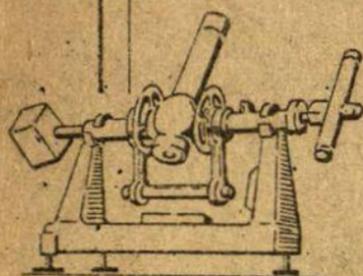


169.



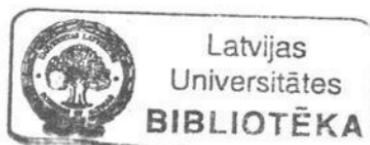
УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАССАЖНОГО ИНСТРУМЕНТА

Министерство высшего и среднего специального образования  
Латвийской ССР  
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени  
государственный университет имени Петра Стучки

Ученые записки  
Латвийского государственного университета  
имени Петра Стучки  
том 169

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАССАЖНОГО ИНСТРУМЕНТА



Редакционно-издательский отдел ЛГУ им. Петра Стучки  
Рига 1972

Сборник научных статей посвящен проблеме автоматизации фотоэлектрического пассажного инструмента. Анализированы схемы и точность электронного прибора для автоматического получения средних моментов прохождения звезд измерением длительностей выбросов. Рассматривается оптимальный выбор звезд в случае применения этого прибора. Описаны вспомогательные механические части для осуществления автоматизации движений фотоэлектрического пассажного инструмента.

Печатается по решению Издательского совета ЛГУ им. Петра Стучки от 17 марта 1972 года

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П. СТУЧКИ  
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ, ТОМ 169, 1972

2к-

М. П. О г р и н ь ш

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО МОМЕНТА  
ПРОХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД

Устройство, описанное в данной статье, работает по методу учета случайных выбросов фототока от фотоэлектрического усилителя, т.е. при звездных прохождениях регистрируются длительности выбросов одного знака в интервале между двумя последующими метками [1]. Определяется средний момент  $T_{cp}$  на основе  $n$  интервалов, где  $n$  четное число. Пересечения с постоянным уровнем могут быть с дробью. Средний момент равен моменту  $t_{cp}$ , зависящему от расположения меток, из которого вычитается поправка  $\Delta t_{cp}$ :

$$T_{cp} = t_{cp} - \Delta t_{cp} \quad (1)$$

Поправка  $\Delta t_{cp}$  является результатом усреднения по  $n$  интервалам с учетом выбросов. Найдем, чему равны  $t_{cp}$  и  $\Delta t_{cp}$ . Рассмотрим периодический сигнал от фотоэлектрического усилителя, на который накладываются метки. На рисунке 1 сигнал между первой и второй меткой изображен без выбросов /дроби/. В таком случае между двумя метками находится одна точка пересечения сигнала с нулевым уровнем /контакт/.

На рисунке 1 горизонтальной линией изображается нулевой уровень, т.е. уровень срабатывания порогового устройства. Сигнал метками /вертикальные линии/ и контактами разделяется на части  $\Delta t_{ij}$ .

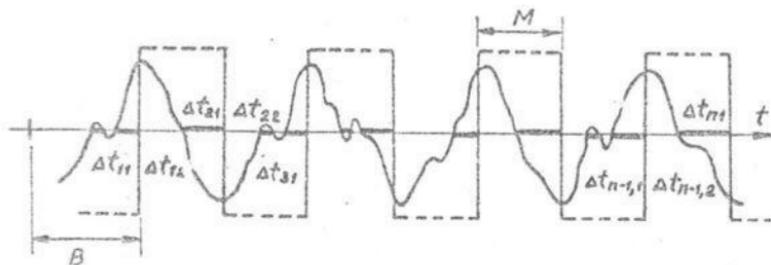


Рис. 1

Величины  $\Delta t_j$  с учетом дробности являются суммами длительностей выбросов определенного знака между соседними метками [1] /  $\Delta t_{11}, \Delta t_{12}, \Delta t_{21}, \dots, \Delta t_{n-1,2}$  - суммы длительностей положительных выбросов;  $\Delta t_{21}, \Delta t_{22}, \dots, \Delta t_{n-1,1}$  - отрицательных выбросов/. Если контакты без дробности,  $\Delta t_j$  являются просто отрезками времени между контактами и ближайшими метками.

Вычислим средний момент из  $n$  контактов, если имеются контакты без дробности:

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \left[ nA + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) (\Delta t_{j1} + \Delta t_{j2}) \right],$$

где  $A$  - промежуток времени от произвольного начала до первого пересечения. Это выражение преобразуется в следующее, учитывая, что  $\Delta t_{j2} + \Delta t_{j+1,1} = M$ , где расстояние между соседними метками. Перепишем выражение для  $T_{cp}$  в следующем виде

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \left[ nA + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \Delta t_{j1} + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \Delta t_{j2} \right]$$

В первой сумме заменяем индекс  $j = k + 1$

$$\begin{aligned} T_{cp} &= \frac{1}{n} \left[ nA + \sum_{k=0}^{n-2} (n-k-1) \Delta t_{k+1,1} + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \Delta t_{j,2} \right] = \\ &= \frac{1}{n} \left[ nA + \sum_{k=0}^{n-2} (n-k) \Delta t_{k+1,1} - \sum_{k=0}^{n-2} \Delta t_{k+1,1} + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \Delta t_{j,2} \right] \end{aligned}$$

Во второй сумме делаем подстановку  $k = j - 1$

$$\begin{aligned} T_{cp} &= \frac{1}{n} \left[ nA + \sum_{k=1}^{n-1} (n-k) \Delta t_{k+1,1} + n \Delta t_{1,1} - \Delta t_{n,1} - \sum_{j=1}^{n-1} \Delta t_{j,1} + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \Delta t_{j,2} \right] = \\ &= \frac{1}{n} \left[ nA + n \Delta t_{1,1} - \sum_{j=1}^{n-1} \Delta t_{j,1} + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) (\Delta t_{j,2} + \Delta t_{j+1,1}) \right] \end{aligned}$$

Учитывая, что  $\Delta t_{j,2} + \Delta t_{j+1,1} = M$ , имеем:

$$T_{cp} = A + \Delta t_{1,1} + M \left( \frac{n}{2} - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta t_{j,1}$$

Вводим величину  $B = A + \Delta t_{1,1}$ , т.е. расстояние от произвольной точки до первой метки /рис.1/ и опускаем второй индекс в сумме, поскольку он всегда равен 1. В результате получаем

$$T_{cp} = B + M \left( \frac{n}{2} - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta t_j \quad (2)$$

На рис. 2 дается блок-схема устройства для регистрации средних моментов прохождений звезд по вышеупомянутому методу. Устройство содержит астрономический инструмент АИ, фотоэлектрический усилитель ФУ с решеткой Р и хронограф Х. Между усилителем и хронографом находится блок автоматики, что обеспечивает определение  $T_{cp}$  по формуле (2). В дальнейшем будет описано конкретное устройство для регистрации среднего момента. Несомненно, что устройство для регистрации среднего момента по нами предложенному методу [1] могло быть построено более качественно и проще при наличии подходящей аппара-

турн. Мы описываем вариант, в котором используется стандартная аппаратура, имеющаяся в любой службе времени, т.е. счетчик импульсов, кварцевые часы и печатающий хронограф. Построен только блок автоматики. Фиксируется момент времени  $B + M(\frac{n}{2} - \frac{1}{2})$  на печатающем хронографе, и  $\sum \Delta t_j$  также определяется по 2 отпечаткам печатающего хронографа.

Для измерения  $\sum \Delta t_j$  используется сигнал стандартной частоты в 1 кГц от кварцевых часов. Из синусоидального сигнала частотой в 1 кГц, усиленного усилителем У, формирователем импульсов  $\Phi_2$  и формируются кратковременные униполярные импульсы с частотой следования в 1 кГц. Эти счетные импульсы поступают на вход счетчика импульсов СИ по двум каналам через временные селекторы ВС-1 и ВС-2 только в течение отрезков времени, соответствующих  $\Delta t_j$ . Показание счетчика соответствует  $\sum \Delta t_j$ . Временные селекторы ВС-1 и ВС-2 управляются пороговым устройством ПУ, т.е. сигналом и формирователем меток  $\Phi_M$ . Отрезок времени  $B + M(\frac{n}{2} - \frac{1}{2})$  соответствует середине  $n$  меток. Если  $n$  четное, то этот момент не соответствует ни одной из меток и находится посередине между  $\frac{n}{2}$ -ой и  $\frac{n}{2} + 1$ -ой метками. Для определения  $T_{ср}$  необходимо отпечатать этот момент времени и измерить  $\sum_{j=1}^n \Delta t_j$ . Для соблюдения условий метода требуется, чтобы период сигнала от звезды мало отличался от  $2M$  и был, примерно, равным  $1/4$  периода сигнала.

Если регистрация ведется в нормальном режиме, то для того, чтобы соблюдать условия метода, метки не должны смещаться относительно сигнала от звезды за время регистрации больше чем на  $1/4$  периода сигнала из-за неравенства расстояния между метками  $M$  полупериоду сигнала от звезды  $T$ . Относительная погрешность при установлении расстояния между метками не должна превышать

$$\frac{\Delta M}{M} \approx \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2n-1}$$

При  $n = 12$

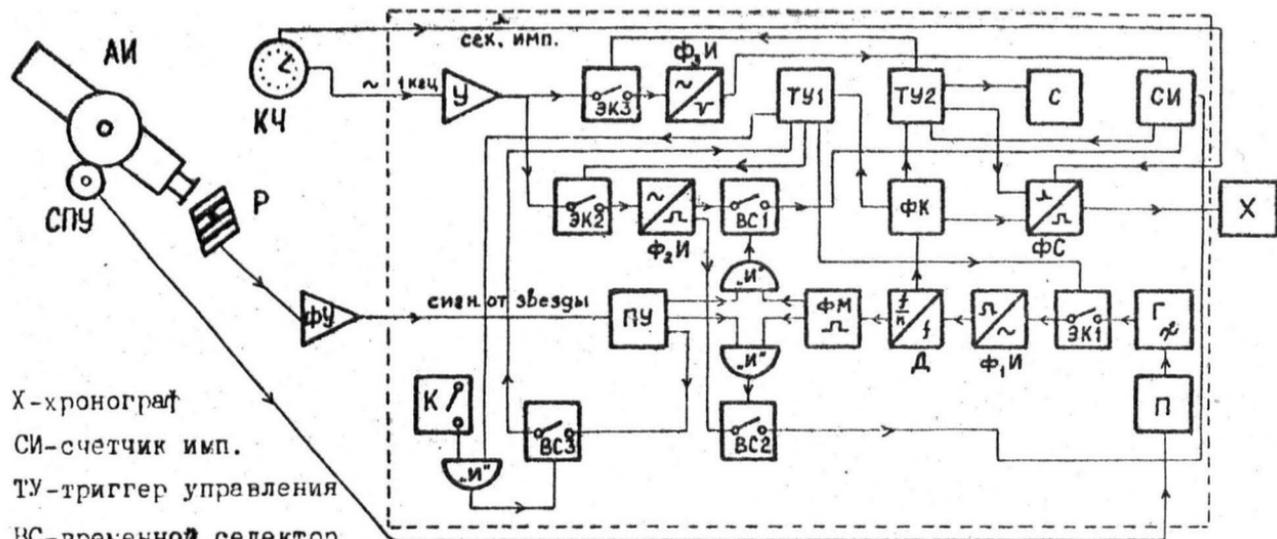
$$\frac{\Delta M}{M} \approx 4\%$$

Если регистрируют вне нормального режима, то условия более жесткие.

Метки формируются из синусоидальных сигналов, генерируемых генератором  $\Gamma$ , у которого можно менять частоту. Формирователем импульсов  $\Phi_1$  из синусоиды формируются прямоугольные сигналы, а частота следования прямоугольных импульсов делится делителем  $\Delta$ . Расстояние между метками зависит от склонения наблюдаемой звезды, поэтому частота генератора  $\Gamma$  настраивается в зависимости от наклона трубы астрономического инструмента АИ системой передачи угла поворота СПУ и преобразователем  $\Pi$ .

Метки должны, примерно, совпадать с экстремумами сигнала, т.е. они должны запускаться в определенный момент времени. Запуск регистрирующего устройства происходит замыканием ключа  $K$ , и это должно происходить перед "первым" пересечением сигналом уровня срабатывания порогового устройства при достижении сигналом уровня, близкого максимальному. После замыкания  $K$ , когда от сигнала срабатывает пороговое устройство  $\Pi$ , через временной селектор ВС-3 проходит импульс, открывающий с помощью триггера управления ТУ-1 электронные ключи ЭК-1 и ЭК-2. Начало формирования меток определяется первым пересечением сигналом уровня срабатывания  $\Pi$ , которое происходит через некоторое время после замыкания  $K$ . Чтобы представить себе, как работают временные селекторы ВС-1 и ВС-2 на рис. 1 проведены пунктирные отрезки, которые представляют прямоугольный сигнал от ФМ. Интервалы времени, которые должны регистрироваться счетчиком импульсов выведены жирным шрифтом. При положении прерывистых отрезков  $\Phi$  над уровнем порогового устройства счетные импульсы проходят через ВС-2, но только в течение отрицательных выбросов сигнала от ФУ. При положении сигнала от ФМ под уровнем  $\Pi$  должен быть положительный выброс, чтобы счетные импульсы попадали на СИ через ВС-1. Таким образом осуществляется логическая операция "И".

Через отрезок времени  $M(\frac{n}{2}-\frac{1}{2})$  от первой метки формирователем команд ФК через формирователь сигналов



- Х-хронограф
- СИ-счетчик имп.
- ТУ-триггер управления
- ВС-временной селектор
- ФМ-формирователь меток
- ФК-формирователь команд
- ПУ-пороговое устройство
- ФИ-формирователь импульсов
- ФУ-фотоэлектрический усилитель

схема действия  
ПУ, ФМ, ВС1, ВС2

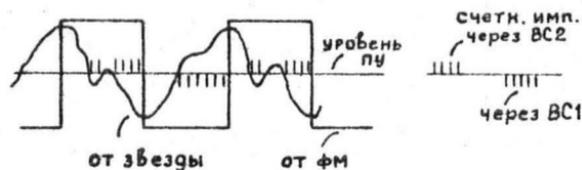


Рис. 2

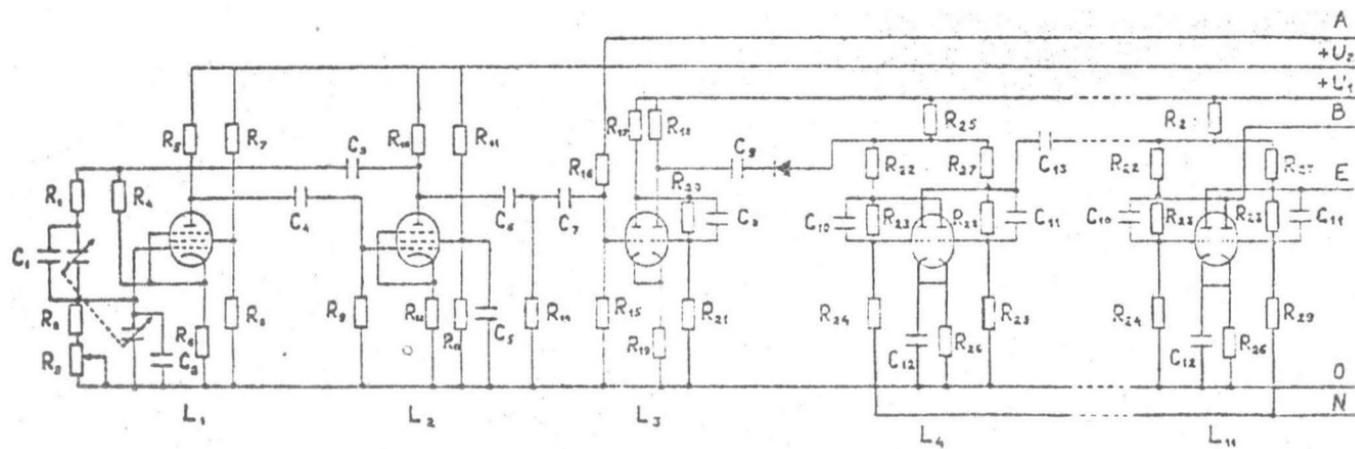


Рис. 3

ФС на вход хронографа X подается сигнал, и этот момент времени фиксируется. Последняя метка /в приборе АО Ляв. госунив. 12 меток/ переводит триггер управления ТУ-1 в первоначальное положение, при этом электронные ключи ЭК-1 и ЭК-2 закрываются, т.е. сигналам путь закрыт. Для передачи показания счетчика на хронограф формирователь команд при появлении последней метки переводит триггер управления ТУ-2 во второе положение. Этот момент времени отмечается на хронографе X, и открывается электронный ключ ЭК-3. От формирователя импульсов ФИ-3 счетные импульсы поступают на вход счетчика импульсов СИ. В момент набора полного объема счетчика СИ импульс от счетчика переводит ТУ-2 обратно в первоначальное положение, ЭК-3 закрывается и подается сигнал сброса /с/, и все устройство возвращается в исходное положение. Этот момент тоже фиксируется на хронографе X. Из времени досчета счетчика СИ и объема счетчика можно определить  $\sum \Delta t_j$ .

Объем счетчика СИ должен быть таким, чтобы его было достаточно для регистрации самых медленных звезд, но в то же время достаточно малым для произведения досчета за время перекладки инструмента.

На рис. 3 и 4 даны принципиальные электрические схемы электронной части блока автоматики устройства для определения средних моментов прохождений звезд по блок-схеме, изображенной на рис. 2. В эти схемы не входят счетчик импульсов СИ /ПС-10000/, объем которого сделан равным 60 000 из ранее изложенных соображений, и сельсинная система передачи угла поворота /СПУ/ с механическим преобразователем /П/, настраивающая частоту генератора Г в зависимости от склонения наблюдаемой звезды. Механический преобразователь сделан в виде кулачкового механизма, подвижный стержень которого поворачивает пластины переменного конденсатора генератора Г.

На рис. 3 дана схема генератора Г, формирователя импульсов  $\Psi_1$  и делителя частоты следования прямоугольных импульсов Д. Вся схема блока автоматики выполнена на электровакуумных лампах. На лампах  $L_1$  и  $L_2$

выполнен генератор RC синусоидальных колебаний [2]. Элементами обратной связи  $R_1$ ,  $R_2$  и конденсаторами переменной емкости определяется частота генерируемых колебаний, а термистор  $R_4$  введен для стабилизации амплитуды колебаний. Параллельно переменным конденсаторам включены емкости  $C_1$  и  $C_2$ , чтобы перекрыть только необходимый диапазон частот. Потенциометр  $R_3$  служит для сдвига всего диапазона генерируемых частот в небольших пределах, а сопротивление  $R_n$  выполняет роль подгрузки. При выбранных параметрах схемы диапазон генерируемых частот от 40 - 200 гц.

