

LATVIJAS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI

600. sējums



ASTRONOMIJA

20

ZEMES MĀKSLĪGO PAVADOŅU
LĀZERLOKĀCIJA

4465

ACTA UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Latvijas Universitātes Zinātniskie raksti 600. sējums

ASTRONOMIJA

**LATVIJAS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI
600. sējums**

ASTRONOMIJA
20

**ZEMES MĀKSLĪGO PAVADOŅU
LĀZERLOKĀCIJA**



Latvijas
Universitātes
BIBLIOTĒKA

ACTA UNIVERSITATIS LATVIENSIS
Volume 600

ASTRONOMY
20

SATELLITE LASER RANGING

600-20

Latvijas Universitātes Zinātniskie raksti 600.sējums

ASTRONOMIJA 20

Zemes mākslīgo pavadoņu lāzerclokācija

Zinātniskais redaktors I. Vilks. Rīga: LU, 1995. 98 lpp.

LU Zinātnisko rakstu sērijā "Astronomija" tiek publicēti darbi par debess mehānikas un astrometrijas, kosmiskās ģeodēzijas un ģeodinamikas un astronomiskās aparātbūves problēmām. Šajā krājumā publicētajos zinātniskajos rakstos galvenokārt aplūkotas ZMP lāzerstaciju modernizācijas problēmas, kā arī īsi skarti debess mehānikas un astronomijas pedagogijas jautājumi.

Acta Universitatis Latviensis, ser. Astronomy contains scientific papers concerning problems of celestial mechanics and astrometry, space geodesy and geodynamics and astronomical equipment. This issue mostly deals with problems of modernization of SLR stations. Some problems of celestial mechanics and astronomy education are noted, too.

Redakcijas kolēģija:

I.Vilks (zin.red.), V.Gedrovics,

I.Kreicberga, L.Laucenīeks, K.Salmiņš

SATURS

M.Ābele. Teleskopa TPL-1 optisko sistēmu justēšana.	5
M.Ābele. Teleskopa TPL primārā un sekundārā spoguļa attāluma ietekme uz attēla kvalitāti un sekundārā spoguļa iestādišanas metodika.	11
V.Gedrovics, M.Paunonens, A.Pavēnis, J.Žagars. Pirmais mehāniskās precizitātes novērtējums lāzertālmēram LS-105 Metsahovi (Somijā).	19
V.Lapoška. Impulsu sadalītājs lāzerteleskopa soļa motoriem.	27
L.Laucenicks, M.Dirikis. Mazās planētas meklēšanas apgabala aprēķināšana tās atklāšanas tuvumā.	31
A.Pavēnis. Ešclonētu rindu procesors PC datoram.	37
K.Salmiņš, R.Noiberts. Integrēts programnodrošinājums ZMP lāzerstacijas vajadzībām.	43
A.Stoikovs. "Alt-alt" montējuma orientācijas modelēšana lāzertālmēram ULIS- Rīga.	46
A.Stoikovs. Lāzertālmēra ULIS-Rīga galvenā teleskopa izšķirtspējas pētījumi.	53
A.Stoikovs, M.Ābele. Lāzertālmēra ULIS optiskās sistēmas justēšanas metodika.	57
A.Stoikovs, V.Lapoška. Lāzertālmēra ULIS pozicionēšanas precizitātes izpēte.	67
A.Stoikovs, J.Žagars, M.Ābele, V.Lapoška. Rīgas otrais lāzertālmērs ULIS - mērījumu sākums.	71
I.Vilks. Jaunas koncepcijas astronomijas mācību grāmatā Latvijas vidusskolām.	77
A.Stoikovs, J.Žagars, M.Dimitrova. "Alt-alt" montējuma parametru noteikšanas metode teleskopam, kas strādā vertikālā koordinātu sistēmā.	83
Bibliogrāfiskais rādītājs par Latvijas Universitātes Zinātnisko rakstu sēriju "Astronomija".	89

CONTENTS

VI. Abele. Collimation of optical systems of telescope TPL-1.	5
VI. Abele. Influence of distance between primary and secondary mirror of TPL telescope on image quality; methods of collimation of secondary mirror.	11
I. Gedrovics, M. Paunonen, A. Pavēnis, Y. Zhagars. The first approach of the mechanical accuracy for LS-105 SLR telescope in Metsahovi (Finland).	19
I. Laposhka. Impulse distributor for stepper motors.	27
..Laucenicks, M. Dirikis. Calculation of search region for a minor planet in the vicinity of its discovery.	31
..Pavēnis. ESPC, a processor of echeloned series for PC compatibles.	37
..Salminsh, R. Neubert. Integrating software tools for SLR observation support.	43
..Stoykov. Modeling of "alt-alt" mount of SLR telescope ULIS-Riga.	46
..Stoykov. Investigation of main telescope resolution of SLR system "ULIS" - Riga.	53
..Stoykov, M. Abele. Methods of collimation of optical system of SLR telescope ULIS.	57
..Stoykov, V. Laposhka. Experimental investigation of positioning accuracy of SLR telescope ULIS.	67
..Stoykov, Y. Zhagars, M. Abele, V. Laposhka. Second Riga SLR telescope ULIS - start of measuring.	71
Vilks. New conceptions in astronomy textbook for Latvian high-schools.	77
..Stoykov, Y. Zhagars, M. Dimitrova. Method of determination of "alt-alt" mount's parameters for telescopes in the vertical reference frame. ...	83
Bibliographic index of Acta Universitatis Latviensis, ser. "Astronomy"	89

ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕЛЕСКОПА ТПЛ-1

М.Абеле

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

This paper contains instruction of collimation for optical system of TPL-1 telescope. Acceptable parameter changes are given, too.

Kopsavilkums

Teleskopa TPL-1 optiskās sistēmas justāšana pa punktiem un dotas nepieciešamās parametru pielāides.

1. Юстировка плоских зеркал телескопа ТПЛ-1

1.1. Из гидрирующего устройства ГУ вынимаются оптические элементы и вставляются диафрагмы D_1 и D_2 (рис.1). В патрон вставляется газовый лазер ОКГ и зажимается юстировочными винтами B_1 .

