live) – это „глубина” распространения по сети (1,2,3...).

  Необязательный параметр **McastAddr** позволяет задать адрес **multicast**–группы явно. Например, bta_control_net multicast:239.0.8.7;

- **bta_control_net remote** – в этом варианте информация распространяется адресно (**unicast**), по запросам. Запросом считается любой пакет с командой. Например, **Null** – командой или специальный пустой **sync**– пакет;

- **bta_control_net hostname [sync]** – в этом режиме программа работает как сервер на всех компьютерах, кроме главного (**acs1**). **hostname** – это или сетевое имя главного компьютера или его **IP–адрес**.

  Необязательный параметр **sync** заставляет программу посылать **sync**–пакеты по адресу **hostname**, т.е. это для удаленной связи с вариантом **bta_control_net remote**.

  Программа принимает как **broadcast** так и **unicast** пакеты. Для приема **multicast**–пакетов адрес группы формируется автоматически из **hostname** как описано выше;

- **bta_control_net hostname:McastAddr** – вариант предыдущего режима с явным заданием адреса группы для приема информации через **multicast**. Например, bta_control_net acs1:239.0.8.7.

Примечание: В настоящее время, после организации удаленного рабочего места оператора в ком. 204, общая архитектура выглядит несколько сложнее. Компьютер рабочего места оператора **acs5** является ретранслятором сетевых пакетов для главного управляющего компьютера **acs1**. Он имеет два сетевых интерфейса. Одним он связан с общей сетью САО, а другим – с **acs1**. На нем загружены две программы **bta_control_net**. Одна в режиме сервера для объмена с **acs1**, а другая в режиме клиента для связи с компьютерами наблюдателей. Таким образом для компьютеров наблюдателей **acs5** выглядит как главный управляющий компьютер.

17.3 Регулирование сетевого доступа к главной управляющей прорамме bta_control.

Любая система сетевого доступа к объекту управления должна включать в себя средства контроля и ограничения этого доступа для предупреждения несанкционированного вмешательства в работу системы управления.

В системе управления БТА средства контроля сетевого доступа минимальны и заключаются в записи в стандартный протокол сообщений о каждом новом компьютере, с которого подаются команды на управление. Для того, чтобы это было возможно в формате команды предусмотрено поле IP-адреса источника управления. Программа **bta_control_net**, с компьютера наблюдателя, подставляет в это поле IP-адрес этого компьютера.

Ограничение доступа в системе управления БТА реализовано двумя взаимодополняющими способами:

1. Ограничение по IP-адресу компьютера наблюдателя. Для этого устанавливается диапазон IP-адресов которому должен принадлежать компьютер, посылающий команду. Для этого командами через программный интерфейс устанавливаются и распространяются обратно через блок общей памяти два параметра – адрес подсети и маска подсети. Принцип контроля следующий: IP-адрес источника маскируется установленной маской подсети (побитовая операция **И**). Результат должен совпадать с установленным адресом подсети. Конкретные значения этих параметров устанавливаются при помощи меню в интерфейсе оператора. Сейчас это выбор из пяти, нижеописанных, вариантов:

```
маска            подсеть         комментарий
0.0.0.0          0.0.0.0         вся сеть без ограничений
```

```
255.255.192.0        192.168.0.0     вся сеть САО
255.255.255.0        192.168.3.0     сеть БТА
255.255.255.248      192.168.3.56    сеть АСУ
255.255.255.255       -- // --       без сети
```

Проверку подаваемых команд производит программа **bta_control_net**. „Бракованные"команды в главную управляющую программу **bta_control** она не пропускает.

2. Получение пользователями привилегий доступа по паролям. Для этого в системе управления определены пять уровней доступа – привилегий. Принцип – чем больше номер, тем больше привилегий:

   - **первый уровень** – только просмотр информации;
   - **второй уровень** – дает право вводить координаты;
   - **третий уровень** – добавляется право управлять фокусировкой, P2 и подавать коррекции телескопа во время ведения;
   - **четвертый уровень** – минимальные операторские привилегии (пуск/стоп телескопа, все операции, выполняемые по клавишам **F1...F12**, тестовые режимы);
   - **пятый уровень** – все функции оператора и пользователя.