Триггер Шмита ( $L_3$ ) формирует прямоугольные импульсы из синусоиды генератора Г, если на делитель  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  подано разрешающее напряжение /ЭК-1/ от триггера управления ТУ-1. На лампах  $L_4$  -  $L_{11}$  построен делитель частоты следования прямоугольных импульсов, снимаемых со второго анода  $L_3$ . Триггеры делителя запускаются отрицательными импульсами, подаваемыми на общее анодное сопротивление. С анодов последней ступеньки делителя ( $L_{11}$ ) сигнал /прямоугольный/ с периодом  $M$ , отрицательные фронты которого соответствуют меткам /левый анод  $L_{11}$ /, подается на формирователь меток ФМ /  $L_{30}$ ,  $L_{29}$  / и формирователь команд ФК /  $L_{35}$ ,  $L_{24}$ ,  $L_{21}$ ,  $L_{15}$ ,  $L_{34}$ ,  $L_{27}$ ,  $L_{26}$ ,  $L_{24}$  /

В исходном состоянии левые половины всех триггеров делителя Д открыты, за исключением последнего. Такое начальное состояние делителя позволяет получить первую метку через отрезок времени  $1/2 M$ . Предусмотрен импульсный и механический сброс /возврат в исходное состояние всех триггеров устройства/. Механический сброс совершается размыканием контактов реле, укорачивающих сопротивление  $R_{31}$  /рис.4/. При этом  $R_{31}$  включается последовательно со всеми сеточными сопротивлениями соответствующих половин триггеров, значительно повышая потенциалы сеток. При импульсном же сбросе потенциалы тех же сеток поднимаются подачей мощного импульса с катода лампы  $L_{12}$  через малое сопротивление  $R_{32}$ . Формирователем меток ФМ является двухтактный триггер ( $L_{30}$ ) и выходная лампа  $L_{29}$ . Триггер запускается отрицательными импульсами, соответствующими отрица-

тельными фронтами прямоугольного сигнала на выходе делителя  $D$  /левая половина  $L_{11}$ /. Эти же импульсы запускают триггер на лампе  $L_{35}$ . Четыре двухтактных триггера на лампах  $L_{35}, L_{26}, L_{24}, L_{15}$  с обратной связью  $/C_{46} R_{111} /$  имеют 12 различных дискретных состояний. Поскольку первый триггер ( $L_{35}$ ) запускается импульсами, соответствующими меткам, то эти четыре триггера на выходе выдают командный импульс остановки регистрации на двенадцатой метке, т.е. определяет конец регистрации.

Три двухтактных триггера на лампах  $L_{34}, L_{27}, L_{26}$ , с обратной связью  $/C_{44} R_{110} /$  имеют 6 различных дискретных состояний. Первый из этих триггеров ( $L_{34}$ ) запускается отрицательными импульсами, соответствующими отрицательным фронтам прямоугольных импульсов на правом аноде последнего триггера делителя  $D$  ( $L_{11}$ ). Эти отрицательные импульсы точно соответствуют серединам между метками. Поэтому шестой импульс на входе первого триггера ( $L_{34}$ ), соответствующий середине между шестой и седьмой метками /так же середина между 1 и 12 метками/ дает командный импульс на выходе третьего триггера ( $L_{26}$ ) для записи на хронографе. Второй, лишний, командный импульс за время регистрации не выдается, поскольку он соответствовал бы середине между двенадцатой и тринадцатой метками, а на двенадцатой метке регистрация заканчивается.

Командные импульсы снимаются с анодов последних триггеров  $/L_{15}$  и  $L_{23} /$  и в виде положительных импульсов подаются на сетки лампы  $L_{14}$ . На сетку правой половины  $L_{14}$  подается импульс, соответствующий середине между 1 и 12 метками, а на сетку левой половины соответствующий двенадцатой метке /концу регистрации/. Поскольку моменты времени, соответствующие середине между 1 и 12 метками и концу регистрации /12 метка/ должны быть отпечатаны на хронографе, то положительные импульсы, снимаемые с катодов лампы  $L_{14}$  и соответствующие этим моментам, подаются на формирователь сигналов ФС  $/L_{25}$  и левая половина  $L_{32} /$  для размыкания контактов хронографа. Так как время размыкания контактов хронографа для надежного срабатывания должно быть не

менее 0,1 сек, то эти импульсы подаются на вход однотактного триггера /  $L_{25}$  /. Сигнал с анода этого триггера через делитель  $R_{133}$   $R_{134}$  подается на сетку левой половины  $L_{32}$  . При этом контакты реле хронографа, включенного в анодную цепь  $L_{32}$  размыкаются на 0,1 сек.

Временные селекторы ВС-1 и ВС-2 выполнены на лампе  $L_{22}$  /левая половина ВС1, правая - ВС2/. Во время регистрации на сетки обоих селекторов непрерывно поступают счетные импульсы, но проходят через тот или другой селектор при разрешающем напряжении на его сетке. Счетные импульсы проходят через ВС1 лишь при одновременном наличии высокого напряжения /разрешающего/ на правых анодах  $L_{29}$  и  $L_{30}$  /на рис.1 пунктирная линия ниже, а сигнал выше уровня срабатывания порогового устройства/. ВС-2 открыт для счетных импульсов при одновременном наличии высокого напряжения на левых анодах  $L_{29}$  и  $L_{23}$  /пунктир выше, сигнал ниже уровня на рис.1/.

Разрешающее напряжение на анодах  $L_{29}$  создается в виде прямоугольных сигналов с периодом, примерно равным периоду сигнала от регистрируемой звезды. Метками по существу являются фронты этих прямоугольных сигналов с периодом  $2M$  /рис.1/. Наличие разрешающего напряжения на левом аноде  $L_{23}$  и правом  $L_{30}$  зависит от уровня сигнала от звезды. Сигнал от звезды /от фотоэлектрического усилителя ФУ/ поступает на сетку  $L_{37}$  , а с анода этой лампы подается на пороговое устройство ПУ/ $L_{36}$  и левая половина  $L_{23}$  /. На лампе  $L_{30}$  выполнен триггер Шмита, гистерезисом которого можно пренебречь, так как сигнал на его входе практически прямоугольный. В целях повышения крутизны фронта сигнала разрешающего напряжения, он снимается с правого анода  $L_{30}$  и анода инвертора /левая половина  $L_{23}$  /.

Формирование счетных импульсов происходит следующим образом. Стандартный сигнал частотой в 1 кГц от кварцевых часов усиливается избирательным усилителем У /  $L_{31}$  / с настроенным на 1 кГц колебательным контуром в анодной цепи. Усиленный сигнал подается одновременно на два триггера Шмита /  $L_{31}$  и  $L_{24}$  / для формирования прямоугольных импульсов / $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ / при разреша-

ючем напряжении на их сетках. Разрешающее напряжение на сетку  $L_{31}$  подается от триггера управления  $TU-1$ , а на сетку  $L_{24}$  - от  $TU-2$ . Прямоугольные импульсы с анода  $L_{31}$  дифференцируются на переходных цепочках  $/R_{84}, C_{36}$  и  $R_{79}, C_{35}/$  и поступают на сетки селекторов  $BC-1$  и  $BC-2 / L_{22} /$ . При разрешающем напряжении через селекторы проходят положительные импульсы. Пропущенные селекторами импульсы снимаются с общего катодного сопротивления  $R_{82}$ , усиливаются усилителем и с выхода катодного повторителя  $/ L_{16} /$  подаются на счетчик импульсов  $СИ$ .

Импульсы со второго триггера Шмита ( $L_{24}$ ) также дифференцируются, усиливаются и с катодного повторителя  $/ L_{17} /$  подаются на счетчик  $СИ$  во время досчета счетчика.

Пуск устройства осуществляется следующим образом. Запускаются контакты реле, закорачивающие сопротивление  $R_{93}$  /ключ  $K/$ , напряжение смещения правой половины  $L_{23}$  уменьшается. При высоком напряжении на правом аноде  $L_{19} /TU-1/$  при первом положительном выбросе сигнала от звезды через правую половину  $L_{23} /BC-3/$  проходит положительный импульс. Отрицательный импульс с правого анода  $L_{23}$  опрокидывает  $TU-1 / L_{15}$  и  $L_{19} /$ , снимая разрешающее напряжение с правого анода  $L_{19}$ , т.е. с правой сетки  $L_{23}$ .

Таким образом устройство однозначно запускается первым срабатыванием порогового устройства.

Триггер управления  $TU-1 / L_{13}, L_{19} /$  переводится обратно отрицательным импульсом, снимаемым с анода левой половины  $L_{14}$ , который соответствует двенадцатой метке. С левого анода  $L_{19}$  разрешающее напряжение подается на  $L_{31} /ЭК-2/$  и  $L_3 /ЭК-1/$ .

Триггер управления  $TU-2 / L_{26}$  и  $L_{33} /$  тоже запускается отрицательным импульсом /двенадцатой меткой/ с левого анода  $L_{14}$ , а после досчета переводится обратно импульсом от счетчика  $СИ$ , усиленным усилителем /правая половина  $L_{32} /$ . Во время досчета триггер управления  $TU-2$  подает разрешающее напряжение на сетку  $L_{24} /ЭК-3/$ . Начало и конец досчета фиксируются на

хронографе. При возвращении ТУ-2 в исходное состояние после досчета на сетку  $L_{12}$  /С/ подается положительный импульс, и происходит импульсный сброс.

Для нанесения шкалы времени на ленту хронографа печатаются секундные импульсы от часов, усиленные лампой  $L_{18}$ .

Точность установления необходимого  $M$  зависит от сельсинной системы передачи угла поворота СГУ и механического преобразователя П, а генератор Г должен иметь такую стабильность частоты генерируемого сигнала, чтобы обеспечить постоянство  $M$  с точностью не менее 0,001 сек. Что касается длины отрезка времени от начала регистрации до первой метки, то ее значение может колебаться на величину полупериода сигнала  $\frac{1}{2} T'$  генератора Г около значения  $1/2 M$  в зависимости от значения фазы сигнала генератора Г в момент начала регистрации. Поскольку делитель Д имеет 8 ступеней, то относительная неточность из-за начальной фазы  $\frac{\Delta M}{M} = \frac{\frac{1}{2} T'}{2^3 T'}$ , т.е. отрезок времени от начала регистрации до первой метки равен  $\frac{1}{2} M \pm \frac{1}{2^3} M$ . Из таких соображений необходимо выбрать коэффициент деления делителя Д не менее 100.

Для выполнения условия (3) угол поворота пластин переменного конденсатора генератора Г должен быть установлен с точностью не менее  $\pm 4^\circ$  во всем диапазоне изменений  $M$ , что соответствует точности перемещения подвижного стержня  $\pm 2$  мм. Кулачок кулачкового механизма,двигающий стержень, имеет такую форму, которая обеспечивает линейную зависимость между углом поворота астрономического инструмента и необходимым значением  $M$ . При этих условиях сельсинная система передачи угла поворота должна обеспечить поворот кулачка с точностью  $\pm 30'$  для экваториальных звезд и  $\pm 3^\circ$  для самых медленных регистрируемых звезд.

## Л и т е р а т у р а

1. К.А.Штейнс и М.П.Огриньш. Ученые записки Латв.гос. унив., том 148, вып. 6, стр.3, 1971.
2. А.М.Бонч-Бруевич. Радиозлектроника в экспериментальной физике 1966.

## К о р р е к т и в а

М. О г р и н њ с

## IEKĀRTA ZVAIGZŅU VIDĒJĀ TRANZĪT MOMENTA NOTĪKŠANAI

Aprakstīta iekārta ar automātikas bloku, kas satur atskaites impulsu, attālumus starp kuriem automātiski iestādas atkarībā no zvaigznes  $\sigma$ , generatoru. Atskaites impulsi automātiski novietojas signāla ekstremālajās vietās, bet starp blakusesošajiem atskaites impulsiem tiek mērīts noteiktas zīmes signāla izmetumu kopilgums. Vidējais moments veidojas no 12 atskaites impulsu vidum atbilstošā momenta un korekcijas, kas ir vidējais signāla izmetumu kopilgums starp blakus atskaites impulsiem. Izmetumu ilgumu mēra skaitot impulsus no kvarca pulksteņa ar 1 kHz sekosanas frekvenci. Automātikas bloka loģiskā daļa izdala 12 atskaites impulsu vidum atbilstošo momentu, nodrošina registrācijas sākumu un beigas, rezultātu nolaišanu no impulsu skaitītāja. Dots iekārtas shēmas.

## S u m m a r y

M. O g r i ņ s

DEVICE FOR DETERMINATION OF VALUE OF THE MEAN  
STAR TRANSIT MOMENTS

The device with the automatic bloc containing the generator of reference impulses, the distances between which are adjusted automatically according to  $\sigma$  of star, is described. Reference impulses are placed automatically approximately in the extremes of the signal, but the sums of lengths of positive or negative ejections are measured between two following reference impulses. The value of the mean moment is constructed of the moment corresponding to the centre of 12 reference impulses and correction, which is the average sum of lengths of ejections between two neighbouring reference impulses. Lengths of ejections are measured by counting impulses from quartz clock with the frequency of 1 kc. The logical part of the automatic bloc fixes the moment corresponding to the centre of 12 reference impulses as well as assures the start and the end of registration, and removing of the indication from the counter of impulses. The schemes of the device are given.

Latvijas  
Universitātes  
BIBLIOTĒKA

М. П. О г р и н ь ш

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СРЕДНИХ МОМЕНТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД

В настоящей статье описывается экспериментальное исследование устройства для определения средних моментов прохождения звезд, построенного в Астрономической обсерватории ЛГУ [1]. Устройство в эксплуатацию еще не введено, а эксперименты проводились с помощью искусственной звезды, построенной М. К. Абеле, или с помощью прямоугольных сигналов. Для исследования влияния флуктуаций на точность регистрации на сигналы накладывались шумы от низкочастотного генератора белого шума Г2-12 или генератора ЗГ-10. Были исследованы следующие вопросы: 1. необходимая точность настройки частоты генератора меток. 2. Величина среднеквадратичной ошибки среднего момента в зависимости от амплитуды и частоты шума. 3. Число выбросов и регистрированных контактов в зависимости от амплитуды шума, по которому можно судить о надежности результатов.

§ 1. У с л о в и я д л я у с т а н о в к и  
ч а с т о т ы г е н е р а т о р а  
м е т о к

Генератор меток устройства для определения средних моментов прохождения звезд должен давать периодически метки с периодом, который не слишком сильно отличается от периода сигнала от звезды [2]. Период меток

во время наблюдений одной звезды должен быть постоянным. В рассматриваемом эксперименте сигналы от звезды заменялись прямоугольными сигналами, которые получались из кварцевых секундных импульсов после прохождения через формирователь сигналов ФС.

Если  $M = \frac{1}{2} T$ , то по отпечаткам на хронографе должно получиться  $\sum \Delta t_j = \frac{n}{4} T$ . Для того, чтобы соблюдать условие метода, не обязательно точное равенство  $M = \frac{1}{2} T$ , но допустимое отклонение  $M$  от  $\frac{1}{2} T$  ограничено [2]. Тогда соответствующие  $\sum \Delta t_j$  будут отличаться от значения  $\frac{n}{4} T$ , если  $M$  не равно  $\frac{1}{2} T$ , но и для  $\sum \Delta t_j$  существуют предельные значения. В пределах выполнения условий метода  $\frac{n}{8} T (1 - \frac{2}{2n-1}) < \sum \Delta t_j < \frac{n}{8} T (3 + \frac{2}{2n-1})$ , где  $n$  число меток, а предельные значения  $M$  соответствуют предельным значениям  $\sum \Delta t_j$ . Правильность этих формул подтвердил эксперимент. В пределах условий метода ( $M = \frac{1}{2} T \pm \frac{T}{2(2n-1)}$ )  $\sum \Delta t_j$  тоже имеют значения в указанном интервале, а хронограф дает правильные значения среднего момента с точностью  $\pm 0,001$  сек. Если значения  $M$  выходят из допустимого интервала, то точность определения среднего момента резко падает / см. рис. 2/. Предельные значения  $\sum \Delta t_j$  нужно учесть при выборе объема счетчика импульсов.

Установление требуемой частоты генератора меток не представляла трудности. Допускаемый интервал для значений  $M$  соответствует интервалу  $\delta^\circ$  для угла поворота конденсатора переменной емкости генератора меток. Проведенным экспериментом косвенным путем проверялась также необходимая точность равномерности меток. Действительно, неравномерность появления меток не была столь значительной, чтобы заметно повлиять на значения среднего момента. Точность среднего момента определялась исключительно точностью печатающего хронографа. Чтобы проверить последнее утверждение,  $\sum \Delta t_j$  измерялась также на контрольном счетчике импульсов.

Перейдем к описанию эксперимента. На рис. 1 изображена схема эксперимента.

На вход блока автоматики устройства для определения средних моментов прохождений звезд подается прямо-

угольный сигнал с периодом 4 сек. /  $\frac{T}{2} = 2$  сек./ . Этот сигнал формируется с помощью двухтактных триггеров /ФС/. Стартовыми импульсами служат секундные импульсы от кварцевых часов /КЧ/. Еще от кварцевых часов на блок автоматики подается стандартный сигнал частотой 1 кГц для формирования счетных импульсов. Счетчик импульсов СИ имеет объем 60 000, X – печатающий хронограф.

Для контроля и проверки точности измерения с помощью хронографа к блоку автоматики подключен контрольный счетчик импульсов, измеряющий  $\Sigma \Delta t_j$ . Сравнивая показания контрольного счетчика и хронографа, установлено, что точность определения  $\Sigma \Delta t_j$  с помощью хронографа определяется только точностью хронографа.



Рис. 1

При регистрации прямоугольного сигнала с периодом 4 сек. определяется середина 11 полупериодов /  $n = 12$ /. Поскольку фронты сигнала соответствуют целым секундам, то середина 11 полупериодов тоже соответствует целой секунде. Если на хронографе отпечатаны секундные импульсы, то уже заранее можно сказать, какой

должен получиться результат определения среднего момента.