1.2. На центральную втулку главного зеркала ставится юстировочное приспособление ЮУ и в его гнездо ставится автоколлиматор. Измеряется расстояние от верхней части автоколлиматора до кронштейнов крепления вторичного зеркала. Винтами B_7 автоколлиматор наклоняется таким образом, чтобы верхняя часть автоколлиматора находилась на одинаковом расстоянии (± 1 мм) от всех кронштейнов.

1.3. В гнездо юстировочного устройства ставится зеркало Z_4 с полупрозрачным покрытием с экраном \mathcal{E}_1 .

1.4. На конце трубы фокусирующего устройства или отдельно ставится экран \mathcal{E}_3 .

1.5. Юстировочными винтами B_1 луч лазера направляется через диафрагмы D_1 и D_2 .

1.6. Производится юстировка зеркала Z_4 перпендикулярно оси юстировочного устройства O_3-O_3 . Для этого зеркало Z_4 поворачивается в четыре положения через 90° и на экране \mathcal{E}_2 отмечаются точки пересечения лазерного луча (рис.2) A_1, A_2, A_3 и A_4 . Геометрическим путем находят центр квадрата S_3 . На эту точку наводят луч лазера наклоняя зеркало Z_4 винтами B_8 .

1.7. Труба телескопа наклоняется в горизонтальное положение и по азимуту телескоп ориентируется параллельно оси гидрирующего устройства O_4-O_4 . На экране \mathcal{E}_1 отмечается точка пересечения лазерного луча B_1 . Поворачивая телескоп по азимуту через 90° получают точки B_2', B_3', B_4' (рис.3). Если все точки не помечаются на экране, то винтами юстировки зеркала B_3 центр фигуры юсек перемещается к центру экрана. Центр фигуры S_1 находится геометрическим путем и тогда при помощи юстировочных винтов B_3 наклоном зеркала Z_1 направляется лазерный луч.

1.8. Внутри корпуса нижней части телескопа над дихроическим зеркалом ставится экран \mathcal{E}_2 с отверстием, который совмещается с проходящим лазерным лучом.

1.9. Винтами V_7 отраженный от зеркала Z_4 лазерный луч направляется на экран \mathcal{E}_2 , отмечаются точки пересечения при повороте телескопа по азимуту через каждые 90° (рис.4) находятся координаты точки C_2 $\Delta x_2, \Delta y_2$. Для совмещения точки C_2 с центром отверстия экрана необходимо перемещать Z_1 вдоль нормали на величину Δz_1 , и гидрирующее устройство на величину Δy_0 в горизонтальном направлении, который вычисляют по формулам

$$\Delta z_1 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} \Delta x_2' \approx 0.4 \Delta x_2'; \quad (1)$$

$$\Delta y_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} y_2' \approx 0.6 \Delta y_2'; \quad (2)$$

где ℓ_1 - расстояние центра зеркала Z_1 до зеркала Z_4 ,

ℓ_2 - расстояние от экрана \mathcal{E}_2 до зеркала Z_4 ,

ℓ_1 - расстояние от диафрагмы D_2 до зеркала Z_4 .

Расстояния измеряются по оптическому пути.

1.10. Зеркало Z_1 и гидрирующее устройство перемещаются на вычисленные расстояния. Винтами V_3 луч лазера направляется на отмеченную точку C_1 на экране \mathcal{E}_1 . Винтами V_6 отраженный от Z_4 луч направляется на отверстие в экране \mathcal{E}_2 . Если при повороте телескопа по азимуту луч перемещается на экране \mathcal{E}_1 не более чем ± 1 мм и экране \mathcal{E}_2 не более ± 3 мм, то юстировку зеркала Z_1 можно считать законченной и можно принять, что лазерный луч совпадает с осью $O_1 \cdot O_1$.

1.11. Производится юстировка дихроического зеркала. Экран \mathcal{E}_3 ставится на место фокуса главной оптической системы телескопа. Винтами V_4 луч выводится на центр экрана, совпадающего с геометрическим центром трубы фокусирующего устройства. Экран удаляется вдоль оси на расстояние $\Delta \ell_1 \approx 100$ мм. Если при этом точка пересечения лазерного луча смещается не более $\Delta y_3 < 2$ мм, то юстировку дихроического зеркала можно считать законченной. Если $\Delta y_3 > 2$ мм, то винтами V_4 зеркало перемещается вдоль нормали на величину Δz_3 , которая вычисляется по формуле

$$\Delta z_3 = \frac{\ell_f \cdot \Delta y_3}{\sqrt{2} \cdot \ell_3}, \quad (3)$$

где ℓ_f - расстояние точки фокусировки от вертикальной оси поворота телескопа.

После смещения зеркала луч вновь направляется на центр диафрагмы в фокальной плоскости и для контроля проверяется смещение точки при перефокусировке.

1.12. Далее производится выставление второго диагонального зеркала Z_2 , который закреплен на конце центральной трубы. Для этого труба телескопа поворачивается вокруг горизонтальной оси на углы $0^\circ, 45^\circ$ и 90° к горизонту. На экране \mathcal{E}_1 отмечаются точки V_1'', V_2'' и V_3'' , соответствующие этим углам

(рис.5). Находится центр окружности C_1'' проходящий через эти точки. Наклоном зеркала Z_2 винтами B_3 лазерный луч выводится на эту точку. Телескоп снова поворачивается на 0° , 45° и 90° . Лазерный луч не должен перемещаться по экрану \mathcal{E}_1 , но на экране \mathcal{E}_2 отмечается путь отраженного лазерного луча (рис.6) точками D_1'' , D_2'' , D_3'' . Определяются координаты центра окружности $\Delta x_2''$, $\Delta y_2''$. Для совмещения центра окружности с началом координат необходимо перемещать зеркало Z_2 на величину Δz_2 и подшипник горизонтальной оси на Δy_2 , которые можно вычислить по формулам

$$\Delta z_2 = -0.15 \Delta x_2''; \quad (4)$$

$$\Delta y_2 = 0.42 \Delta y_2''; \quad (5)$$

После перемещения зеркала и оси снова винтами B_3 лазерный луч направляется на точку C_1'' на экране \mathcal{E}_1 . Винтами B_6 отраженный луч направляется в отверстие экрана \mathcal{E}_2 . Если при повороте телескопа вокруг горизонтальной оси точка на экране \mathcal{E}_1 смещается менее чем на 1 мм и на экране \mathcal{E}_2 менее чем на 3 мм, то юстировку зеркала Z_2 можно считать законченной.