   Каждому уровню соответствует установленный пароль. Каждый пароль шифруется. Полученная последовательность байтов разделяется на две части. Одна часть называется код доступа, а другая – ключ доступа. Коды доступа для всех уровней распространяются через программный интерфейс и известны всем программам – клиентам. Ключи доступа скрыты внутри управляющей программы.

   В каждой программе – клиенте используется этот же алгоритм шифрации паролей с получением ключа и кода. Сравнивая свой код с полученным от главной управляющей программы программа – клиент определяет соответствует ли пароль какому – либо уровню доступа. В каждой команде передаваемой в систему управления предусмотрено поле для передачи ключа доступа. Главная управляющая программа сравнивает полученный ключ со своим и устанавливает соответствующий уровень доступа, к которому принадлежит каждая полученная команда. Если ключ неправильный, то команда отбрасывается и делается запись в протокол. Затем при разборе каждой конкретной команды проверяется соответствует ли её уровень доступа тому, который необходим для её выполнения.

Из эти общих правил сейчас сделано два исключения:

1. Если команда с правильным ключём уровня доступа 5 принята от компьютера наблюдателя (т.е. не от (**acs1** и **acs5**), то ей автоматически присваивается уровень 4. Это сделано для того, чтобы удаленно нельзя было воспользоваться привилегиями главного оператора. Например, класть телескоп в „горизонт"или двигать купол.

2. Для компьтеров АСУ (**acs1** и **acs5**) неправильный ключ доступа не означает ошибки. Привилегия назначается по типу канала из которого принята эта команда. Это сделано для того, чтобы облегчить работу операторов, не заставляя их постоянно вводить пароли на своем рабочем месте.

18 Параметры конфигурации.

В момент загрузки главная управляющая программа считывает файлы с настроечными параметрами. Сейчас существует три таких файла. Это **bta_control.conf**, **bta_control.coeff** и **bta_control.access** в справочнике **/usr/local/sbin**, т.е. там же где находится и запускается и сама главная управляющая программа **bta_control**. Формат этих файлов: Имя параметра = значение параметра и, возможно, # коментарий.
в начале строки говорит о том, что строка не используется.

Все параметры, которые могут задаваться в этом файле, имеют и внутренние предопределенные значения в самой программе. То есть с помощью файла конфигурации можно изменять параметры настройки, находящиеся в самой программе. Файл **bta_control.conf** содержит основные параметры управляющей программы. В нем может быть следующий список имен параметров:

```
Longitude = ...   # долгота места установки телескопа в угловых секундах
      (расстояние от меридиана Гринвича);
Fi= ...           # широта места установки телескопа в угловых секундах;
#cos Fi= ...      # cos Fi (вместо Fi можно взять cos Fi или sin Fi);
#sin Fi= ...      # sin Fi;
A_0= ...          # положение нуля по A;
Z_0= ...          # положение нуля по Z;
DUP_A_0= ...      # смешение нуля ДУП A;
DUP_Z_0= ...      # смешение нуля ДУП Z;
F_0= ...          # положение нуля фокуса;
F_a0= ...         # амплитуда поправки датчика фокуса (см. формирование
     отсч\"{e}та фокуса );
F_ph0= ...        # фаза поправки датчика фокуса (см. формирование
     отсч\"{e}та фокуса);
D_0 = ...         # положение нуля купола;
D_k0= ...         # коэффициеты коррекции:
```

```
D_a0= ...           k0*D+a0*sin((D-ph0)*PI/180.);
D_ph0=...
TimeFact= ...     # стартовый масштаб дрейфа часов компьютера
    относительно Ч7-15, примерно равный 0,505 сек/час).
```

Файл **bta_control.coeff** содержит поправки СКН:

```
Coeff_PF          # поправки СКН в ПФ (восемь чисел через пробел);
Coeff_N1          # поправки СКН в N1 (восемь чисел через пробел);
Coeff_N2          # поправки СКН в N2 (восемь чисел через пробел);
```

Файл **bta_control.access** содержит стартовые значения параметров регулирования доступа:

```
ACSmask= ...      # маска технологической подсети АСУ;
ACSnet=  ...      # адрес технологической подсети АСУ;
NetMask= ...      # маска подсети доступа;
NetWork= ...      # адрес подсети доступа;
Passwd1= ...      # пароль первого уровня достута;
Passwd2= ...      # пароль второго уровня достута;
Passwd3= ...      # пароль третьего уровня достута;
Passwd4= ...      # пароль четвертого уровня достута;
Passwd5= ...      # пароль пятого уровня достута.
```

Приложение.