Расстояние между метками должно быть установлено  $\frac{1}{2}T \pm \frac{T}{2(2n-1)}$ . Так как  $n = 12$ , а  $\frac{1}{2}T = 2$  сек, то  $M \approx (2,000 \pm 0,090)$  сек. Если значения  $M$  установлены в этих пределах, то результат не должен зависеть от значения  $M$ . На графике /рис.2/ изображена разность между значением середины 11 полупериодов сигнала и результатом измерения  $\Delta t$  в зависимости от значений  $M$ . Вне интервала значений  $M = (2,000 \pm 0,090)$  сек. результат

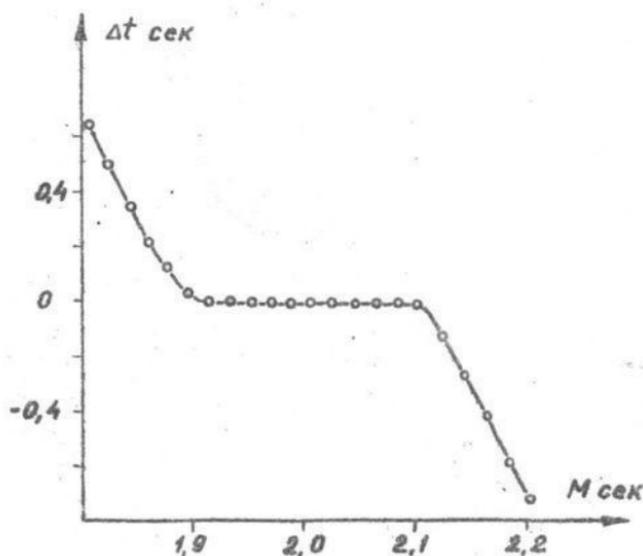


Рис.2

ошибочный, и отклонение возрастает с увеличением отклонения значений  $M$  от 2,000 сек. Если условия метода соблюдаются, то средний момент определяется с точностью  $\pm 0,001$  сек.

## § 2. Точность регистрации в зависимости от амплитуды и частоты шума

В лабораторных условиях были проведены эксперименты для определения влияния шумов на точность регистрации периодического сигнала частотой в 0,5 гц. Сигнал частотой в 0,5 гц, близкий к синусоидальному, т.е. к сигналу от звезды, генерировался с помощью устройства М.К.Абеле [3]. Синхронный мотор этого устройства и мотор печатающего хронографа питался одним общим источником т.е. переменным напряжением частотой в 50 гц от кварцевого генератора, что уменьшало ошибку из-за непостоянства частоты питания. Правда, частота в 50 гц для синхронного мотора прибора М.К.Абеле была преобразована в 25 гц, сигнал преобразовывался в прямоугольный и только после этого подавался на двухтактный резонансный усилитель, питающий синхронный мотор для модуляции светового потока. Синусоидально меняющийся световой поток направлялся на фотокатод фотоэлектронного умножителя, а фототок усиливался усилителем переменного тока. Из-за наводок усиленный сигнал имел составляющую частотой в 50 гц амплитудой 3-4% от амплитуды синусоиды частотой в 0,5 гц. Этот сигнал подавался на сетку двойного триода. На вторую сетку подавалось напряжение шума от низкочастотного генератора белого шума Г2-12 или от генератора ЗГ-10. В генераторе белого шума применялся внешний фильтр нижних частот для выделения полосы частот, ограниченной сверху частотой 500 гц. На общем анодном сопротивлении двойного триода оба сигнала суммировались. Сигнал, представляющий сумму синусоиды /0,5 гц/ и шума, подавался на вход блока автоматики устройства для определения среднего момента. Меняя величину шума, можно было подавать на вход блока автоматики сигнал с аддитивным шумом с различными значениями отношения  $\frac{\text{шум}}{\text{сигнал}}$ . Так как у фотоэлектрической установки АО Латвийского госуниверситета экваториальная звезда порождает фото-

ток с периодом 2,8 сек., то Генератор меток не приспособлен для регистрации сигнала с периодом 2 сек. Для регистрации сигнала с периодом 2 сек. коэффициент деления делителя частоты следования прямоугольных импульсов для формирования меток был уменьшен в два раза. Сумма  $\Sigma \Delta t_i$  измерялась с помощью контрольного счетчика импульсов, а момент времени, соответствующий середине 12 меток, фиксировался печатающим хронографом.

Поскольку синхронные моторы устройства для модуляции светового потока и хронографа питаются от одного источника-кварцевого генератора, то заранее можно сказать, что при регистрации такого сигнала в разных измерениях получится один и тот же результат /доли секунды/. Отклонения будут только из-за помех. При регистрации сигналов без помех от Г2-12 или ЗГ-10 все же наблюдался некоторый разброс значений среднего момента, очевидно из-за наводок.

Результаты эксперимента изображены на рис. 4, 5, 6, 7. На графиках по оси ординат отложены значения дис -

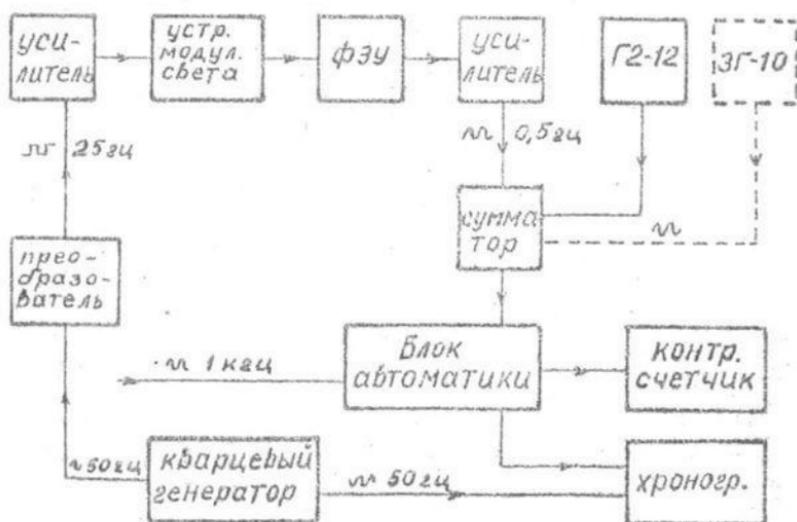


Рис. 3

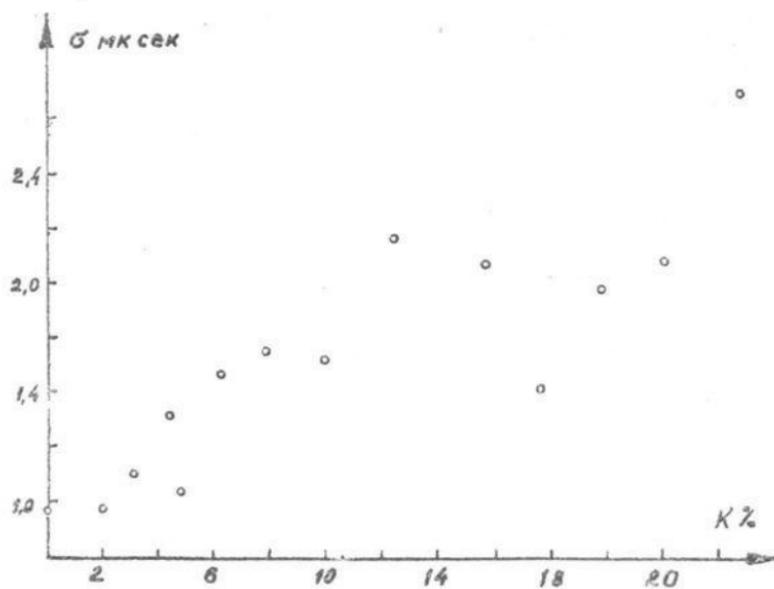


Рис. 4

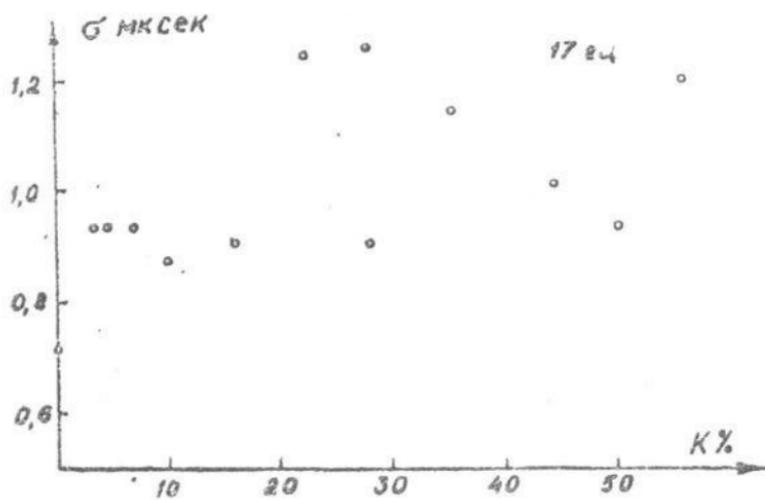


Рис. 5

персий  $\sigma$  среднего момента одного измерения. Дисперсии вычислялись на основе 20 измерений. Перейдем к обсуждению данных наблюдений.

На рис. 4 по оси абсцисс отложены значения отношения эффективного значения шума от генератора белого шума к значению амплитуды сигнала частоты 0,5 гц  $K$  в процентах. Эффективное значение шума измерялось квадратичным вольтметром, а амплитуда сигнала - осциллографом. С увеличением  $K$  от 0 до 25% значение ошибки  $\sigma$  увеличивается от 0,001 сек до 0,0025 сек. Само среднее значение практически не менялось.

Синусоиду с гораздо большей частотой и меньшей амплитудой, чем у основного сигнала, можно рассматривать как помеху. На рис. 5 и 6 по оси абсцисс отложены значения отношений амплитуд синусоидального сигнала от ЗГ-10 к амплитуде сигнала частотой в 0,5 гц на входе блока автоматики. На рис. 5 частота сигнала от ЗГ-10 есть 17 гц, на рис. 6 - 230 гц. По сравнению с предыдущими результатами /рис. 4/ значения дисперсий

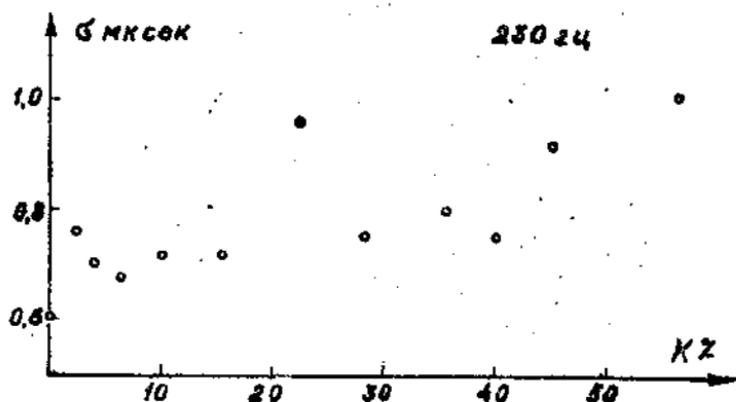


Рис. 6

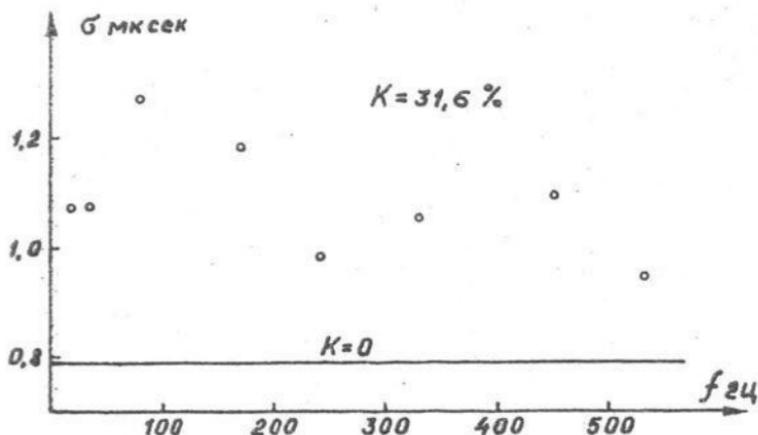


Рис. 7

меньше, но и здесь  $\sigma$  несколько увеличивается с увеличением  $K$ .

На рис. 7 по оси абсцисс отложены значения частоты сигнала от ЗГ-10. Средние моменты измерялись при  $K = 31,6\%$ . Горизонтальной линией отмечено значение  $\sigma$  при  $K = 0$ . В зависимости от частоты величина  $\sigma$  мало меняется. Дальнейшее увеличение частоты не имеет смысла при частоте счетных импульсов 1 кГц.

### § 3. Ч и с л о в ы б р о с о в

С уменьшением постоянной времени входа фотоэлектрического усилителя увеличивается число выбросов т.е. дробных контактов. Число выбросов зависит не только от постоянной времени, но и от отношения шума к сигналу. Число регистрируемых дробных контактов зависит от быстродействия хронографа.

Для иллюстрации дается сравнение числа дробных контактов  $N$ , регистрируемых хронографом, с числом срабатывания спускового устройства блока автоматики в

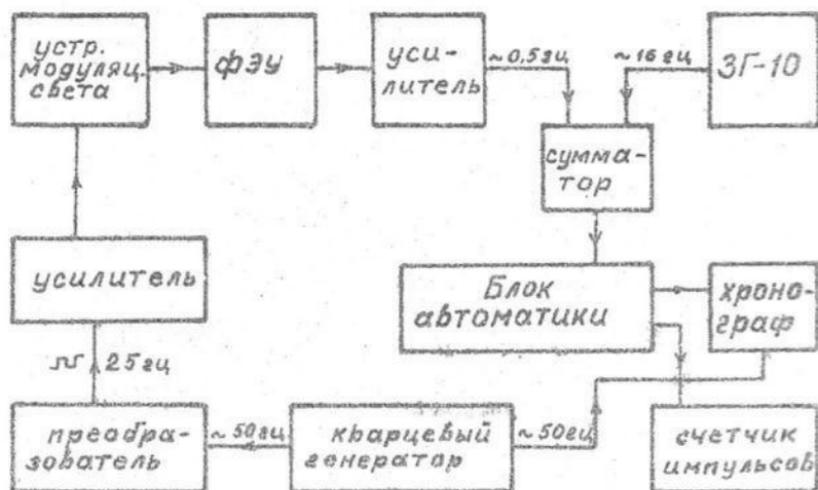


Рис. 8

зависимости от отношения амплитуд сигналов  $K$  частотой в 16 гц и 0,5 гц при регистрации суммарного сигнала. На рис. 8 дается схема эксперимента. Схема эксперимента такая же как в § 2; она представлена на рис. 3, только счетчик подключен к спусковому устройству для подсчета выбросов сигнала в одном направлении, а в анодной цепи спускового устройства включено поляризованное реле, размыкающее контакты печатающего хронографа. Таким образом и хронографом фиксируются те же выбросы сигнала. Результаты регистрации 10 периодов даются на рис. 9. По оси ординат отложено число регистрируемых выбросов  $N$  — хронографом /а/, счетчиком /б/.

Число выбросов, регистрируемых хронографом, несколько меньше из-за того, что частота шума /16 гц/ довольно большая и на хронографе не могут быть надежно зафиксированы все выбросы. Имеются такие выбросы, где время размыкания контактов хронографа недостаточно большое для срабатывания хронографа. Число всех пересечений уровня срабатывания спускового устройства /положительных и отрицательных выбросов/ в 2 раза больше.

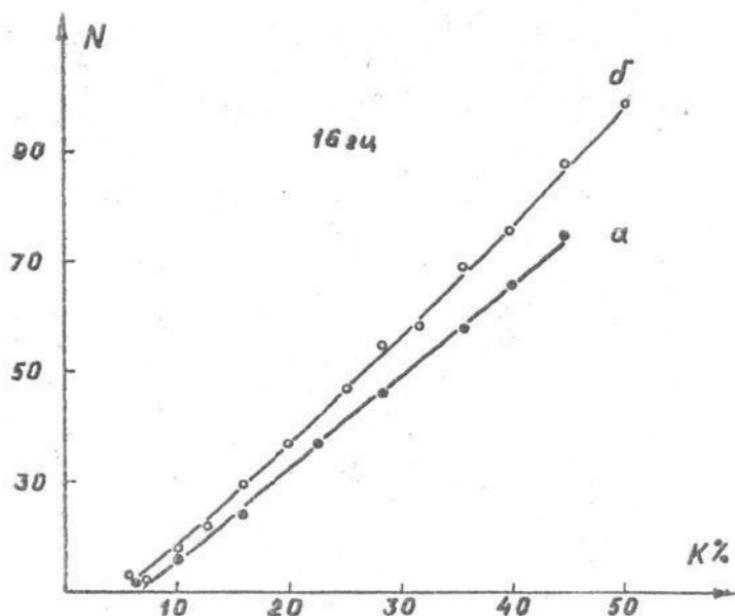


Рис.9

Применение такого устройства для определения средних моментов прохождения звезд позволяет значительно уменьшить постоянную входа фотоэлектрического усилителя, тем самым уменьшая запаздывание усилителя. Устройство также позволяет регистрировать прохождения звезд при наличии значительных помех, вызывающих дробление контактов.

#### Л и т е р а т у р а

1. К. А. Штейнс и М. П. Огриньш. Ученые зап. Латв. гос. унив., том 148, вып. 8, стр. 3, 1971.
2. М. П. Огриньш, см. наст. сборник стр. 3.
3. М. К. Абеле и А. Ы. Рубанс. Уч. зап. Латв. гос. унив., том 121, вып. 4, стр. 108, 1969.

## K o p s a v i l k u r s

M. O g r i ņ s

ZVAIGZŅU VIDĒJO TRANZĪTMOMENTU NOTEIKŠANAS

IEKĀRTAS PĒTĪJUMI

Doti iekārtas pētījumu rezultāti, registrējot signālu ar troksņiem. Vidējā momenta vidējā kvadrātiskā kļūda ir 0,0025 s, ja troksņu efektīvā vērtība sasniedz 20% no signāla amplitūdas.

## S u m m a r y

M. O g r i ņ š

INVESTIGATION OF THE DEVICE FOR DETERMINATION  
OF VALUE OF THE MEAN STAR TRANSIT MOMENTS

Results of studying the device in the conditions of laboratory for the registration of the signal with noises are given. The mean square error for the mean moment is 0,0025 sec, if the ratio of the effective value of noise to amplitude of the signal reaches 20 per cent.

М  
К. А. Штейнс и А. В. Иванов

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАССАЖНОГО ИНСТРУМЕНТА

### § 1. Общие соображения

При определении точного времени с пассажным инструментом, установленном в меридиане, исполняются следующие вращения вокруг неподвижных осей: 1. Поворот инструмента вокруг горизонтальной оси на требуемое зенитное расстояние звезды. 2. Поворот винта закрепительного хомута для закрепления инструмента по зенитному расстоянию. 3. Поворот микрометрического винта закрепительного хомута для установки изображения звезды по середине дорожки, через которую падает свет от звезды на ФЭУ. 4. Чтобы приподнять горизонтальную ось инструмента из лагеров, осуществляется поворот рукоятки разгрузочного механизма. 5. Поворот инструмента вокруг вертикальной оси на 180 для перекладки инструмента в лагерах.