1.13. Измеряется расстояние точки C_1'' от центра экрана \mathcal{E}_1 по координате X (вдоль оси O_2-O_2'). На эту величину смещается зеркало Z_3 . Винтами B_6 луч направляется в отверстие экрана \mathcal{E}_2 . Если при этом точка на экране \mathcal{E}_1 находится не более чем 2 мм от центра, то юстировку плоских зеркал телескопа можно считать законченной.

2. Центрировка главной оптической системы телескопа

2.1. В гнездо юстировочного устройства вставляется автоколлиматор АК (рис.7). На верхнюю часть автоколлиматора одевается отклоняющее приспособление с призмами P_1 и P_2 . Телескоп поворачивается в вертикальное положение. Призма P_2 вводится в пучок и объектив ОБ фокусируется на автоколлимационное изображение креста, отраженного от главного зеркала G_3 .

2.2. Производится центровка главного зеркала. Автоколлиматор поворачивается призмой P_2 в сторону винта S_1 . Винтом B_{10} автоколлимационное изображение креста выводится в центр поля зрения окулярного микрометра OK_1 . Делается отсчет окулярного микрометра N_1' . Автоколлиматор поворачивается на винт S_2 и делается отсчет N_2' . На окулярном микрометре устанавливается отсчет N_2'' .

$$N_2'' = N_1' + \frac{2}{3}(N_2' - N_1'); \quad (6)$$

Винтом S_2 зеркало наклоняется таким образом, чтобы крест автоколлимационного изображения совпадал со штрихом окулярного микрометра. Автоколлиматор снова поворачивается на винт S_1 и берется отсчет

N_1'' , потом на винт S_1 . Вычисляется исправленный отсчет винта N_3'' по отсчету N_3' и N_1'' .

$$N_3'' = N_3' + \frac{2}{3}(N_3' - N_1''); \quad (7)$$

Винтом S_3 крест наводится на вычисленный отсчет. Снова проверяются отсчеты N_1'' , N_2'' , N_3'' . Если отклонение от среднего значения не превосходит ± 2 дел. (1 дел.=0.01 мм) окулярного микрометра, центровка главного зеркала закончена и винты S_1, S_2, S_3 фиксируются стопорами.

2.3. Производится центровка преломляющей поверхности вторичного зеркала. Для этого между краями главного и вторичного зеркала наконечниками инварных штанг I_1, I_2, I_3 выставляется расстояние $l = 923$ мм. Наконечник стопорится. Призма Π_1 выводится из пучка и объектив ОБ фокусируется на автоколлимационное изображение креста отраженного от линзовой поверхности вторичного зеркала (в нижнем положении объектива ОБ). Автоколлиматор поворачивается призмой Π_2 в сторону наконечника I_1 и измеряется положение креста M_1' . Определяется отсчет M_2' против наконечника I_2 . Наконечником I_3 выставляется отсчет окулярного микрометра M_2'' , который можно вычислить по формуле

$$M_2'' = M_1' + \frac{2}{3}(M_2' - M_1'); \quad (8)$$

Аналогичным образом измеряется и исправляется отсчет против наконечника I_3 .

$$M_3'' = M_3' + \frac{2}{3}(M_3' - M_1''); \quad (9)$$

Когда отсчеты M_1'' , M_2'' , M_3'' отличаются от среднего менее чем на ± 3 дел. окулярного микрометра, юстировку линзовой поверхности вторичного зеркала можно считать законченной и наконечники I_2, I_3 стопорятся.

2.4. Производится центровка отражающей поверхности вторичного зеркала. Для этого объектив фокусируется на автоколлимационное изображение креста, отраженного от верхней поверхности вторичного зеркала (в верхнем положении объектива ОБ). Измеряются положения креста L_1', L_2', L_3' в поле зрения окулярного микрометра против юстировочных винтов V_1, V_2 и пружинного прижима V_3 .

$$\text{Винтами } V_1 \text{ и } V_2 \text{ выставляется средний отсчет } \bar{L} = \frac{1}{3}(L_1' + L_2' + L_3').$$

Допускается отклонение от среднего отсчета не более чем на ± 3 дел. окулярного микрометра.

При выполнении этой процедуры оптическая система телескопа отъюстирована и не требует дополнительной юстировки по изображениям звезд.