Полный список команд программного интерфейса.

StopTeleskope()	останов телескопа	(опер)
StartHightSpeed()	старт привода наведения	(опер/тест)
StartLowSpeed()	старт привода ведения	(опер/тест)
SetTimerMode(T)	уст. Ch7_15 или SysTimer)	(Гл.опер)
SetModelMode(M)	уст. режим моделирования	(Гл.опер)
SetPKN_A(iA,sA)	код скорости по A	(опер/тест)
SetPKN_Z(iZ)	код скорости по Z	(опер/тест)
SetPKN_P(iP)	код скорости по P	(опер/тест)
SetSpeedA(vA)	уст. скорость по A	(опер/тест)
SetSpeedZ(vZ)	уст. скорость по Z	(опер/тест)
SetSpeedP(vP)	уст. скорость по P	(опер/тест)
SetRADec(Alp,Del)	зап.новые координаты R.A.и Decl	(набл)
SetAzimZ(A,Z)	зап.координаты азимут и зен.расст	(набл)
GoToObject()	старт наведения на объект (по R.A.и Decl)	(опер)
MoveToObject()	переезд на объект (по R.A.и Decl)	(набл)
GoToAzimZ()	наведение по положению (по A Z)	(набл)
WriteModelAZ()	установка A и Z для FullModel	(опер)
SetPMode(pmod)	уст. режим использования P2	(набл)
MoveP2(dir)	вкл./выкл. (+-1,0) движение P2	(набл)
MoveFocus(speed,time)	вкл./выкл. (+-2,+-1,0) движение фокуса	(набл)
SwitchPosCorr(pc_flag)	режим уч\"{e}та поправок положения (СКН)	(опер)
SetTrkOkMode(trk_flags)	уст. флагов режима слежения	(опер)

SetTelFocus(N)	уст.фокуса: 0-ПФ, 1-Н1, 2-Н2	(опер)
SetVelAD(VAlp,VDel)	уст.ск.собсв.дв-я объекта по R.A.и Decl	(опер)
SetAzRevers(amod)	уст. режим "обхода" азимута	(набл)
SetVelP2(vP2)	уст.скор..дв-я P2 (для ДБУ)	(набл)
SetSysTarg(Targ)	уст. цели наведения	(опер)
SendMessage(Mesg)	размещение сообщения (клиентам и в протокол)	(набл)
DoADcorr(dAlp,dDel)	коррекция координат R.A.и Decl	(набл)
DoAZcorr(dA,dZ)	коррекция координат A и Z	(набл)
SetVCorr(vA,vZ)	уст.скор.коррекции по A и Z	(набл)
MoveP2To(vP2,time)	переезд P2 по времени	(набл)
GoToSat()	старт наведения на стационар (по t и Decl	(опер)
MoveToSat()	переезд на стационар (по t и Decl)	(набл)
SyncCom()	пустая команда (для синхронизаций?)	(опер)
StartTeleskope()	кнопка "Пуск" телескопа	(опер)
SetTelMode(M)	уст. режимы работы телескопа	(Гл.опер)
TeleskopeOn()	кнопка Вкл. Масло, ЭМУ и т.д.	(Гл.опер)
SetDomeMode(dmod)	уст. режим использования купола	(Гл.опер)
MoveDome(speed,time)	вкл./выкл. (+-1+-2,+-3,0) движение купола	(опер)
SetPasswd(LPass)	уст. пароль уровня доступа	(Гл.опер)
SetLevCode(Nlev,Cod)	уст. код уровня доступа	(Гл.опер)
SetLevKey(Nlev,Key)	уст. ключ уровня доступа	(Гл.опер)
SetNetAcc(Mask,Addr)	уст. маску и адрес подсети	(Гл.опер)