Чтобы провести наблюдения с перекладкой инструмента в лагерах, можно обойтись перечисленными вращениями. В принципе повороты 1, 2 и 3 можно объединить в один поворот. Автоматизация отсчета уровня описана нами в отдельной статье. Таким образом видно, что осуществить автоматизацию наблюдений на пассажном инструменте весьма просто. При практическом осуществлении автоматизации уже построенных пассажных инструментов следует учитывать следующие условия: 1. Не следует размещать моторы на самом пассажном инструменте или на его стойке, т.к. азимут инструмента меняется вслед-

ствии несимметричной нагрузки инструмента или же от дрожания мотора. Так как повороты инструмента должны быть осуществлены в течение нескольких секунд, то дрожания получаются сравнительно большими, особенно в момент запуска мотора. 2. При осуществлении поворотов возникают добавочные напряжения, которые могут изменить азимут или коллимацию инструмента, что уменьшает точность результатов измерений. Поэтому желательно, чтобы во время регистрации вспомогательные механизмы были отсоединены от инструмента или его стойки. 3. При выключении питания мотор продолжает некоторое время вращаться, притом величина добавочного угла поворота является случайной величиной. Поэтому, этот эффект следует уменьшить или исключить его нежелательное влияние. 4. Автоматика может сработать непредвиденным образом, что может привести к аварии. Поэтому следует предвидеть достаточно надежные противоаварийные устройства, которые должны быть применены уже при первых испытаниях.

В настоящей статье предложена механика, которая точно производит действия, исполняемые наблюдателями при работе на неавтоматизированных пассажных инструментах. Это привело к некоторым усложнениям, однако по нашему мнению, это гарантирует, что автоматизация не уменьшит точность. Наоборот, то обстоятельство, что вблизи автоматизированного пассажного инструмента не должен находиться наблюдатель, т.е. добавочный очаг тепла, должно увеличить точность. Некоторые другие преимущества наблюдений на автоматизированном пассажном инструменте будут рассмотрены дальше в настоящей статье.

## § 2. Автоматическое наведение трубы на звезду

Наблюдения по определению точного времени характерны тем, что момент появления звезды в поле зрения инструмента заранее известен с большой точностью, примерно  $\pm 1$  сек. Это очень облегчает наведение трубы на звезду. С другой стороны, при фотоэлектрических наблю-

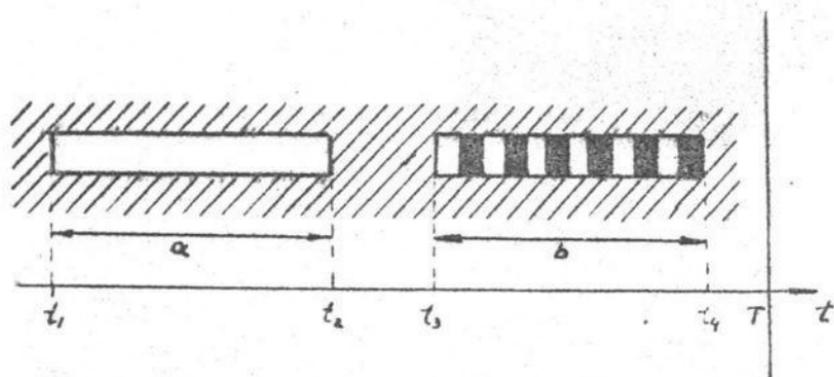


Рис. 1. Дорожка звезды со щелями и вертикальными полосами.  $a$  - вспомогательная дорожка для наведения звезды,  $b$  - основная часть дорожки для регистрации моментов прохождений.

дениях изображение звезды следует с большой точностью  $\pm 5''$  установить посредине весьма узкой дорожки, через которую лучи света от наблюдаемой звезды попадают на ФДУ. Остальная часть фокальной плоскости объектива, где помещена вертикальная визирная решетка, закрыта /см. рис. 1/ непрозрачным черным экраном.

В нами рассматриваемом варианте автоматического наведения трубы на звезду, дорожка, по которой при наблюдениях в меридиане перемещается звезда, разделяется на две части:  $a$  и  $b$ . Наведение трубы осуществляется за промежуток времени  $\Delta t$ , т.е. когда расстояние звезды от меридиана укладывается в интервале  $t_2 - t_1$  /см. рис. 1/. Изменением зенитного расстояния трубы можно добиться, чтобы звезда прошла поперек дорожки наведения. В момент прохождения, из-за попадания света от звезды на ФДУ, возникает импульс, который следует использовать для прекращения изменения зенитного расстоя-

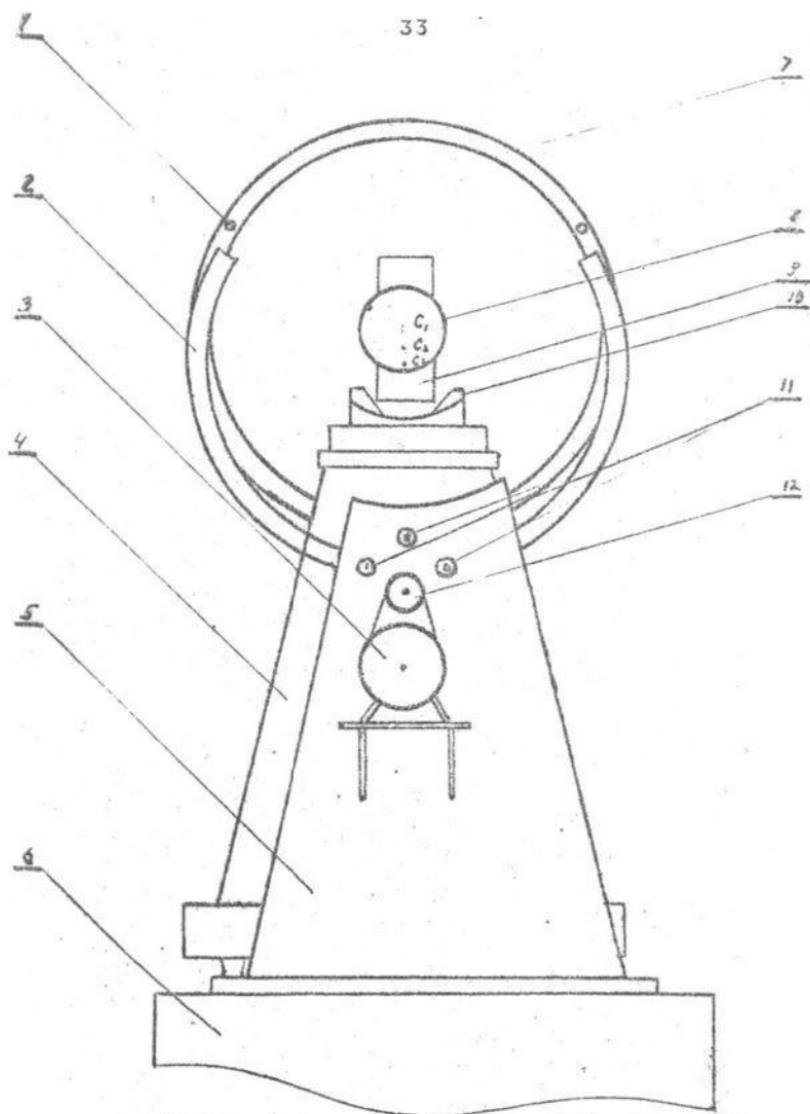


Рис.2. 1 - опора, 7 - маховик, 2 - часть кольца, 3 - мотор, 4 - стойка лагера, 5 - стойка вращающегося механизма, 6 - столб, 8 - цапфа, 9 - выступ искателя, 10 - лагерь, 11 - подшипники, 12 - червяк

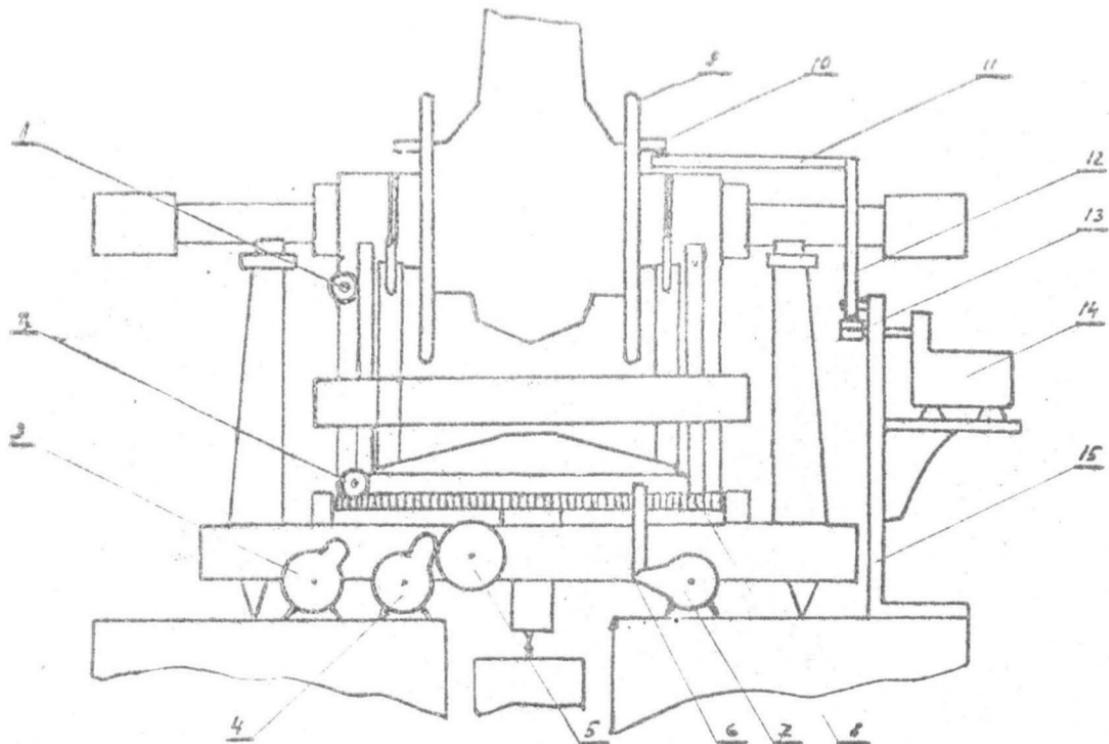


Рис.3 .1 - закрепительный винт хомута, 2- микрометрический винт, 3 - мотор для микро винта, 4- мотор для подъема горизонтальной оси, 5- шестерня для подъема горизонтальной оси, 6-цилиндрическая шестерня, 7- мотор для перекладки инструмента в лагерах, 8- кольцо для поворота инструмента вокруг вертикальной оси, 9- маховик, 10- опора, 11- стержень, 12- часть кольца, 13-подшипники, 14-мотор для грубого наведения трубы на звезду, 15-стойка.

яния трубы. После остановки труба будет иметь требуемое направление.

Наведение трубы на звезду практически происходит двумя этапами. Во-первых, труба устанавливается по заданному предварительному значению зенитного расстояния наблюдаемой звезды, округленному до полного градуса. В первом этапе вращение пассажного инструмента происходит вокруг горизонтальной оси так, чтобы вращательный момент прилагался к маховику примерно таким же самым образом, как при работе руками на неавтоматизированном пассажном инструменте. Чтобы это осуществить, нами предложен вариант "часть кольца", схема которого представлена на рисунке 2 /вид с конца оси/. Вращение инструмента вокруг горизонтальной оси производится в приподнятом положении горизонтальной оси. Ось должна быть приподнята не слишком высоко, т.к. в противном случае горизонтальная ось может освободиться от стопора азимута и начать вращаться вокруг вертикальной оси инструмента. Положение центра оси в приподнятом положении на рисунке 2 обозначено через  $C_2$ , в поднятом состоянии —  $C_1$ , а через  $C_3$  — в положении, когда цапфы опираются на лагера. Для АПМ-10 АО ЛГУ имеем  $C_1C_2 = 10$  мм,  $C_2C_3 = 20$  мм. При перекладке инструмента центр горизонтальной оси находится на высоте точки  $C_1$ , а при регистрации моментов прохождений — в точке  $C_3$ . У конца оси под инструментом расположена часть круглого плоского кольца, центр которого находится в точке  $C_2$ , а плоскость перпендикулярная к оси. Часть кольца держится на четырех подшипниках с неподвижными осями, которые через стержни скреплены неподвижно со столбом, на котором расположен пассажный инструмент со стойкой. На концах части кольца, параллельно оси инструмента, прикреплены два стержня 11 /рис. 3/, которые кончатся вблизи маховика. От маховика, в свою очередь, навстречу стержням параллельно оси идут два сравнительно коротких стержня-опоры 10 /рис. 3/. Если мотор вращает часть кольца, то один из стержней, опираясь на соответствующий стержень маховика, поворачивает трубу в направлении вращения части кольца. Таким образом трубу пассажного инструмен-

та от исходного положения, т.е. направления к зениту, можно повернуть к северу или к югу на требуемое зенитное расстояние.

При перекладке пассажного инструмента в лагерах часть кольца в зависимости от величины угла поворота может задержать или пропустить горизонтальную ось. Это регулируется АСУ. Рассмотрим вариант называемый нами "зенитным". Покажем, что в этом случае нет возможности наблюдать звезды в нижней кульминации и звезды, у которых  $\delta < 0^\circ$ .

В зенитном варианте при перекладке инструмента в лагерах труба направлена к зениту и оба конца части кольца находятся на одинаковом уровне. Так как цапфа может задеть один или другой конец, то длина части кольца должна быть не больше  $160^\circ$ . Угол поворота части кольца вокруг оси ограничен стойкой лагера, ширина которой в соответствующем месте при диаметре кольца в 30 см равна 13 см. Следовательно, максимальный угол поворота в одно направление от зенита не больше  $55^\circ$  т.е. нет возможности наблюдать звезды с  $\delta < 0^\circ$ . Чтобы возможно было наблюдать звезды с  $\delta < 0^\circ$  и звезды в нижней кульминации, при перекладке инструмента ось должна быть наклонена, и длина кольца должна быть примерно  $\approx 20^\circ$  или больше/. Следует учесть, что стержень-опора на кольцо после предварительного наведения трубы на звезду должна быть отодвинута от соответствующего стержня н. маховике примерно на  $10^\circ$ , чтобы при опускании оси, они не столкнулись. Поворот кольца для пропускания цапфы осуществляется во время перекладки и, следовательно, не требует добавочного времени.

Во втором этапе наведения трубы на звезду зенитное расстояние трубы меняется вращением микрометрического винта, причем в это время хомут разгрузочного механизма должен быть наглухо скреплен с горизонтальной осью. Для вращения закрепительного винта хомута предназначено использовать перемещение ложных лагеров при спускании и подъеме горизонтальной оси. Таким образом очень просто решается вопрос о скреплении и освобождении трубы от хомута. Схема соответствующего

механизма показана на рис. 4. Механизм для крепления трубы с хомутом состоит из двух штифтов, рычага и упругой пластинки. Между штифтами находится рычаг для вращения закрепительного винта. Если ложный лагерь перемещается вниз, то упругая пластинка *n* опираясь на рычаг, поворачивает его до отказа, который фиксируется штифтом 1. Пластинка *n* двигаясь дальше вниз, изгибается и проходит штифт 1. Таким образом на винт крепления *m* во время регистрации не действует добавочное напряжение. Подобным образом, поднимаясь вверх, при помощи упругой пластинки освобождается закрепительный винт.

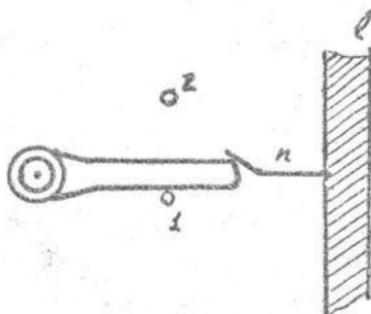


Рис. 4. Механизм для вращения закрепительного винта хомута

Точное наведение звезды, т.е. введение изображения звезды на дорожку, осуществляется вращением микрометрического винта хомута разгрузочного механизма, который скреплен с системой передачи мотора, размещенного на столбе. При перекладке пассажного инструмента в лагерах шестерни, через которые передается вращательный момент от мотора к горизонтальной оси, отсоединяются. В момент их соединения могут возникнуть большие напряжения, что может привести к скорому их износу, даже к разрушению. Целесообразно применить шестерни с пилообразными зубами или допускать достаточно боль-

шой свободный ход.

При перекладке инструмента в лагерах верхняя часть инструмента поворачивается вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$ . Для осуществления этого следует к разгрузочному механизму прикрепить горизонтально плоское кольцо радиусом 30 см, предварительно несколько преобразуя форму концов основания нижней части разгрузочного механизма. Чтобы использовать предварительный фиксатор азимута АПМ-10, в момент его срабатывания следует отсоединить или ослабить связь с поворачивающим устройством. Это получается просто, если для вращения использовать мотор с передачей через электромагнитную связь. В таком случае механические связи можно не снимать во времени фиксации азимута. В таком случае для передачи вращательного момента от мотора к кольцу радиуса в 30 см выгодно применить цилиндрическую шестерню, образующая которой примерно 4 см /см. рис.5/.

Спуск и подъем горизонтальной оси происходит посредством вращения оси, к которой прикреплена рукоятка разгрузочного механизма. Мотор, находящийся на столбе, соединен с упомянутой осью стационарно, поэтому нет трудностей при практическом осуществлении этого вращения.

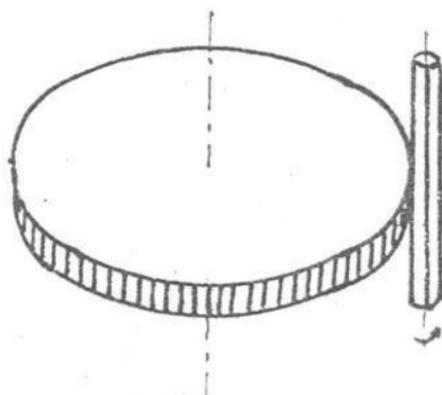


Рис.5. Система передач при перекладке инструмента в лагерах

## Л и т е р а т у р а

1. П.Н.Долгов. Определение времени пассажным инструментом в меридиане. Техиздат, Москва, 1952.

## K o r s a v i l k u m s

K. Š t e i n s un A. I v a n o v s

## PASĀŽINSTRUMENTA AUTOMATIZĒŠANA

Izgatavota mehānismu sistēma fotoelektriska pasāžin-  
strumenta pilnīgai automatizācijai. Sistēma paredzēta jau eso-  
šo instrumentu automatizācijai, t.i. tās atkārtoto darbības, ku-  
ras izdara novērotājs ar roku divos gājienos, pie kam precī-  
zo iestādīšanu regulē fotoelektriski. Nostiprināšanai zenī-  
distancē izmantoti palīgabalsti.

## S u m m a r y

K. S t e i n s and A. I v a n o v s

## AUTOMATION OF THE PHOTOELECTRIC TRANSIT INSTRUMENT

A system of mechanisms for complete automation of the  
photoelectric transit instrument has been constructed. The  
system is anticipated for the existing instrument, that is,  
it repeats operations previously made by the observer. The  
setting of instrument into the zenith distance of a star  
has being realised in two steps, the second of them is done  
photoelectrically. The pseudopiers of instrument are used  
for fixing the zenith distance.