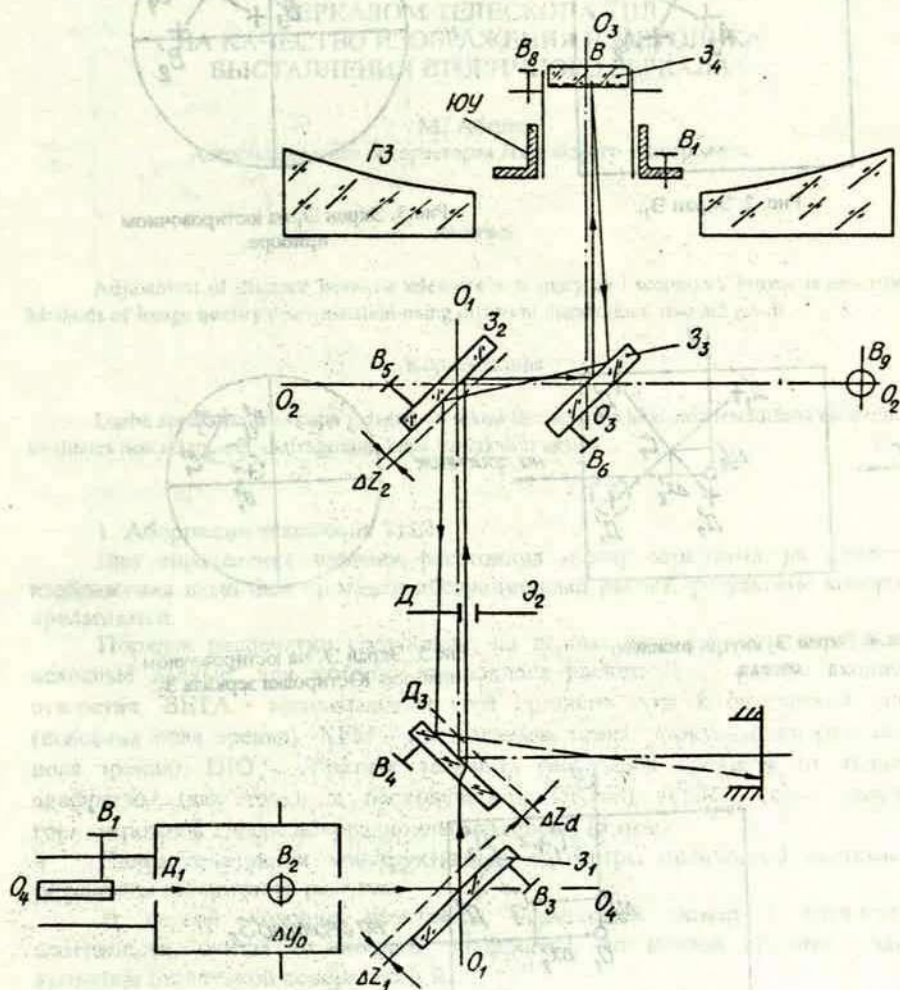
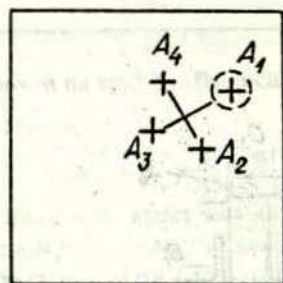
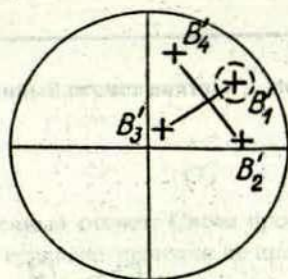
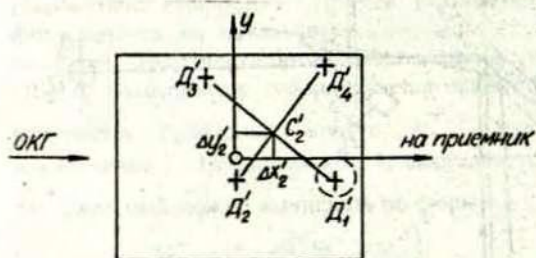
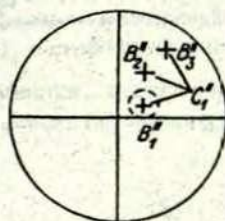
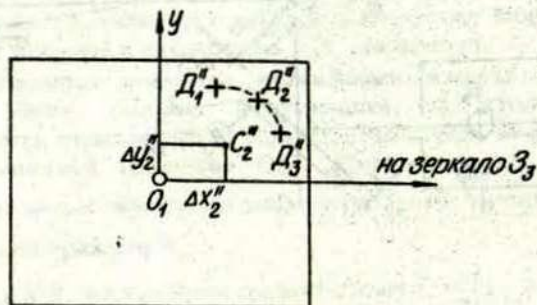


Рис. 1. Оптическая схема телескопа ТПЛ-1.

Рис. 2. Экран Э₃.Рис. 3. Экран Э₁ на юстировочном приборе.Рис. 4. Экран Э₂ внутри нижнего отсека.Рис. 5. Экран Э₁ на юстировочном приборе. Юстировка зеркала З₂.Рис. 6. Экран Э₂ внутри нижнего отсека. Юстировка зеркала З₂.

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПЕРВИЧНЫМ И ВТОРИЧНЫМ ЗЕРКАЛОМ ТЕЛЕСКОПА ТПЛ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ И МЕТОДИКА ВЫСТАВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ЗЕРКАЛА

М. Абеле

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

Adjustment of distance between telescope's primary and secondary mirror is described. Methods of image quality determination using different diaphragms also are given.

Kopsavilkums

Darbā aprakstīta teleskopa galvenā un sekundārā spoguļa attāluma iestādīšana un attēla kvalitātes noteikšana pēc diafragmām, kuru izmēri doti tabulā.

1. Аберрации телескопа ТПЛ

Для определения влияния расстояния между зеркалами на качество изображения нами был проведен аберрационный расчет, результаты которого прилагаются.

Порядок распечатки следующий: на первых двух строчках печатаются исходные данные, при которых проводился расчет: R - радиус входного отверстия, $BETA$ - максимальный угол среднего луча с оптической осью (половина поля зрения), XFM - предлагаемая точка фокусировки (половина поля зрения), DIO - обратная величина расстояния предмета от входной диафрагмы (для точки в бесконечности $DIO=0$), VER - цена деления горизонтальной шкалы аберрационных графиков (в мкм).

Далее печатаются конструктивные параметры оптической системы и результаты габаритного расчета.

В первой колонке печатается порядковый номер i оптической поверхности, считая от входной диафрагмы, во второй колонке радиус кривизны оптической поверхности R_i .

Радиус считается положительным, если выпуклость обращена к началу системы координат (рис.1).

В третьей колонке печатается L_i - расстояние до i -той поверхности от предыдущей. L_i равно расстоянию от плоскости входной диафрагмы до первой поверхности оптической системы. В дальнейших колонках печатаются значения коэффициентов преломления среды перед i -той поверхностью.

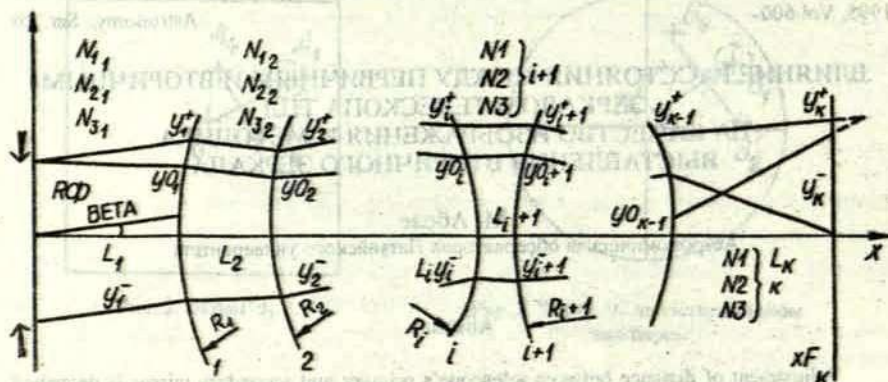


Рис. 1. Оптические поверхности центрированной системы.

Значения №1 соответствуют длине волны λ_1 , №2 и №3 соответственно для λ_2 и λ_3 . Y_0 , Y^+ , Y^- - означают высоты пересечения лучей с оптической поверхностью. Y_0 соответствует случаю, когда источник света находится на оптической оси системы, а Y^+ и Y^- - для наклонного луча с углом с оптической осью $BETA$. В последней строчке $i=k$, и данные относятся к фокальной плоскости. L_k равно заднему отрезку S' оптической системы. Вместо Y_{0k} печатается XF - расстояние фокальной плоскости от входной диафрагмы. Y_1^+ и Y_1^- - координаты наклонных крайних лучей на фокальной плоскости.

В колонках с обозначениями MA и MI печатаются полу диаметры светового отверстия оптической поверхности (не используются при абберационном расчете). После таблицы печатаются основные параметры оптической системы.

Фокусное расстояние системы FOKA вычисляется по формуле

$$FOKA = YK / \text{tg}(BETA)$$

(1)

где YK - координата U центра изображения при угле $BETA$. Сферическая aberrация SFER представляет собой разницу задних отрезков для зон с высотой R_0 и $0.6R_0$. Хроматическая aberrация вычисляется для зон $0.8R_0$ для λ_1 и λ_2 и обозначается HROM. Кома KOMA, астигматизм ASTI, кривизна LIEK, хроматизм увеличения PALH вычисляется в линейных единицах на фокальной плоскости. Все линейные величины печатаются в метрах, угловые в градусах.

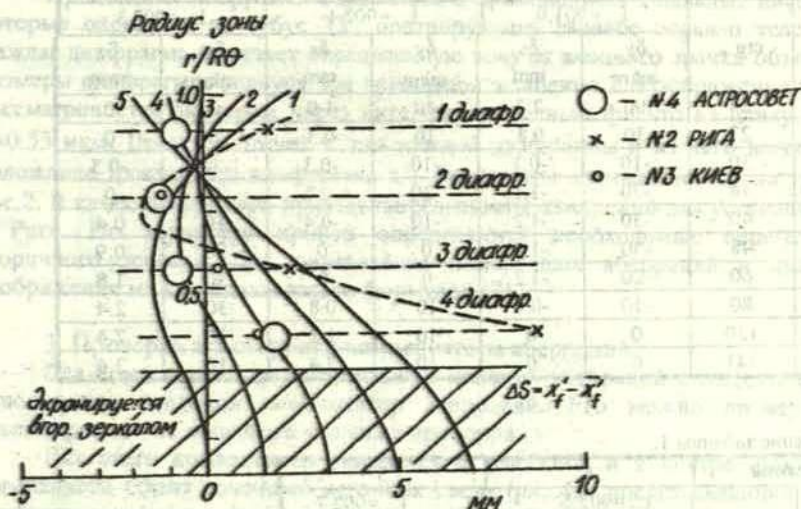


Рис. 2. Продольные aberrации телескопов.

Далее печатаются aberrационные графики для углов поля $B=0$ $B=1/2BETA$ в меридиональной и сагиттальной плоскостях. $B=BETA$ также в меридиональной и сагиттальной плоскостях. По оси x печатаются величины aberrаций, по оси u радиус зоны от $R0$ до $R0$. Если aberrация превосходит ± 10 единиц, цена которых равна VER , то соответствующая точка печатается в колонках "-" или "+". Кривые, обозначенные 1, соответствуют λ_1 , 2 - λ_2 , 3 - λ_3 . Если кривые совпадают, то печатается наименьший индекс.

Расчеты производились для длины волны $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,53$ мкм.

В последних пяти вариантах приведен расчет aberrационных кривых для телескопа вместе с компенсатором aberrаций гидрирующего устоява. В отличие от aberrаций в главном фокусе после компенсатора aberrации практически не зависят от расстояния между зеркалами. Расчет проводился для $\lambda_1 = 0,53$ мкм, λ_2 - для линии D , λ_3 - для линии C . Из расчетов можно сделать вывод, что качество изображения в гидрирующем устройстве не может быть критерием качества изображения в главном фокусе. Для работы главной оптической системы в качестве коллиматора и приемника излучения при

локации Луны необходимо получить кружок минимального диаметра в главном фокусе. Для этого можно использовать методику, приведенную ниже.

Таблица 1. Вычисленные значения поперечных и продольных aberrаций

Варианты		1		2		3	
r/R	ctg α	$L_2 = 901,9$		$L_2 = 902,1$		$L_2 = 902,3$	
		δy mkm	δs mm	δy mkm	δs mm	δy mkm	δs mm
1	24	90	2.2	40	1.0	0	0
0.9	27	30	0.8	10	0.3	0	0
0.8	30	-10	-0.3	-10	-0.3	-10	-0.3
0.7	34	-30	-1.1	-20	-0.6	0	0
0.6	40	-30	-1.2	-10	-0.4	10	0.4
0.5	48	-30	-1.4	0	0	20	0.9
0.4	60	-20	-1.2	0	0	30	1.8
0.3	80	-10	-0.8	10	0.8	30	2.4
0.2	120	0	0	10	1.2	20	2.4
0.1	241	0	0	10	2.4	10	2.4

Продолжение таблицы 1.

Варианты		4		5	
r/R	ctg α	$L_2 = 902,5$		$L_2 = 902,7$	
		δy mkm	δs mm	δy mkm	δs mm
1	24	-40	1.0	-80	-1.0
0.9	27	-20	-0.5	-30	-0.8
0.8	30	0	0	0	0
0.7	34	10	0.3	30	1.0
0.6	40	30	1.2	50	2.0
0.5	48	40	1.9	70	3.3
0.4	60	50	3.0	70	4.2
0.3	80	50	4.0	60	4.8
0.2	120	40	4.8	50	6.0
0.1	241	20	4.8	30	7.2

2. Методика выставления вторичного зеркала на минимум aberrаций

Как показал опыт, определить поперечные aberrации в фокальной плоскости затруднительно. Был применен метод измерения продольной aberrации. Для этого были вычислены продольные aberrации по данным вариантов 1-5. Продольные aberrации δ_s вычислялись по формуле

$$\delta_s = \delta_y \operatorname{ctg} \alpha \quad (2)$$

где δ_y – поперечная aberrация, α – апертурный угол.