34

К. А. Штейнс и П. П. Розенберг

О ВЫБОРЕ ЗВЕЗД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАССАЖНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

В настоящей статье рассматривается выбор звезд для определения поправок часов на пассажном инструменте, установленном в меридиане. Для визуальной регистрации формула ошибки отсчета момента прохождений имеет вид  $m^2 = a_0^2 + b_0^2 \sec^2 \delta$ , где  $a_0$  и  $b_0$  постоянные,  $\delta$  склонение звезды. Нами было показано [1], что для фотоэлектрического метода

$$m^2 = a^2 \sec^2 \delta \sec Z, \quad (1)$$

где  $a$  — некоторая постоянная, зависящая от степени оптической нестабильности атмосферы,  $Z$  — зенитное расстояние звезды.

К вопросу о выборе звезд можно подойти с различных точек зрения. Многие считают, что в основном точность поправок часов определяется точностью регистрации моментов прохождения звезд и выбор звезд определяют на основе этого эффекта. Встречаются также другие точки зрения. Например, А.А.Немиро [2] рекомендует поправки часов определять способом пар звезд, симметричных относительно зенита. Применимость этого метода на практике была показана В.И.Пышненко [3]. Выбор звезд зависит от метода, по которому вычисляется поправка, а также от ошибки показания уровня и других ошибок, причины которых сравнительно плохо изучены. Достаточно полный обзор литературы по этому вопросу дан в работе М.С.Зверева [4].

Так как условных уравнений больше чем неизвестных, и наблюдения не являются абсолютно точными, то можно составить сколь угодно различных формул для определения поправок часов  $u$ . Поправка часов  $u$  зависит от формулы, по которой она определяется, следовательно, и среднеквадратичная ошибка поправки  $\mu$  зависит от способа ее определения. Для метода наименьших квадратов имеются точные формулы для определения  $u$  и  $\mu$ . Однако многие считают его ненаглядным и поправки определяют по более простым формулам. Как правило для упрощенных методов при определении  $\mu_u$  получаются очень сложные формулы. Поэтому точные формулы  $\mu_u$  для упрощенных методов в службе времени не выводятся, а заменяются на формулы способа наименьших квадратов. Нами [5] сделаны попытки найти точные формулы для некоторых приближенных методов определения  $\mu_u$ , однако, ввиду их сложности, в упомянутой работе допущены некоторые упрощения. В настоящей статье найдена формула для  $\mu_u$  в случае псевдоварианта метода наименьших квадратов. Анализируя формулу  $\mu_u$  для метода наименьших квадратов с учетом (1) делаются заключения о выборе звезд. Ошибка  $\mu_u$  определяется также методом моделирования.

### § 1. Ошибка поправки псевдоварианта

Основы теории определения среднеквадратичных ошибок неизвестных общеизвестны. Однако, теория обычно применяется для способа наименьших квадратов в двух вариантах, а именно считается, что либо ошибка наблюдений не зависит от  $\delta$ , и, следовательно, определение  $u$  ведется по невзвешенным уравнениям, или же считается, что ошибка наблюдений зависит от  $\delta$ , и определяют  $u$  по взвешенным уравнениям. Нами предлагается псевдовариант, т.е. предлагаем поправку вычислять по невзвешенным уравнениям, однако учитывать зависимость  $\mu$  от  $\delta$  при определении  $\mu_u$ . Более подробно рассмотрим случай  $[k] = 0$ , т.е.  $u = \frac{1}{N} \sum \xi_i$ , где  $K$  азимутальный коэффициент,  $N$  число звезд. Формулы для  $u$  являются линейными относительно на-

блюдений  $l_i$ . Поэтому считается, что  $u$  и  $k_0$  определяются по формулам

$$\begin{aligned} u &= \sum_i A_i l_i, \\ k_0 &= \sum_i B_i l_i, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $A_i$  и  $B_i$  не зависят от  $l_i$ .

В частности для метода наименьших квадратов с весами  $p_i$  имеем на основе формулы Майера

$$A_2 = \frac{p_i [p k_i^2] - p_i k_i [p k]}{[p] [p k^2] - [p k]^2}, \quad (3)$$

$$B_2 = \frac{p_i [p k] - p_i k_i [p]}{[p] [p k^2] - [p k]^2}. \quad (4)$$

Для линейной функции типа (2) среднеквадратичная ошибка определяется по формуле

$$\varepsilon_u^2 = \sum_i A_i^2 m_i^2 = \sum_i \frac{A_i^2}{p_i}. \quad (5)$$

Следовательно,

$$\varepsilon_u^2 = \frac{[p k^2]}{[p] [p k^2] - [p k]^2}. \quad (6)$$

Формула (6) общеизвестна. Однако на практике имеются и другие варианты. Например,  $A_i$  определяется при  $p_i = 1$ , т.е.

$$A_i = \frac{[k^2] - k_i [k]}{n [k^2] - [k]^2}, \quad (7)$$

а  $m$  считается зависящей от  $\delta$ , т.е.  $p = p' m^{-2}$ . Следовательно для псевдоварианта метода наименьших квадратов

$$\varepsilon_u^2 = \frac{m_i^2}{\{n [k^2] - [k]^2\}^2} \{[k^2]^2 [(p')^{-1}] - 2[k^2][k] [k(p')^{-1}] + [k]^2 [k^2(p')^{-1}]\}, \quad (6')$$

Именно последний случай часто применяется на практике и ошибку следовало бы вычислять по формуле (6'), а не

по формуле (6) .

## § 2. Выбор звезд с учетом оптической нестабильности атмосферы

Рассмотрим точность определения поправки часов, которая определена по уравнениям

$$u + k_i k_o = l_i, \quad k_i = \sin(\varphi - \delta) \sec \delta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

взвешенными с весами

$$p_i = \mu_i^{-2} \cos \delta \cos z,$$

где  $\varphi$  - широта места наблюдений,  $N$  - число звезд,  $k_o$  - азимут. Лучшим вариантом выбора звезд считается тот, которому соответствует меньшая ошибка  $\epsilon_u$ , при этом предполагается, что имеется только ошибка регистрации моментов прохождений.

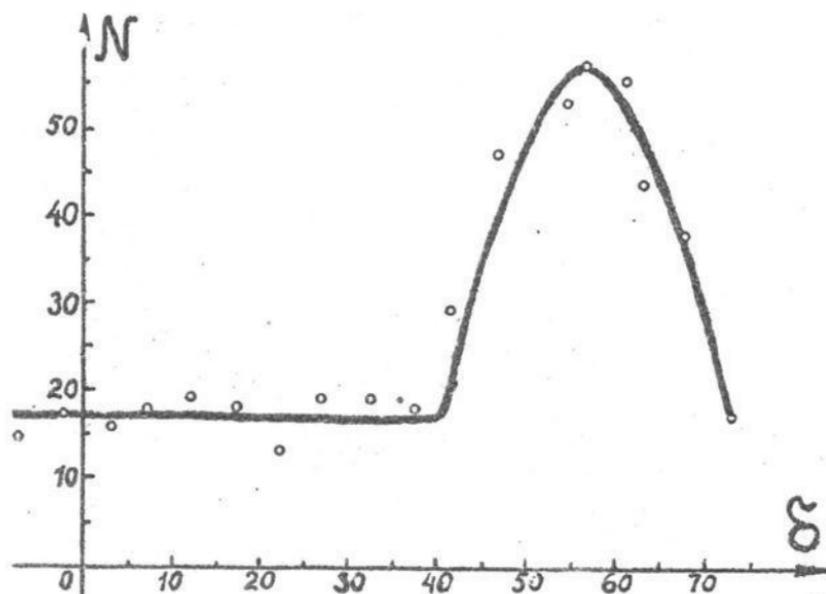


Рис. 1

С другой стороны, т.к. служба времени АО ЛГУ наблюдает

звезды из сводного каталога служб времени СССР, где звезд мало и приходится наблюдать почти каждую, выбор звезд в значительной мере определяется каталогом. Этот каталог имеет очень большую точность. На рис. 1 даются распределения численности звезд по  $\delta$  наблюдаемых в АО ЛГУ на фотоэлектрическом пассажном инструменте в течение 1970 - 1972 гг. Будем считать, что распределение, данное на рис. 1, представляет программу звезд для поправок, определяемых в АО Латв. гос. унив., и выясним вопрос о необходимых изменениях в списке звезд. Б. Аурелл [6] рассмотрел вопрос о выборе звезд для наблюдений с визуальным пассажным инструментом. Он анализировал численно ошибку ( $\delta$ ) для фиксированной группы из пяти звезд и одной звезды с переменным склонением. В настоящей статье суммы заменяются определенными интегралами. Замена не облегчает вычисления, но в некоторых случаях облегчает качественный анализ. Чтобы перейти от сумм к интегралам, предположим, что наблюдалось  $n_i$  звезд со значениями  $\delta_i$  в интервале  $\Delta \delta_i$ . Предположим далее, что задана плотность наблюденных звезд  $b = b(\delta_i)$ . Имеем

$$n_i = b(\delta_i) \Delta \delta_i \quad (9)$$

По определению

$$[pk] = \sum_{i=1}^n p_i k_i \approx \sum_{j=1}^m n_j p_j k_j, \quad (10)$$

где  $m$  число интегралов, а  $p_j$  и  $k_j$  средние значения величин  $p_i$  и  $k_i$  в интервале  $\Delta \delta_j$ . Подставляя (9) в (10) имеем

$$[pk] = \int_{\delta_1}^{\delta_2} b p k d\delta$$

и аналогичные выражения для остальных сумм. Распределение звезд, т.е. плотность звезд сокращенного на 75% сводного каталога служб времени СССР, можно приближенно описать двумя непрерывными кривыми, а именно

$$b = b_0 = a_0 - a_2 \sin^2 z_0, \quad z_0 = \delta^\circ, \quad -8^\circ \leq \delta < 41^\circ,$$

$$b = a_0 - a_2 \sin^2 z, \quad -16^\circ \leq z \leq 16^\circ,$$

причем, если плотность задана в единицах - число звезд в списке на пять градусов, то

$$b_c = 17, \quad a_2 = 500, \quad a_c = 55$$

В формулу (6) входят величины  $[\rho]$ ,  $[\rho_k]$ ,  $[\rho_k^2]$ . Интегралы, входящие в эти выражения, имеют следующий вид

$$\begin{aligned} \int \cos^2 \delta \cos(\varphi - \delta) d\delta &= \cos \varphi \left[ \sin \delta - \frac{1}{3} \sin^3 \delta \right] - \frac{1}{3} \sin \varphi \cos^3 \delta, \\ \int \cos^2 \delta \cos(\varphi - \delta) \sin(\varphi - \delta) \sec \delta d\delta &= \frac{1}{4} [\cos(2\varphi - \delta) + \frac{1}{3} \cos(2\varphi - 3\delta)], \\ \int \cos^2 \delta \cos(\varphi - \delta) \sin^2(\varphi - \delta) \sec^2 \delta d\delta &= -\frac{1}{3} \sin^3(\varphi - \delta), \\ \int \cos^2(\varphi - z) \cos z \sin^2 z dz &= \frac{1}{3} \cos^2 \varphi \sin^3 z - \frac{1}{5} \cos 2\varphi \sin^5 z - \\ &\quad - \sin 2\varphi \left[ \frac{\cos^3 z}{3} - \frac{\cos^5 z}{5} \right], \quad (11) \\ \int \cos^2(\varphi - z) \cos z \sin z \sec(\varphi - z) \sin^2 z dz &= -\cos \varphi \left[ \frac{1}{3} \cos^3 z - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{5} \cos^5 z \right] + \frac{1}{5} \sin \varphi \sin^5 z, \\ \int \cos^2(\varphi - z) \cos z \sin^2 z \sec^2(\varphi - z) \sin^2 z dz &= \\ &= \frac{1}{5} \sin^5 z. \end{aligned}$$

Число звезд в интервале  $[z_1, z_2]$  можно определить по следующим формулам

$$N = 3,4(\delta_2 - \delta_1), \quad -8^\circ \leq \delta < 41^\circ, \quad (12)$$

$$N = -39(z_2 - z_1) + 1432(\sin 2z_2 - \sin 2z_1), \quad -16^\circ \leq z < 16^\circ.$$

Веса поправок вычислялись с учетом формул (11) - (12) и сравнивались с весами соответствующих поправок, которые определяли, не прибегая к интегралам, на основе небольшого числа звезд. Получены следующие га-

ключения: 1. Вес поправки, определенной на основе звезд зенитной зоны  $-16^\circ \leq z \leq +16^\circ$  близок к максимальному. 2. Вес поправки, определенной на основе звезд южной ( $0^\circ \leq z \leq 16^\circ$ ) или северной частей зенитных зон, составляет примерно 30% от максимального значения. 3. Веса поправок, которые определены на основе полной зенитной зоны  $-16^\circ \leq z \leq 16^\circ$  или зенитных звезд  $-8^\circ \leq z \leq 16^\circ$  и экваториальных звезд, уменьшаются с привлечением экваториальных звезд.

При выводе вышеприведенных заключений мы стояли на классической точке зрения, т.е. исследовалась оптимальность программы, состоящей из определенного числа звезд. На практике дело обстоит иначе, а именно, в распоряжении наблюдателя имеется определенный промежуток времени, в течение которого проводятся наблюдения. Выбор звезд должен обеспечить поправку с максимальной точностью. Наблюдения экваториальных звезд требуют гораздо меньше времени, чем наблюдения северных звезд. Фотоэлектрические наблюдения близполюсных звезд с неподвижной целью длятся особенно долго. В этом случае необходимое время для наблюдения одной звезды пропорционально  $\sec \delta$ . В службе времени АО Латв. госуниверситета наблюдают через визирную решетку с передвижным окошком [7] и поэтому наблюдения с  $\delta = 60^\circ$  и  $\delta = 0^\circ$  длятся почти одинаковое время. Передвижное окошко построить трудно, и поэтому оно мало где применяется. В дальнейшем будет рассмотрена также точка зрения, когда поправка должна быть определена за данный промежуток времени и такую точку зрения будем называть экономической. Сравним выбор звезд, осуществленный с трех точек зрения, а именно:

1. Поправка определяется по методу наименьших квадратов без взвешивания, и программа звезд строится на основе условия  $[K] = 0$ . Веса наблюдений предполагаются равными 1. В этом, по нашему мнению, в некорректном варианте поправка равна среднему значению от  $l_i$ , а вес поправки равен числу наблюдаемых звезд.

2. Псевдовариант метода наименьших квадратов в случае  $[K] = 0$ , где поправка также равна среднему зна-

чению от  $\zeta$ , а вес определяется по формуле (6') и с учетом (1), т.е.

$$P_u = \frac{N^2}{\rho^2 \sec^2 \delta \sec z}$$

3. Метод наименьших квадратов с взвешиванием. Вес поправки определяется по формуле (6).

Вычисления произведены с использованием значения азимутального коэффициента  $K$ , веса  $\rho = \cos^2 \delta \cos z$ ,  $\rho_k$ ,  $\rho^{-1}$  и длительности поправки  $\sec \delta$ , которые даны в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

$$\varphi = 57^\circ$$

$\delta$	$K$	$\rho$	$\rho_k$	$\sec \delta$	$\rho_k^2$	$\rho^{-1}$
-5	0,8863	0,4659	0,4129	1,0038	0,3660	2,146
0	0,8387	0,5446	0,4568	1,0000	0,3831	1,836
+5	0,7910	0,6110	0,4833	1,0038	0,3823	1,637
10	0,7426	0,6614	0,4912	1,0154	0,3648	1,512
15	0,6927	0,6934	0,4803	1,0353	0,3327	1,442
20	0,6404	0,7062	0,4516	1,0642	0,2892	1,418
25	0,5847	0,6966	0,4073	1,1034	0,2389	1,436
30	0,5242	0,6683	0,3503	1,1547	0,1836	1,496
35	0,4573	0,6222	0,2845	1,2208	0,1301	1,607
40	0,3817	0,5612	0,2149	1,3054	0,0817	1,782
45	0,2940	0,4891	0,1438	1,4142	0,0423	2,045
50	0,1896	0,4101	0,0775	1,5557	0,0147	2,438
55	0,0608	0,3288	0,0608	1,7434	0,0012	3,042
60	-0,1047	0,2497	-0,0261	2,0000	0,0027	4,005
65	-0,3293	0,1769	-0,0582	2,3662	0,0199	5,654
70	-0,6577	0,1140	-0,0750	2,9238	0,0493	8,774
75	-1,1940	0,0637	-0,0761	3,8637	0,0908	15,696
80	-2,2501	0,0278	-0,0624	5,7588	0,1405	36,036

Легко подсчитать по данным таблицы 1 вес для следующих программ  $/-5^{\circ}, 0^{\circ}, 30^{\circ}, 80^{\circ}/$  и  $/45^{\circ}, 55^{\circ}, 60^{\circ}, 70^{\circ}/$ . В случае некорректной постановки задачи имеем у обеих программ одинаковые веса. Для псевдоварианта поправка с близкополюсной звездой  $/\delta = 80^{\circ}/$  имеет в 2,3 раза меньший вес. Почти тот же самый результат получается по теории наименьших квадратов со взвешиванием, т.е. в 2,4 раза. С экономической точки зрения включение в наблюдения для определения  $\mu$  близкополюсных звезд тем более невыгодно.