Данные вычислений приведены в таблице 1 и изображены графически на рис.2.

Продольные aberrации измерялись с применением зональных диафрагм, которые одевались на тубус ТУ, центрирующий главное зеркало телескопа. Каждая диафрагма вырезает определенную зону от входного зрачка объектива. Размеры диафрагм и радиуса зон приведены в таблице 2. Изображение звезд рассматривается окуляром через интерференционный фильтр на длину волны $\lambda=0.53$ мкм. Делается отсчет x' для каждой диафрагмы и из него вычитается положение фокуса без диафрагмы x'' . Результаты откладываются на график рис.2. В качестве примера приведены результаты измерений для установки №2 в Риге. По характеру кривой определяются необходимые перемещения вторичного зеркала. Для определения поперечных aberrаций и диаметра изображения можно пользоваться формулой (2).

3. Проверка и юстировка компенсатора aberrаций

Для компенсации хроматических и полевых aberrаций в телескопе ТПЛ используется линзовый компенсатор aberrаций. Его можно проверить и отъюстировать, не используя сложных приборов.

Для этого компенсатор снимается с телескопа и в центре фокальной поверхности ставят точечный источник света (рис.4.), представляющий собой диафрагму или миру, подсвечиваемую через матовое стекло M лампочкой L . Передвижением корпуса $K2$ линзового блока $L1$ относительно корпуса компенсатора $K1$ выставляется расчетный задний отрезок S' между диафрагмой и вершиной последней линзы. Изображение диафрагмы рассматривается окуляром OK со шкалой $Ш$. Для наблюдения в монохроматическом свете используют интерференционный фильтр. Перемещением корпуса $K3$ с линзами $L2$ добиваются максимальной резкости при монохроматическом свете с $\lambda=0.53$ мкм. Перемещение $K3$ вдоль оси сильно меняет сферическую aberrацию.

Минимальная остаточная сферическая aberrация не должна быть больше 0.05 мкм в фокусе R . Учитывая, что компенсатор на телескопе работает как укорачивающая система, то остаточные aberrации, вносимые компенсатором, не должны быть больше 0.015 мм. На телескопе компенсатор рекомендуется располагать в расчетном положении, а фокусировку осуществить изменением S' .

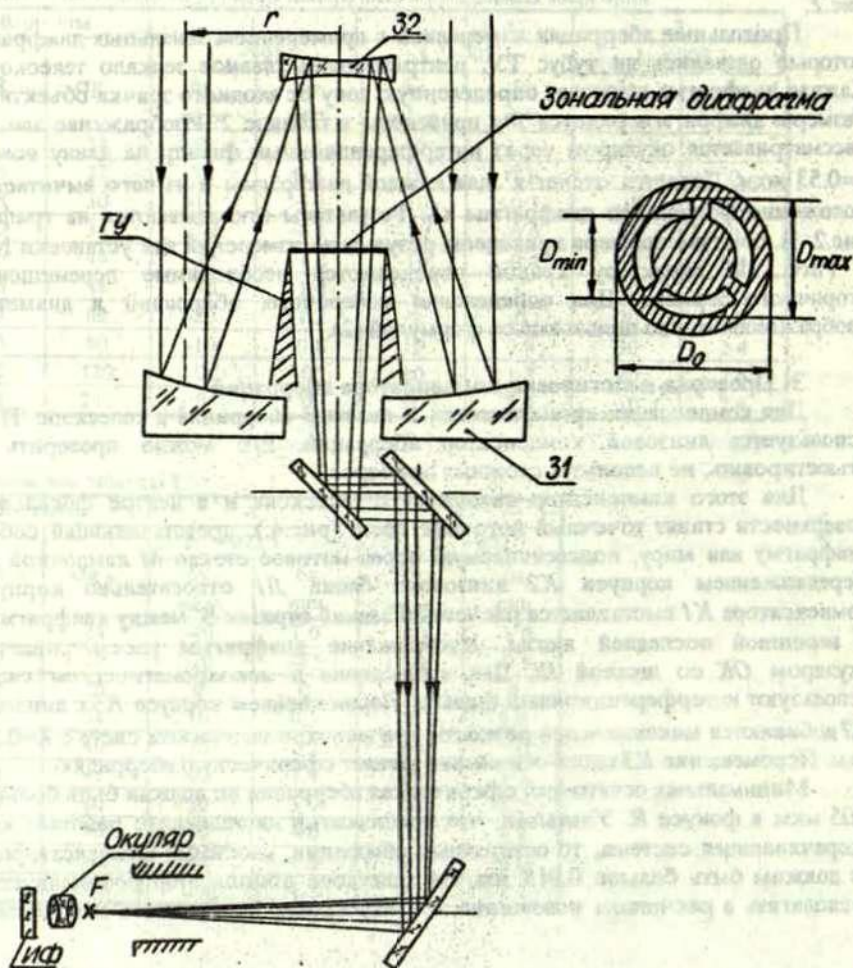


Рис. 3. Оптическая система телескопа ТТЛ-1 с зональной диафрагмой.

**INFLUENCE OF DISTANCE BETWEEN PRIMARY AND SECONDARY MIRROR 17
OF TPL TELESCOPE ON IMAGE QUALITY. METHODS OF COLLIMATION OF
SECONDARY MIRROR**

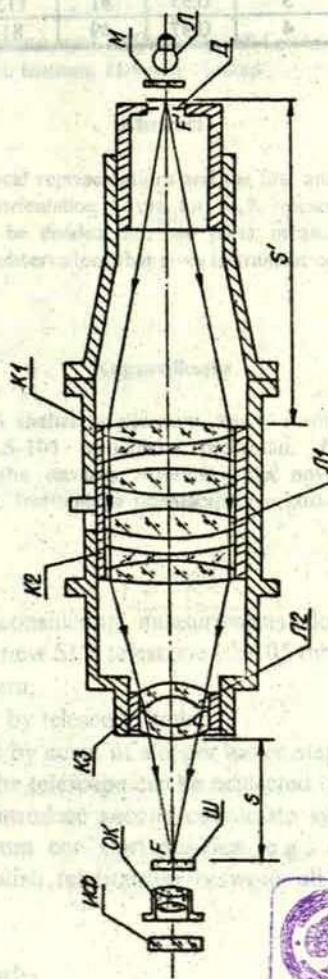
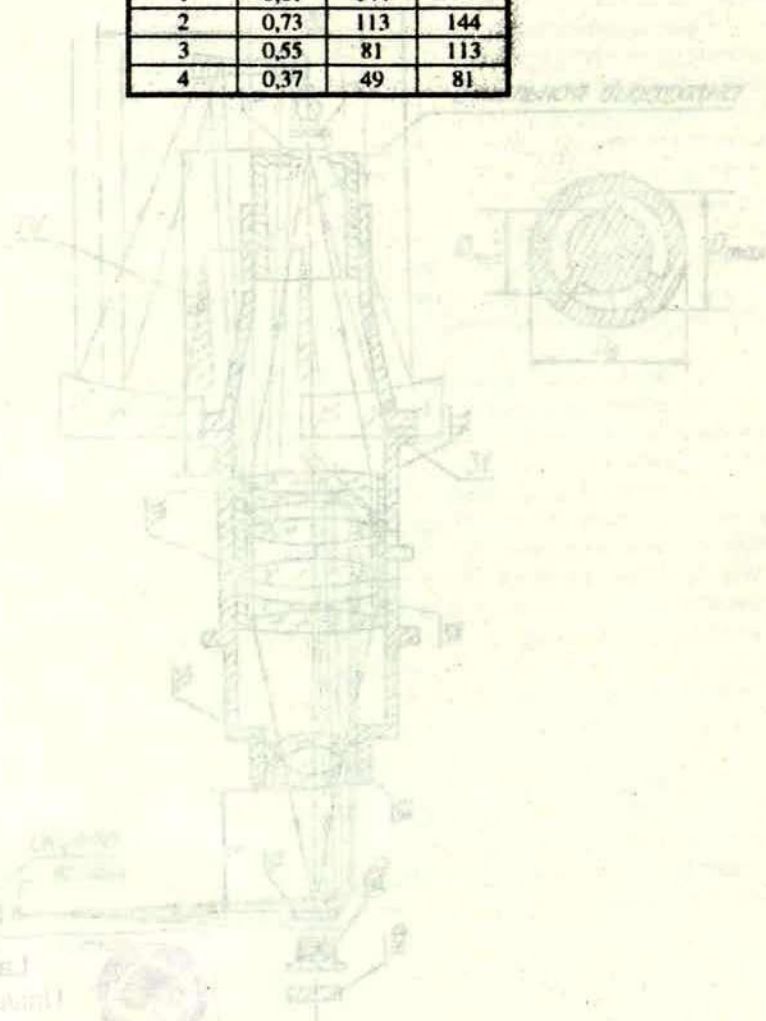


Рис.4. Компенсатор аберраций телескопа ТПУ-1.



Таблица 2. Размеры диафрагмы

№ диафр.	$r/R0$	D_{\min}	D_{\max}
1	0,01	144	-
2	0,73	113	144
3	0,55	81	113
4	0,37	49	81



LIBRARY
 LIBRARY
 LIBRARY

THE FIRST APPROACH OF THE MECHANICAL ACCURACY FOR LS-105 SLR TELESCOPE IN METSAHOVI (FINLAND)

V.Gedrovics¹, M.Paunonen², A.Pavčnis¹, Y.Zhagars¹

¹Astronomical Observatory of University of Latvia,

²Finnish Geodetic Institute, Helsinki, Finland

Abstract

This paper contains graphical representations and the first analysis of measurements that was done to study instrument orientation errors for SLR telescope LS-105 in Metsahovi (Finland). All measurements can be divided into two parts: measurements of limbs accuracy against motor step count and star observations that gives instrument orientation errors, too.

Kopsavilkums

Darbā sniegti grafiķi un īsa analīze mērījumiem, kas tika veikti, lai noteiktu Metsahovi observatorijas lāzerteleskopa LS-105 mehānisko precizitāti. Pētījums veikts teleskopa uzstādīšanas un regulēšanas darbu ietvaros. Atsevišķi tika novērtēta teleskopa reduktora precizitāte attiecībā pret limbiem. Instrumenta orientācijas precizitāte tika novērtēta, novērojot zvaigznes.

1. Introduction

Let us introduce for considering measurements done in SLR station in Metsahovi (Finland) to study new SLR telescope LS-105 three coordinate systems:

- horizontal coordinate system;
- coordinate system defined by telescope limbs;
- coordinate system defined by count of stepper motor steps (here we assume that mechanical hysteresis of the telescope can be neglected or is taken into account).

It is not necessary to introduce second coordinate system in case if we are always moving telescope from one start position (e.g., electronic zero points). Therefore we tried to establish relationship between all these three coordinate systems.

2. Measurements of limbs

To establish differences between coordinate system connected with telescope limbs and one connected with count of motor steps we moved telescope per one coordinate with constant step (going each time constant number of motor steps) and

reading coordinates from limbs after each stop. These measurements were done for both azimuth and elevation.

2.1. Measurements for azimuth

The telescope was moved with constant step of 18000 motor steps 5° at first from 5° to 365° and then back to 0° . The differences between these both coordinate systems that we have got are shown in Fig.1. The difference between both directions appears to be rather constant and of about $40''$. The area about azimuth 345° was measured with lesser step because of peak that can be seen in both plots in Fig.1. The results are shown in Fig.2.