Чтобы подтвердить точку зрения, высказанную в пунктах 1, 2, 3, вычислим веса для следующих программ

$u_1$   $-5^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}, 25^{\circ}, 30^{\circ}, 40^{\circ}, 45^{\circ}, 50^{\circ}, 55^{\circ}, 56^{\circ}, 57^{\circ}, 60^{\circ}, 62^{\circ}, 65^{\circ}, 72^{\circ}$

$u_2$   $45^{\circ}, 50^{\circ}, 52^{\circ}, 54^{\circ}, 55^{\circ}, 57^{\circ}, 59^{\circ}, 60^{\circ}, 61^{\circ}, 62^{\circ}, 63^{\circ}, 65^{\circ}, 67^{\circ}, 70^{\circ}, 73^{\circ}$

$u_3$   $-5^{\circ}, 0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}, 25^{\circ}, 30^{\circ}, 67^{\circ}, 68^{\circ}, 69^{\circ}, 70^{\circ}, 71^{\circ}, 72^{\circ}, 73^{\circ}$

$u_4$   $-5^{\circ}, 0^{\circ}, 0^{\circ}, 10^{\circ}, 15^{\circ}, 57^{\circ}, 58^{\circ}, 59^{\circ}, 60^{\circ}, 62^{\circ}, 64^{\circ}, 67^{\circ}, 71^{\circ}, 73^{\circ}, 75^{\circ}$

$u_5$   $40^{\circ}, 50^{\circ}, 50^{\circ}, 53^{\circ}, 54^{\circ}, 57^{\circ}, 58^{\circ}, 59^{\circ}, 60^{\circ}, 62^{\circ}, 64^{\circ}, 67^{\circ}, 70^{\circ}, 73^{\circ}, 75^{\circ}$

по методу наименьших квадратов со взвешиванием. Для  $u_4$  имеем  $[k] = 0$ , а для  $u_5$  имеем  $[p_k] = 0$ . В следующей таблице сопоставлены результаты, полученные по методу наименьших квадратов в относительном смысле:

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
Равное N	0.74	0.97	0.68	0.79	1.00
На единицу времени	0.97	1.00	0.75	0.86	0.99

### §3. Исследование точности определения времени при помощи моделирования

Неточность в определении точного времени с фотоэлектрическим пассажным инструментом возникает из-за следующих причин: 1. Медленные изменения и флуктуации в токе через омическое сопротивление из-за дрожания изображения звезд, дробового и фликкер-эффектов и технических дефектов. 2. Взаимные перемещения объектива, призмы и визирной решетки флуктуационного и систематического характера, особенно во время перекладки горизонтальной оси в лагерах и изменения температуры. Все вышеупомянутые ошибки более или менее точно учитываются формулой Майера

$$\alpha + k_1 k_2 = t_{a-t} - J_1 \xi_1 - K_1 \xi_k - C_1 \xi_c,$$

где  $J_1 = \cos(\varphi - \delta_1) \operatorname{secc} \delta_1$ ,  $K_1 = \sin(\varphi - \delta_1) \operatorname{secc} \delta_1$ ,  $C_1 = \operatorname{secc} \delta_1$ , а  $t_{a-t}$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_k$ ,  $\xi_c$  случайные составляющие в прямом восхождении и моменте прохождения звезды, в наклонности, азимуте и коллимации инструмента соответственно. Через  $\xi$  можно также учитывать систематические изменения. В настоящей статье предполагается, что  $\xi$  распределяются по нормальному закону. Если предполагаемые изменения являются систематическими, то они считаются линейными относительно номера звезды. Звезды нумеруются в поправке, начиная с 1. Изменение  $t_{a-t}$  звезды в азимуте равно  $\Delta$ , где  $\Delta$  постоянная величина. Ввиду того, что значения  $\Delta$  и дисперсии  $\sigma$  меняются от инструмента к инструменту и от вечера к вечеру, и учитывая то, что известны только их грубо приближенные значения  $\alpha$ , определялись для нескольких вариантов значений  $\sigma$  и  $\Delta$ . Результаты моделирования сопоставлены в таблицах 2, 3 и 4. Даны пределы, в которых находятся значения 2 $\sigma$  поправок часов. На основе таблицы 2, где  $\sigma$  имеют наиболее вероятные значения, для АО ЛГУ видно, что наибольшую ошибку вносит фотоэлектрическая регистрация моментов прохождения звезд. Азимут инструмента определяется намного

хуже. Поправки для систематически вращающегося инструмента с  $\Delta = 0,002$  сек вычислялись с теми самыми случайными числами, что и для невращающегося пассажного инструмента. Оказалось, что влияния вращения на поправку практически нет. В таблице 2 сравнены ширины интервалов, в каждом из которых лежит 20 поправок для двух программ. Через букву (а) обозначена программа

$\delta = 10^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 52^\circ, 55^\circ, 57^\circ, 58^\circ, 62^\circ, 65^\circ, 72^\circ$ , а через (б) следующая

$\delta = 41^\circ, 45^\circ, 49^\circ, 52^\circ, 55^\circ, 56^\circ, 57^\circ, 58^\circ, 59^\circ, 62^\circ, 65^\circ, 69^\circ, 73^\circ$

Т а б л и ц а 2

Пределы изменения для 20 поправок (а)						Ширина интервала поправок	
и	к.	$\sigma_{\alpha-\tau}$	$\sigma_i$	$\sigma_c$	$\sigma_h$	а	б
-0.0051	-0.0200	0.006	0.000	0.000	0.000	0.012	0.011
0.0063	+0.0077						
-0.0037	-0.0050	0.000	0.002	0.000	0.000	0.007	0.005
0.0032	+0.0078						
-0.0044	-0.0044	0.000	0.000	0.002	0.000	0.006	0.004
+0.0012	0.0094						
-0.0003	-0.0013	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
0.0007	0.0021						
-0.0039	-0.0099	0.006	0.002	0.003	0.002	0.017	0.016
0.0037	0.0070						

Данные таблицы 2 показывают справедливость заключений § 2, т.е., что широкая зенитная программа предпочтительнее чем программе с привлечением экваториальных звезд. В таблице 3 даны максимальные невязки 20 поправок часов в зависимости от  $\delta$  для программы а и  $\sigma_{\alpha-\tau} = 0,006$ ,  $\sigma_i = \sigma_h = 0,002$ ,  $\sigma_c = 0,003$ .

Единица 0,001 сек

$\delta$	10°	15°	25°	30°	40°	45°	52°	55°	57°	58°	62°	65°	72°
$\sigma_1$	18	20	14	23	13	13	19	29	11	40	27	31	22
$\sigma_2$	-21	-17	-14	-12	-14	-17	-15	-26	-31	-31	-33	-20	-22
ш	39	37	28	35	27	40	34	55	42	71	60	51	44

$\sigma_1$  - верхний предел,  $\sigma_2$  - нижний предел, ш - ширина интервала невязок 20 поправок часов ( $\alpha$ ).

В заключение отметим, что 20 поправок очевидно дают сравнительно большой разброс, однако общую картину из этих данных уяснить можно. 20 поправок из 13 звезд - это в среднем число звезд, наблюдаемых в АО ЛГУ за месяц.

## Л и т е р а т у р а

1. К.А.Штейнс. Уч.зап.Латв.гос.унив., том 48, вып.6, стр.29, 1971.
2. А.А.Немиро. Тр.Астрон.обсерв.Ленингр.гос.унив., вып.40, № 339, стр.107, 1966.
3. В.Н.Пышненко. Астр.ж. АН СССР, том 47, вып.3, стр. 633, 1970.
4. М.С.Зверев. Труды ГАИШ, том XVIII, вып.1, 1949.
5. К.А.Штейнс и Л.Ф.Розе. Уч.зап.Латв.гос.унив., том 38, вып.1, стр.5, 1960.
6. V.aurell. Comptes rendus de la VIII session de la Commission Géodésique Baltique, Helsinki 1936.
7. К.А.Штейнс. Уч.зап.Латв.гос.унив., том 121, вып.4, стр.3, 1969.

## K o p s a v i l k u m s

K. Š t e i n s u n P. R o z e n b e r g s

PAR ZVAIGŽŅU IZVĒLI PRECĪZA LAIKA NOTEIKŠANAI  
AR FOTOLEKTRISKU PASĀŽINSTRUMENTU

Pamatojoties uz K.Šteina formulu par atmosfēras optisko nestabilitātes iespaidu uz zvaigžņu cauriešanas momentu reģistrāciju, parādīts, ka vidēji uz PSRS Laika dienestu kataloga bāzes veidojas optimāla pulksteņa korekcija, ja neobservē zvaigznes ar  $\delta > 73^\circ$ . Ar modelēšanas palīdzību parādīts, ka slīpuma, azimuta un kolimācijas kļūdām un to sistemātiskām maiņām ir otršķirīga nozīme.

## S u m m a r y

K. Š t e i n s a n d P. R o z e n b e r g s

ABOUT CHOICE OF STARS FOR TIME DETERMINATION  
WITH A PHOTOELECTRIC TRANSIT INSTRUMENT

The present investigation is based on the formula of standard deviation for influence of optical instability of atmosphere on star transit moments at photoelectric registration derived by K.Šteins. It is shown that right ascension catalogue of USSR time service gives at an average the optimal time correction when no stars with  $\delta > 73^\circ$  are observed. Using the method of modelling shows that the inclination, azimuth and collimation errors and their systematic changes have secondary influence.



К. А. Ш т е й н с

ОБ ОШИБКЕ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ ИСПРАВИТЕЛЬНЫХ  
ВИНТОВ УРОВНЯ

Ошибки в определении наклона горизонтальной оси при помощи уровня с перекладкой оси возникают из-за следующих причин: 1/зависимости цены деления уровня от температуры и длины пузырька уровня, 2/параллакса при отсчете уровня, 3/тепловых и механических воздействий ветра на уровень. Если наблюдения ведутся при малых и симметричных наклонах относительно нуля, т.е. при наклонах не больше  $\pm 1''$ , то никаких трудностей при определении значения цены деления уровня не возникает, т.к. точность значения цены деления уровня может быть сравнительно малой, т.е. около  $\pm 1\%$ . Несомненно представляет интерес определение цены деления уровня при помощи точных оптиметров [1], т.к. оно происходит при таких же самых условиях, как при наблюдении звезд. Ошибку параллакса практически можно устранить, наблюдая положение пузырька уровня через зрительную трубу. Нам кажется, что особенно удобными и точными являются отсчеты уровня при помощи бинокля, в объективы которого вставлены дополнительные линзы из очковых стекол соответствующей силы и устроена дополнительная шкала для отсчетов уровня. Так как расстояние между объективами бинокля устанавливается равным длине пузырька, то параллакс может возникнуть только из-за перемещения изображений концов пузырька при перекладке горизонтальной оси [2]. Это явление легко устраняется посредством перемещения пузырька в гори-

горизонтальном направлении относительно шкалы при помощи вертикальных исправительных винтов уровня. Проблемы, связанные с влиянием тепловых и механических воздействий на уровень, до сих пор не решены. Например, не решена проблема относительно величины  $i_{\text{ост}} - i_{\text{west}}$ .

В настоящей заметке рассмотрим более подробно ошибку, возникающую из-за неточной регулировки горизонтальных исправительных винтов уровня.

Предположим, что горизонтальная ось пассажного инструмента лежит в горизонтальной плоскости и совпадает с направлением  $O - \omega$ . Пусть вертикальная плоскость, проходящая через горизонтальную ось инструмента, пересекает уровень в середине пузырька. Ось  $y$  направим вдоль горизонтальной оси инструмента, ось  $z$  проведем через середину уровня вертикально вверх. Тогда ось  $x$  будет направлена по линии  $SN$ . Уравнение оси уровня можно написать в следующем виде:

$$\frac{x}{\sin \beta} = \frac{y}{\cos \beta}, \quad z = -h, \quad (1)$$

где  $\beta$  - угол между осями уровня и инструмента, а  $h$  - расстояние от оси инструмента до середины пузырька уровня. Если уровень повернуть на угол  $\gamma$  в направлении  $N$  вокруг оси инструмента, то имеем

$$y = y', \quad x = z' \sin \gamma + x' \cos \gamma, \quad z = z' \cos \gamma - x' \sin \gamma, \quad (2)$$

где  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  - текущие координаты оси уровня после поворота. Следовательно, уравнение оси уровня после поворота имеет следующий вид:

$$\frac{x'}{\sin \beta \cos \gamma} = \frac{y' - y'_0}{\cos \beta} = \frac{z' - z'_0}{\sin \beta \sin \gamma}, \quad (3)$$

где  $y'_0$ ,  $z'_0$  - некоторые постоянные величины, зависящие от  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $h$ . Из формулы (3) следует, что ось уровня после поворота инструмента вокруг оси больше не параллельна горизонтальной плоскости, а образует с нею угол  $x$

$$\cos(90^\circ - x) = \sin \beta \sin \gamma. \quad (4)$$

Следовательно, ввиду малости углов  $x$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  имеем

$$x = \beta \gamma. \quad (5)$$

Чтобы по возможности уменьшить значение угла  $\gamma$  и сделать его в рабочем состоянии постоянным, уровень должен быть прислонен оправой к особому упору, находящемуся в центральной части переключивающего механизма [3]. Для правильной установки упора, или же для контроля, служат поперечные уровни, расположенные на плечиках или на оправе уровня. Вполне возможно, что эта операция может быть связана с большими техническими трудностями, и поэтому иногда для установления уровня пользуются поперечными уровнями, добиваясь, чтобы значение, вообще говоря, неизвестного угла  $\gamma$ , было бы постоянным и не слишком большим. Следует отметить, что при постоянном значении  $\gamma$  т.е. при постоянном  $\alpha$ , ошибка неточной регулировки горизонтальных исправительных винтов при определении наклона оси инструмента равна практически нулю, т.к. она проявляется только через изменения цены деления уровня. Пользоваться вспомогательными поперечными уровнями неудобно, и поэтому при помощи горизонтальных исправительных винтов обычно добиваются достаточно малого значения угла  $\beta$ , предполагая, что угол  $\gamma$  может меняться в определенных пределах.

Рассмотрим уровень пассажного инструмента АПМ-10, у которого  $\phi$  цапф 7 см,  $h=27$  см, а длина уровня 45 см, шаг резьбы исправительных винтов 0,25 мм.

Условия статического равновесия уровня дают:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1}{R} \frac{k}{(1+k^2) \cos \alpha + k^2} \approx \frac{kR}{l \cos \alpha} \quad (6)$$

где  $k$  — коэффициент трения,  $\approx h$  — расстояние центра тяжести уровня от оси инструмента,  $2\alpha$  — угол между опорами плечиков. Подставляя данные для уровня АПМ-10 в (6), получаем

$$\gamma \approx 2' \div 3'$$

т.е. уровень АПМ-10 может находиться еще в равновесии, если его лапки отклонены примерно на  $5 \div 10$  мм от вертикали в зависимости от смазки для цапф. В связи с этим можно предложить следующий способ регулировки горизонтальных исправительных винтов: 1. достигается

максимально возможное отклонение от вертикального положения и отсчитывается положение пузырька. 2. Уровень устанавливается по возможности вертикально и делается отсчет пузырька. 3. При помощи горизонтальных исправительных винтов уменьшается значение угла  $\Delta x$ . 4. Процесс повторяется до тех пор, пока  $\Delta x \leq 0''2$ . 5. Определяется значение  $\Delta \gamma$ . Это возможно сделать следующим способом: а/ оправа уровня устанавливается на небольшое расстояние от упора /на 1 мм/. б/ Инструмент переключается в лагерах и измеряется расстояние между оправой и упором. Разность между этими расстояниями есть  $\Delta \gamma$  в линейной мере. Если  $\Delta \gamma < 0''2$ , то можно считать, что ошибки регулировки исправительных винтов уровня нет. Например, у уровня АПМ-10 Латвийского государственного университета  $\Delta \gamma < 0''2$ . В заключение отметим, что шаг резьбы горизонтальных исправительных винтов 0,25 мм. Следовательно, при одном обороте  $\Delta x = 6''$ , т.е. условия регулировки  $\Delta x \leq 0''2$  вполне приемлемы.

### Л и т е р а т у р а

1. К.А.Штейнс. Уч.записки Латв.гос.унив.т.96, выпуск 3, 3, 1967.
2. В.Э.Брандт.Сообщения ГАИШ № 150,20,1967.
3. П.Н.Долгов. Определение времени пассажным инструментом в меридиане. Москва 1952.

## K o p s a v i l k u m s

K. Š t e i n s

PAR KĻŪDU, KAS RODAS REGULĒJOT LĪMEŅA ATBALSTA  
SKRŪVĒS

Izvesta formula kļūdai, kas rodas no līmeņa ass neparalēlītātes instrumenta asiņ. Parādīts, kā novērst šo kļūdu.

## S u m m a r y

K. Š t e i n s

ABOUT THE ERROR FROM ADJUSTING THE LEVEL'S  
BEARING SCREW

Formula is derived for the error in cases when axis of the level is not parallel to transit instrument's horizontal axis. It is shown how to eliminate this error.

Ж

Л. А. Р о в е

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ ПАССАЖНОГО  
ИНСТРУМЕНТА АО ЛГУ

В Астрономической обсерватории Латвийского государственного университета им. П. Стучки наблюдения времени производятся на пассажном инструменте АПМ - 10 №580003. Кроме фотоэлектрической установки, инструмент имеет заводскую конструкцию и переделкам не подвергался.

При наблюдениях прохождений звезд нами было замечено изменение наклонности горизонтальной оси в зависимости от зенитного расстояния. В связи с этим были рассмотрены наблюдения 1969 года. Для каждой почасовой поправки часов из всех значений наклонностей  $i$  вычислялось среднее арифметическое  $i_{\text{ср}}$  и затем разность  $i - i_{\text{ср}}$ . Эти значения  $i - i_{\text{ср}}$  объединялись по группам для десятиградусных зон склонений. Затем для каждого наблюдателя по этим зонам склонений вычислялось среднее арифметическое  $(i - i_{\text{ср}})_{\delta}$ . Полученный таким образом результат виден на рис. 1. По оси  $\delta^{\circ}$  - склонения группы звезд, по оси  $(i - i_{\text{ср}})_{\delta}$  - соответствующие их значения в  $0,001$ . Условные обозначения наблюдателей: Д - Дирикис М.А., К - Каупуш Э.И., Р - Роуе Л.Ф., Ро-Ро - роуе Л.А. и Ру - Рунгайне И.К. Из рис. 1 видно, что для наблюдателей Р, Ро, Д и К имеется зависимость  $(i - i_{\text{ср}})_{\delta}$  от склонения звезд, что явно выражено для больших склонений. Рис. 1 поясняет таблица 1, в первой колонке которой даются зоны склонений, по которым нами были разделены все наблюдения, а в остальных - число наклонностей

тей для соответствующих зон склонений, использованных при наших вычислениях.

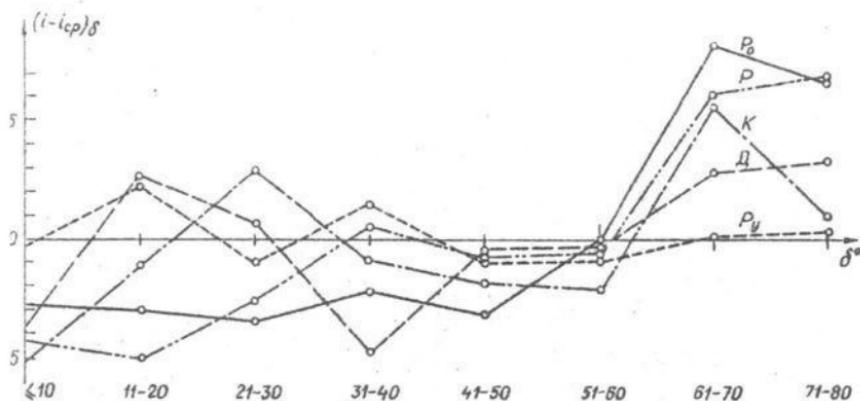


Рис. 1

Т а б л и ц а 1

$\delta$	$P_y$	K	P	$P_0$	D
$\leq 10^\circ$	179	120	127	115	25
$11^\circ + 20^\circ$	71	44	85	75	11
$21^\circ + 30^\circ$	65	11	67	43	7
$31^\circ + 40^\circ$	93	46	89	64	12
$41^\circ + 50^\circ$	201	173	168	144	36
$51^\circ + 60^\circ$	299	188	229	223	47
$61^\circ + 70^\circ$	236	179	178	158	38
$71^\circ + 80^\circ$	21	8	26	22	4

Имелось основание считать, что выявленная нами систематическая разность в отсчетах уровней, может зависеть от способа установления трубы на звезду. Для исследования этого явления нами были произведены специальные опыты. Экстремальные значения отклонения наклонов замечены при наблюдениях близзенитных северных

звезд, поэтому отсчеты уровня производились для  $Z = -5^\circ$  при наведениях трубы на это зенитное расстояние сперва с северной стороны, а затем с южной. Для сравнения подобные отсчеты уровня производились для  $Z = 60^\circ$ . При каждом из этих зенитных расстояний в обоих положениях инструмента /0 и W/ получалось по 10 пар отсчетов, в каждой паре вычислялась разность между первым и вторым отсчетом и затем их среднее арифметическое  $\Delta i$  со средней квадратической ошибкой  $\epsilon$ . Полученный таким образом результат дается в таблице 2. Данные таблицы 2 показывают изменение отсчета уровня в зависимости от направления наведения трубы на северные звезды при положении инструмента "0". В остальных трех случаях такая зависимость выявляется слабо. Наш опыт дает возможность объяснить происхождение основной части систематических равностей в отсчетах уровней.

Т а б л и ц а 2

Z	0		W	
	$\Delta i$	$\epsilon$	$\Delta i$	$\epsilon$
- 5°	$\pm 0,013$	$\pm 0,002$	$+0,004$	$\pm 0,003$
+ 60°	- 4	3	- 2	1

Для выяснения вопроса, как систематическое изменение отсчетов уровней влияет на поправки часов, нами был произведен следующий подсчет. На рис. 1 для всех восьми точек среднего склонения  $\delta$  были взяты средние значения  $(i - i_{cp})\delta$ . По данным наблюдений 1969 года было подсчитано среднее распределение звезд в программе наблюдений. Для этого распределения звезд решалась следующая система уравнений:

$$\Delta u + \Delta k K = -(i - i_{cp})\delta J. \quad (1)$$

Далее искалось соответствие остаточных отклонений  $\Delta u_i$ , полученных при решении системы (1), со средними оста-

точными отклонениями  $\Delta\alpha_n$ , полученными по наблюдениям 1969 года. Величины  $\Delta\alpha_n$  были получены по наблюдениям как среднее арифметическое остаточное отклонение для звезд соответствующих зон. Результат этих вычислений в  $0,001$  дан в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

$\delta$	$\Delta\alpha_c$	$\Delta\alpha_n$
$\leq 10^\circ$	+ 0,7	- 3,4
$11^\circ \div 20^\circ$	+ 1,0	- 4,0
$21^\circ \div 30^\circ$	+ 0,8	- 1,9
$31^\circ \div 40^\circ$	- 0,6	+ 3,1
$41^\circ \div 50^\circ$	- 1,4	+ 4,0
$51^\circ \div 60^\circ$	- 4,7	- 0,4
$61^\circ \div 70^\circ$	+ 4,8	- 2,1
$71^\circ \div 80^\circ$	- 0,7	+ 4,6

Данные таблицы 3 показывают несоответствие  $\Delta\alpha_c$  и  $\Delta\alpha_n$ . Следовательно, мы можем считать, что изменения отсчетов уровня, замеченные в наблюдениях на пассажном инструменте АПМ-10 №580003, не вносят в наблюдения систематические ошибки.

## K o p s e v i l k u m s

L. R o z e

PAR LVU AO PASĀŽIŅSTRUMENTA HORIZONTĀLĀS ASS  
STABILITĀTI

Atrastas sistemātiskas pasāžinstrumenta ANM\_10 Nr.580003 horizontālās ass slīpuma maiņas, kas atkarīgas no stobra iestādīšanas virziena uz zvaigzni.

## S u m m a r y

L. R o z e

ABOUT HORIZONTAL AXIS STABILITY OF THE TRANSIT  
INSTRUMENT AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF  
THE LATVIAN STATE UNIVERSITY

Systematic inclination changes of the horizontal axis of the transit instrument ANM\_10 No 580003 are found. They depend upon direction of setting the tube to the zenith distance of a star.

2c

Я. К. Б а л о д и с

## ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИИ ЗВЕЗД

Автоматизация процесса измерений прямоугольных координат на фотографиях звезд и применение ЭВМ для определения сферических координат измеренных на снимках светил требует решения вопроса об автоматическом отождествлении звезд. Алгоритм отождествления на ЭВМ получается более или менее сложным в зависимости от полноты информации о снимке, звезды которого отождествляются по данному каталогу. Процесс отождествления целесообразно разделить на два этапа. В первом этапе отождествляются несколько звезд снимка, которые будем называть первичными, а во втором этапе - остальные. Трудности автоматического отождествления при автоматическом измерении снимков невелики, т.к. первый этап решается ориентацией снимка [ 1 ]. Отметим следующие задачи, встречающиеся на практике в порядке увеличения трудностей отождествления.

1. Известны направления осей идеальной системы координат снимка и задана область каталога звезд, где имеются сферические координаты всех первичных звезд. Численность звезд каталога в этой области столь мала, что необходимые действия поисков первого этапа можно осуществить на ЭВМ без повторных циклов. Задача усложняется, если нет гарантии, что в каталоге имеются координаты всех первичных звезд, но задано число первичных звезд, имеющих в каталоге.

2. Ориентация осей идеальных координат на снимке не известна, но есть гарантия, что все первичные звезды

имеются в заданной области каталога и что поиски отождествления можно осуществить на ЭВМ без повторных циклов.

3. Ориентация осей идеальных координат на снимке неизвестна. Известно, что некоторые из первичных звезд имеются в каталоге. Для поисков отождествления могут быть необходимыми повторные циклы первого этапа.

Первая из вышеупомянутых задач встречается в работе станций фотографических наблюдений ИСЗ. Для многих ИСЗ элементы орбит настолько хорошо известны, что для моментов экспозиций можно подсчитать со сравнительно большой точностью их сферические координаты. Измеряются прямоугольные координаты ИСЗ и опорных звезд. Сферические координаты ИСЗ элементами орбит определяются настолько точно, что без труда выделяется в каталоге область, где имеются сферические координаты опорных звезд снимка. Сферические координаты трансформируются в идеальные для отождествления в них первичных звезд. Соответствующая программа для ЭВМ создана на Рижской станции оптических наблюдений ИСЗ и отождествляет из каталога SAO необходимое количество опорных звезд /10-20 звезд/ в течение нескольких секунд.

Даже такие сравнительно неустойчивые элементы орбиты, как для спутника Пагеос, позволяют определить значение сферических координат оптического центра с погрешностью  $\pm 45'$  и ориентацию осей идеальных координат на снимке с погрешностью до  $\pm 10^\circ$ . Для спутника типа Геос-2 эти значения соответственно  $\sim 10'$  и  $\sim 4^\circ$ .

Вторая из выше перечисленных задач решалась Паке [2]. Он на пластинке измерял 4 ярких звезды и имел полную гарантию в том, что эти звезды имеются среди звезд FK3, который содержит только яркие звезды. Такие требования не предъявляются в алгоритмах, рассматриваемых в настоящей статье. В нашей статье даются решения первой и третьей задач. Построения алгоритмов даются на языке теории множеств.

Проблему отождествления звезд можно сформулировать следующим образом: имеется множество точек  $S$  / снимок / с прямоугольными координатами  $X$  и  $Y$  и мно-

жество точек  $K$  /каталог/ с координатами  $\xi, \eta$ , полученными по данным каталога. Координаты определяют взаимное расположение точек множества  $S$ . На выделение тех точек множества  $K$ , которые имеют такое же взаимное расположение, основаны два предложенных нами способа отождествления звезд. Первый из них изложен в § 1. Алгоритм построен так, что ищется какое-нибудь элементарное звено - взаимное расстояние любых точек, равное в множествах  $S$  и  $K$ . По нему проверяется наличие отображений остальных точек  $\in S$  в множество  $K$ . Процесс отождествления ускоряется до 4 раз, если можно зажать приближенную ориентацию осей идеальных координат на снимке. Такое преимущество имеется на снимках ИСЗ, где ориентация возможна по следу спутника.

Второй способ предлагается как более рациональный, когда область неба задана с большой погрешностью или неизвестна ориентация осей идеальных координат на снимке. Этот способ основан на выделении множества таких точек, которые имеют такие же взаимные расстояния, как точки множества  $S$ . Пример такого решения изложен в § 2, алгоритм на языке теории множеств - в § 3.

Размерность сравниваемых областей неба и вопрос организации поиска рассмотрен в § 4.

§ 1. Множество звезд или точек или элементов - все эти термины будут обозначать в дальнейшем одно и то же. Обозначим звезды множества снимка /множество  $S$ / номерами  $1, 2, \dots, n$ , множество звезд каталога данной области неба /множество  $K$ / - номерами  $1, 2, \dots, N$  с соответствующей отметкой, к какому /множеству они относятся. Подмножеством  $K_S$  множества  $K$  обозначены те звезды  $\in K$ , которые являются отображениями звезд  $\in S$  в звезды множества  $K$ , и которые предстоит отождествить.

В первом предлагаемом нами способе алгоритм начинается поиском самого элементарного звена - какого-нибудь вектора между двумя точками, с допустимой погрешностью равного множеству точек  $S$  и множеству  $K$ .

Если неравенство

$$|d(s, t) - d(g, h)| \leq \varepsilon$$

(1)

выполняется, то проверяется, выполняется ли неравенство

$$|\gamma_{st} - \gamma_{gh}| \leq \varepsilon_3 \quad (2)$$

или

$$|\gamma_{st} - \gamma_{gh}| \leq \varepsilon_3 + \pi, \quad (3)$$

где

$$1 \leq g, h \leq n, \quad g < h; \quad g \in C, \quad h \in C;$$

$$1 \leq s, t \leq N, \quad s < t; \quad s \in C, \quad t \in C$$

Буквой  $\gamma$  с соответствующими индексами /номера звезд/ обозначается угол между вектором, образованным этими точками, и осью абсцисс соответствующей системы координат. Т.е. неравенством (1) сравнивается расстояние  $d(s,t)$  между  $s$  и  $t$  множества  $K$  с расстоянием  $d(g,h)$  между точками  $g$  и  $h$  множества  $C$ . Индексация обеспечивает такое сравнение всех взаимных расстояний точек  $\in C$  со всеми взаимными расстояниями точек  $\in C$ , что ни один вариант не пропускается и ни один вариант не дублируется. Всегда  $h > g$  и  $t > s$ .



Рис. 1. Схематическое изображение данных в памяти ЭВМ

Например, расстояние  $d(1,3)$  в  $K$  сравнивается поочередно с расстояниями в множестве  $C$  -  $d(1,2)$ ,  $d(1,3)$ ,  $d(1,4)$ , ...,  $d(1,n)$ ,  $d(2,3)$ , ...,  $d(n-1,n)$ . Потом  $d(1,4)$  в множестве  $K$  с расстояниями  $d(1,2)$ ,  $d(1,3)$ , ...,  $d(n-1,n)$  и т.д. Схема сравнений дана на рис. 1. Постоянная  $\varepsilon_1$ , -макс погрешность метрических расстояний, в основном вызвана погрешностью сферических координат оптического центра фотоснимка;  $\varepsilon_2$  - соответствующая этому явлению угловая погрешность;  $\varepsilon_3$  - макс погрешность заданной ориентации осей идеальных координат на снимке. Процесс сравнений расстояний временно прекращается, если имеет место:

а/истинны неравенства (1) и (2). Возможно, что

$$\varphi(g) = s, \quad (4)$$

$$\varphi(h) = t. \quad (5) \quad l = 2, \quad r_1 = s; \quad r_2 = t;$$

б/истинны неравенства (1) и (3). Возможно, что

$$\varphi(g) = t, \quad (6)$$

$$\varphi(h) = s. \quad (7) \quad l=2; r_1=t; r_2=s.$$

$\varphi$  - символ взаимно-однозначного отображения элемента множества  $C$  в элемент множества  $K$ .

Гипотетически предполагается, что найден вектор  $\overline{gh}$ , образованный двумя точками  $\in C$ , которому с допустимой погрешностью соответствует вектор  $\overline{r_1 r_2}$ , образованный двумя точками  $\in K$ . Однако возможно, что множество  $K$  содержит несколько различных пар точек, с допустимой погрешностью образующих вектор, соответствующий  $\overline{gh}$ . Верны ли предположения а/ или б/, решит проверка неравенств (8) и (9).

$$\text{Если} \quad |d_{r_1 e} - d_{g i}| \leq \epsilon, \quad (8)$$

$$\text{и} \quad |e \widehat{r_1 r_2} - i \widehat{gh}| \leq \epsilon_2, \quad (9)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $i \in C$ , но  $i \neq f$ ;  $e = (s+t+1), \dots, N$ ;  $e \in K$ ;

$$\text{то} \quad \varphi(i) = e. \quad (10)$$

$f = g$ ,  $h$  и всем тем значениям  $i$ , для которых выполняется уравнение (10),  $l$  - количество отождествленных точек.

В зависимости от количества отождествленных звезд дальнейший процесс будет продолжаться по одному из двух путей.

1.  $l \geq p$ , где  $p$  - заданное минимальное количество, которое из  $n$  звезд надо отождествить, чтобы быть уверенным в безошибочном результате. Если это условие выполняется, достаточное количество первичных звезд согласно уравнениям (4), (5), (10) или соответственно (6), (7), (10) отождествлено и этап отождествления первичных звезд закончен.

2. Если  $l < p$ , то ЭВМ возвращается к продолжению исследования неравенств (1), (2), (3).

Причиной тому, что при всех значениях индексов минимальное количество звезд отождествить не удалось, может быть погрешность заданной ориентации больше  $\epsilon$ , или множества  $C$  и  $K$  являются обратными изображениями друг

другу.

Для того, чтобы все-таки отождествить звезды снимка, весь процесс начинается снова с неравенства (1), но на взаимную ориентацию никакие условия не налагаются, т.е. неравенства (2) и (3) не проверяются. Цикл проверки неравенств (8) и (9) повторяется 4 раза, но предпосылки каждый раз другие:

$$1/ \varphi(g) = s, \varphi(h) = t; r_1 = s; r_2 = t;$$

$$2/ \varphi(g) = t; \varphi(h) = s; r_1 = t; r_2 = s;$$

3/ Выполняются предпосылки 1/, но неравенство (9) проверяется в виде  $|\epsilon \hat{r}_1 r_2 + i g h - 2\pi| \leq \epsilon_2$ ; (11).

4/ выполняются предпосылки 2/ и вместо неравенства (9) выполняется (11).

Вторичный этап отождествления, т.е. отождествления всех остальных звезд снимка заключается в вычислении для них  $\alpha$ ,  $\delta$  методом Тернера, где в качестве опорных являются первичные звезды, и последующей проверки наличия их в каталоге. Однако количеству первичных звезд нет ограничений, кроме емкости памяти ЭВМ и скорости перебора всех взаимных расстояний, и в качестве первичных могут быть и все опорные звезды снимка.

В случае двойных звезд ошибочное отождествление не исключено. Но ошибки такого порядка выявятся и фальшивые значения будут выброшены при решении систем уравнений

$$\begin{aligned} ax + by + c - \xi &= \Delta \xi \\ a'x + b'y + c' + \eta &= \Delta \eta \end{aligned} \quad (12)$$

§ 2. С целью пояснения предложенного нами второго способа отождествления звезд, рассмотрим простой пример. Пусть на пластинке измерены прямоугольные координаты  $x, y$  первичных звезд, номера которых I, II, III, IV /см. рис. 2/. Сферические координаты звезд каталога трансформируются в прямоугольные координаты идеальной системы и имеют номера 1, 2, 14, 23. Предполагаем, что фигура, образованная первичными звездами снимка, асимметрична и изображение ее существует среди звезд каталога. Взаимная ориентация осей обеих систем координат неиз-

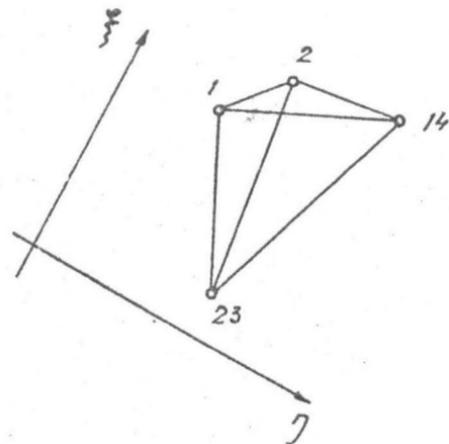
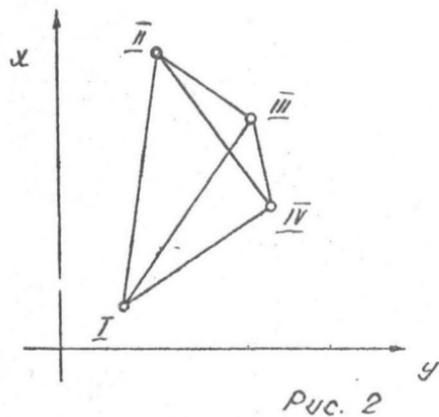


табл. 1

	$d(1,2)$	$d(1,14)$	$d(1,23)$	$d(2,14)$	$d(2,23)$	$d(14,23)$			
$d(1,2)$						14,23	$\bar{I}$ 14, (23)	$\bar{II}$ (14), 23	
$d(1,14)$				2,23			$\bar{I}$ 2, (23)		$\bar{III}$ (2), 23
$d(1,23)$		1,23					$\bar{I}$ 1, (23)		$\bar{IV}$ (1), 23
$d(2,14)$			2,14					$\bar{II}$ 2, (14)	$\bar{IV}$ (2), 14
$d(2,23)$		1,14					$\bar{II}$ 1, (14)		$\bar{IV}$ (1), 14
$d(14,23)$	1,2							$\bar{III}$ 1, (2)	$\bar{IV}$ (1), 2

вестна, фотоснимок может быть измерен даже как обратное изображение. Точность для сравнения расстояний задана.

Переходим к отождествлению звезд. Вычисляются все взаимные расстояния между точками  $\bar{I}, \bar{II}, \bar{III}, \bar{IV}$ , которые в таблице 1 обозначены через  $d(\bar{I}, \bar{II}), d(\bar{I}, \bar{III}), \dots$ . Вычисляется расстояние  $d(1,2)$  между звездами каталога 1 и 2 и сравнивается со всеми взаимными расстояниями точек снимка. Если  $d(1,2)$  с заданной точностью совпадает с некоторыми из этих расстояний, то в таблице 1 в соответствующих строках записываются номера 1, 2. В данном случае это будет строка  $d(\bar{III}, \bar{IV})$ . Аналогично вычисляются и сравниваются все взаимные расстояния точек 1, 2, 14, 23.

Рассмотрим составленную таблицу. Любая точка снимка образует с остальными точками снимка ( $\bar{II}, \bar{III}, \bar{IV}$ ) семейство расстояний, которое обозначаем через  $D$ . Так например, для точки  $\bar{I}$

$$D_{\bar{I}} = \{d(\bar{I}, \bar{II}), d(\bar{I}, \bar{III}), d(\bar{I}, \bar{IV})\}. \quad (13)$$

Образ точки  $\bar{I}$  должен образовывать семейство таких же расстояний и соответственно номер ее каталога должен быть во всех строках  $d(\bar{I}, \bar{II}), d(\bar{I}, \bar{III}), d(\bar{I}, \bar{IV})$ . В правой части таблицы выделим все строки семейства расстояний точки  $\bar{I}$  и обведем кружком тот номер звезды каталога, который имеется во всех трех строчках. Аналогично найдем номера точек каталога для всех звезд снимка.

В примере рассмотрен самый простой случай. Часто для данной области неба в каталоге звезд намного больше, чем измеренных на снимке. Тогда такие взаимные расстояния, как точки снимка, могут образовать много различных пар звезд каталога и может даже быть, что некоторые из звезд с соседними звездами образуют семейства расстояний, случайно равных семейству  $D_{\alpha}$  некоторой точки снимка. В таком случае после проведения этапа, изложенного на примере, сравнение расстояний повторяется, но только для тех звезд каталога, семейства которых максимально напоминают семейства расстояний  $D$  звезд снимка. Таким образом отсеиваются все те звезды каталога, которые не имеют семейств  $D$ , подобных звезд

лам снимка. Но тем самым отделено множество точек, которые были парными при образовании "ложных" семейств, и при втором сравнении расстояний все или большинство "ложных" семейств уже не будут образовывать семейства, а может быть даже и ни одного такого расстояния. Это зависит от количества звезд заданной области каталога и от допустимого отличия сравниваемых расстояний. При необходимости можно цикл сравнений провести еще раз.

Если какая-то измеренная звезда на снимке не будет иметь координаты в каталоге, то соответствующего ей семейства расстояний не будет. Соответствующего расстояния не будет и в семействах расстояний других звезд.

Итак, с целью построения алгоритма для ЭВМ, можно выделить следующие задачи:

1/ Сравнением взаимных расстояний пар звезд для каждой пары звезд снимка выделить множество номеров звезд каталога.

2/ Выделить множество тех номеров звезд каталога, которые образуют семейства расстояний, соответствующие хотя одному семейству  $D$ .

3/ С выделенным множеством звезд, повторяя операции пункта 1/ и 2/, завершить отождествление.

§ 3. Имеется множество точек, взаимоотношения которых можно выразить взаимными расстояниями /множество  $C$ /. Имеется другое множество точек, множество  $K$ , в которое как подмножество входит заранее неизвестный нам образ множества  $C$ , обозначаемый через  $K_c$  [3]:

$$K_c \subset K, |C| = n; |K| = N; n < N.$$

Задача состоит в том, чтобы найти подмножество  $K_c$ .

1. Прежде всего путем сравнения каждой пары элементов множества  $K$  с каждой парой элементов множества  $C$  регистрируются все те случаи, когда для двух пар расстояния звезд внутри пары достаточно мало отличаются друг от друга. Располагая этой информацией, для каждого индексов  $g, h$  ( $1 \leq g, h \leq n$ ) можно построить множество

$$Z_{gh} = \{s, t \mid |d(g, h) - d(s, t)| \leq \epsilon\}; \quad (14)$$

где  $d(s,t)$  обозначает расстояние между элементами  $s$  и  $t$  из множества  $K$  ( $1 \leq s, t \leq N$ ).

2. Для того, чтобы выяснить, какие элементы множества  $K$  по ситуации с расстояниями максимально напоминают ситуацию для некоторого элемента  $u$  из множества  $C$ , строятся пересечения

$$K_u = \bigcap_{\substack{1 \leq h \leq n \\ h \neq u}} Z_{uh}; \quad (1 \leq u \leq n). \quad (15)$$

Множество  $K_u$  содержит те элементы из  $K$ , которые в смысле взаимных расстояний могут претендовать на роль образа элемента  $u \in C$ .

3. О появлении "ложных образов", которые только случайно напоминают ситуацию с расстояниями, характерную для элемента  $u$  в множестве  $C$ , свидетельствуют случаи, когда  $K_u$  содержит больше одного элемента. Если множество  $C$  в множестве  $K$  отображается однозначно, то от лишних элементов можно избавиться при помощи итерации процесса, описанного в пунктах 1. и 2., заменением множества  $K$  через

$$K' = \bigcup_{i=1}^n K_i. \quad (16)$$

Если не для всех элементов  $C$  имеются образы во множестве  $K$ , то строятся пересечения (15) при сочетаниях значений индекса  $h$  от  $n$  по  $p$  с последующим объединением пересечений для соответствующего  $u$ .

Отождествление вторичных звезд проводится таким же образом как в первом способе.

§ 4. Первый этап процесса отождествления может оказаться безрезультатным, если среди избранных звезд каталога нет образа измеренных на снимке. Казалось бы, следует в первом этапе рассмотреть по возможности больше звезд каталога. Такой путь нерационален - нет надобности искать сравнительно малые взаимные расстояния первичных звезд среди больших расстояний звезд большой области неба.

Предлагаем следующий цикловой вариант поисков.

Описывается квадрат вокруг первичных звезд в системе координат  $x, y$ . Длина стороны квадрата обозначается через  $a$  и около точки предполагаемого места оптического центра снимка в системе идеальных координат обводится такой же квадрат. Квадрату обводится полоса шириной  $a\sqrt{2}$ , и получается большой квадрат со стороной  $4a$ . В квадрате со стороной  $a$  нет ни одной из образа первичных звезд, если всего их множества нет в большом квадрате  $4a$ . Можно утверждать, что в исследованной области нет образа первичных звезд, если она исследована по квадратам со стороной  $4a$  с полосой перекрытия  $a\sqrt{2}$  где  $a$  - сторона квадрата обведенного фигуре первичных звезд.

В способах, предложенных нами, количество первичных звезд на снимке и количество звезд каталога ничем не ограничено, кроме памяти ЭВМ. Только минимальное количество первичных звезд должно быть таким, что в исследуемой области звезд каталога практически не найдется 2 изоморфных множества из  $p$  точек. Значительно может ускорить процесс отождествления дополнительная информация о звездных величинах первичных звезд снимка.

### Л и т е р а т у р а

1. Pratt N.M. The Performance of GALAXY. "Publs Roy.Observ. Edinburgh," 1971, 8, N 11, 103.
2. Paquet P. Identification précise des étoiles d'un cliché photographique. "Ciel et Terre" 1970, 86, N 3, 197.
3. Шиханович Ю. Введение в современную математику "Наука", Москва 1965.

## K o p s e v i l k u m s

J. B a l o d i s

## P A R Z V A I G Z Ņ U A U T O M Ā T I S K O I D E N T I F I C Ē S A N U

Rakstā apskatīta problēma par zvaigzņu automātisko identificēšanu uz astrofotografijām ar ESK palīdzību. Izmērītas atbalsta zvaigzņu taisnleņķa koordinātes, bet zvaigzņu apgabala ekvatoriālās koordinātes ir zināmas aptuveni. Tiek uzstādīts uzdevums atrast katalogā atbalsta zvaigzņu ekvatoriālās koordinātes. Ieteiktas divas metodes. Pirmā no tām ir izdevīgāka, ja uzņēmuma optiskā centra ekvatoriālās koordinātes un "ideālās" sistēmas koordinātu asu orientācija aptuveni zināma. Šāda programma sastādīta Rīgas ZMP stacijā. Otra metode ieteikta gadījumiem, kad optiskā centra ekvatoriālo koordinātu precizitāte ir zema un attāla orientācija nav zināma.

## S u m m a r y

J. B a l o d i s

## O N T H E A U T O M A T I C A L I D E N T I F I C A T I O N O F S T A R S

The problem of automatical identification by computer the stars on photographic plates is discussed. The rectangular plate coordinates of reference stars is measured and the equatorial coordinates of plate is known approximately. The task is to find the equatorial coordinates of reference stars in catalogue. The two methods is presented. The first of them is more succesfull, when both the equatorial coordi-

nates of plate's optical centre and the orientation of the axes of ideal coordinate system in plate is known approximately. Such a program is made in Riga satellite tracking station. The second method is presented for the case when the accuracy of equatorial coordinates of optical center is low and the orientation of plate is unknown.

Устройство для определения среднего момента прохождения звезд, М.П.Огриньш. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

Описывается устройство, имеющее блок автоматики, содержащий генератор меток, расстояние между которыми устанавливается автоматически в зависимости от  $\delta$  звезды. Метки автоматически располагаются приблизительно в экстремальных местах сигнала, а между соседними метками измеряются суммы длительностей выбросов одного знака. Средний момент складывается из момента середины из 12 меток и поправки, являющейся усредненной суммой длительностей выбросов между соседними метками. Длительности выбросов измеряются подсчетом импульсов частотой в 1000 гц от кварцевых часов. Логическая часть блока автоматики выделяет средний момент из 12 меток и обеспечивает начало, конец регистрации и снятие показаний со счетчика импульсов. Даются схемы устройства. Иллюстр.4, библиогр.2 назв.

УДК 522.98

Исследования устройства для определения средних моментов прохождения звезд, М.П.Огриньш. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

Даны результаты исследования устройства в лабораторных условиях при регистрации в присутствии шума. Если отношение эффективного значения шума к амплитуде сигнала 20%, то среднеквадратичная ошибка среднего момента составляет 0,0025 сек. Иллюстр.9, библиогр.3 назв.

УДК 522.617.3 и 529.78

Автоматизация пассажного инструмента,  
К.А.Штейнс, А.В.Иванов. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

Изготовлена система механизмов для полной автоматизации фотоэлектрических пассажных инструментов. Система предусмотрена для автоматизации уже существующих инструментов, т.е. она повторяет действия, которые совершает наблюдатель рукой. Установка зенитного расстояния производится в двух этапах, точная установка при этом производится фотоэлектрически. Для фиксации по зенитному расстоянию используются ложные лагеры. Иллюстр. 5. Библиогр. 1 назв.

УДК 522.982

О выборе звезд при определении точного времени фотоэлектрическим пассажным инструментом, К.А.Штейнс и П.П.Розенберг. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

На основе формулы К.А.Штейнса для определения влияния оптической нестабильности атмосферы пересматривается вопрос о выборе звезд. Показано, что в среднем звезды Каталога служб времени определяют оптимальную поправку, если отбросит звезды, у которых  $\delta > 73^\circ$ . Оценка происходит по приведенному весу к одной звезде или же к единице времени. Качество поправок изучается также в зависимости от других ошибок: наклонности, коллимации, азимута, вращения азимута. Показано, что наиболее существенная ошибка получается из-за дрожания звезд. Влияние ошибки и изменения азимута несущественно. Рекомендуются широкая зенитная программа звезд. Библиогр. 7 назв.

Об ошибке уровня при регулировке исправительных винтов, К.А.Штейнс. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

Дана формула для оценки ошибки уровня, возникающей при регулировке исправительных винтов. Предполагается методика для уменьшения этой ошибки до допустимых предлов.

## УДК 522.38 и 529.71

Об устойчивости горизонтальной оси пассажного инструмента АО ЛГУ, Л.А.Розе. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том , вып.7,

Найдено изменение наклонности горизонтальной оси пассажного инструмента АПМ-10 №80003, зависящее от направления наведения трубы на звезду. Иллюстр. 1.

## УДК 522.61

Об автоматическом отождествлении звезд, Я.К.Балодис. "Ученые записки Латвийского государственного университета", 1972 г., том вып.7,

Предложено два способа автоматического отождествления звезд на ЭВМ по прямоугольным координатам измерений фотоснимка и приблизительно заданной области неба. Предложено определить область неба для снимков фотографических наблюдений ИСЗ по элементам орбит. Первый способ отождествления звезд на ЭВМ предложен как более рациональный в случае, когда приблизительно известна ориентация осей идеальной системы координат на снимке, как это бывает в частности на снимках ИСЗ. В противном случае как более рациональный предложен второй способ. Предложен способ продолжения поиска, если область неба задана с низкой точностью. Иллюстр. 2, таблиц 1, библиогр. 3 назв.

## С о д е р ж а н и е

1. М. П. О г р и н ь ш. Устройство для определения среднего момента прохождения звезд ..... 3
2. М. П. О г р и н ь ш. Исследование устройства для определения средних моментов прохождения звезд ..... 18
3. К. А. Ш т е й н с и А. В. И в а н о в. Автоматизация пассажного инструмента ..... 30
4. К. А. Ш т е й н с и П. П. Р о з е н б е р г. О выборе звезд для определения времени фотоэлектрическим пассажным инструментом ..... 40
5. К. А. Ш т е й н с. Об ошибке при регулировке исправительных винтов уровня ..... 53
6. Л. А. Р о з е. Об устойчивости горизонтальной оси пассажного инструмента АО ЛГУ ..... 58
7. Н. К. Б а л о д и с. Об автоматическом отожествлении звезд ..... 63

## C o n t e n t s

1. M. O g r i p š. Device for determination of value of the mean star transitmoments ..... 3
2. M. O g r i p š. Investigation of the device for determination of value of the mean star transit moments ..... 18
3. K. Š t e i n s and A. I v a n o v s. Automation of the photoelectric transit instrument ..... 30
4. K. Š t e i n s and P. R o z e n b e r g s. About choise of stars for time determination with a photoelectric transit instrument ..... 40
5. K. Š t e i n s. About the error from adjusting the level's bearing screw ..... 53
6. L. R o z e. About horizontal axis stability of the transit instrument at the astronomical observatory of the Latvian state university ..... 58
7. J. B a l o d i s. On the automatical identification of stars ..... 63

Ученые записки, том 169

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАССАЖНОГО ИНСТРУМЕНТА

Редактор Э.Кауцис  
 Технический редактор С.Плауде  
 Корректор С.Плауде

Редакционно-издательский отдел ЛГУ им. Петра Стучки  
 Рига 1972

Подписано к печати 13/VII 1972 ЯТ 06134 Зак. № 479.  
 Ф/б. 60x84/16. Офсетная. Физ.п.л. 5,8. Уч.-и.л. 3,9  
 Тираж 500 экз. Цена 42 коп.

Отпечатано на ротационной машине, Рига-50, ул.Вейденбаума,5  
 Латвийский государственный университет им. П.Стучки

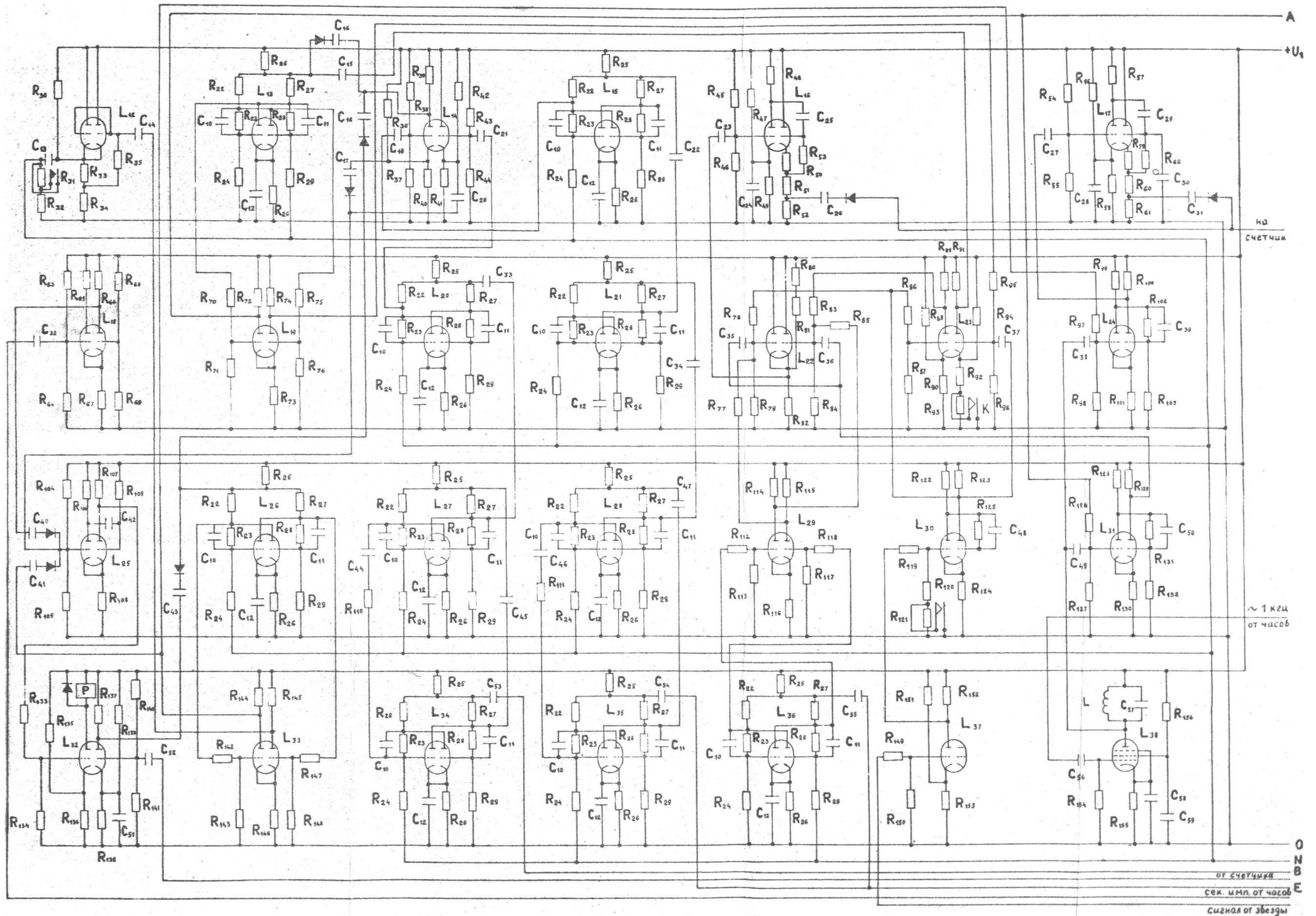


Рис. 4

*ms.*  
*xms.*

Ц. нэ 42 коп.

44 / 1255

LATVIJAS UNIVERSITĀTES BIBLIOTĒKA



0508044005

Учен. зап. (ЛГУ им. П.Стучки), 1972, т.500, 1-80