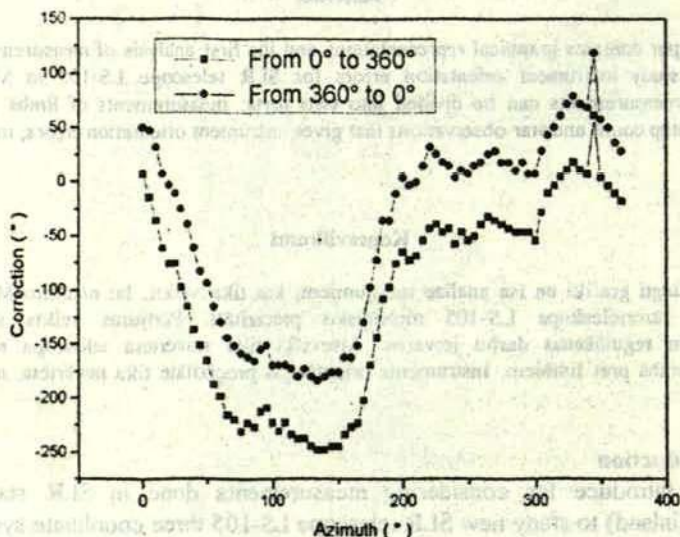


Fig. 1. Steps-limbs relationships for azimuth.

2.2. Measurements for elevation

Similar measurements were done for elevation. This time telescope was moved at first from 0° to 90° and after that back to 0° with step 7200 motor steps (2°). The differences between both passes appear to be rather small with the exception of an area above elevation 82° . The results of these measurements are shown in Fig.3.

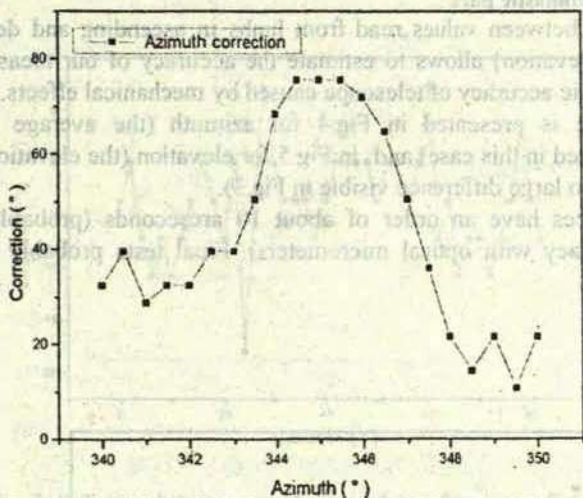


Fig. 2. Steps-limbs relationship for azimuth near 345°.

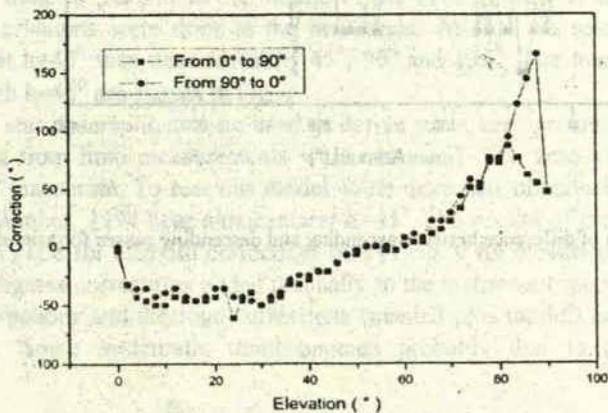


Fig. 3. Steps-limbs relationship for elevation.

2.3. Estimate of stochastic part

The difference between values read from limbs in ascending and descending passes (Fig. 3 for elevation) allows to estimate the accuracy of our measurements together with stochastic accuracy of telescope caused by mechanical effects.

That difference is presented in Fig. 4 for azimuth (the average value of difference is subtracted in this case) and in Fig. 5 for elevation (the elevations above 82° is removed due to large difference visible in Fig. 3).

These differences have an order of about 10 arcseconds (probably due to measurements accuracy with optical micrometers). Final tests probably can give better results.

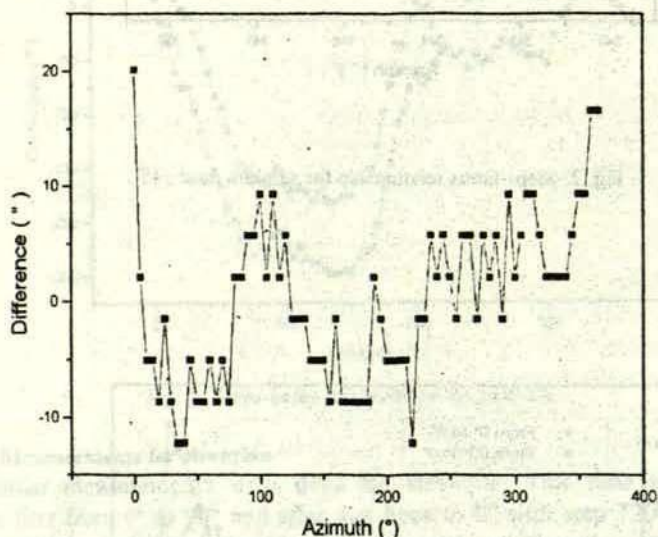


Fig. 4. Stochastic part of difference between ascending and descending passes for azimuth.

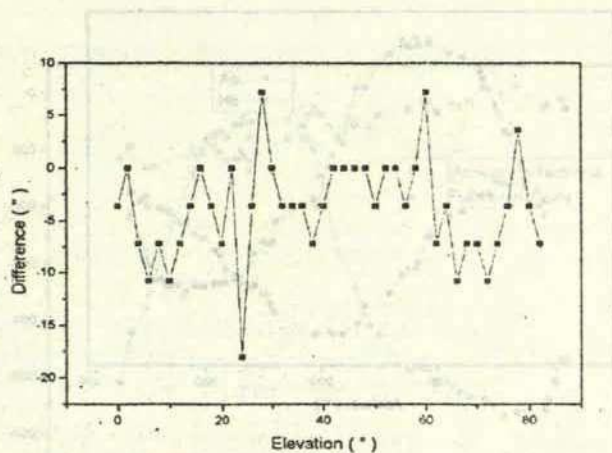


Fig. 5. Difference between ascending and descending passes for elevation.

3. Star observations

Star observations allow to determine almost all parameters of our instrument model that characterizes relationships between three coordinate systems defined above (excepting some that are more independent). At first star observations were done in two nights without any instrument model. In 24th November, 1994 we selected stars for observations near almucantar at $h=40^{\circ}$. The dependence of manual corrections done to put star in the middle of the field of view is shown in Fig. 6. Similar observations were done in the next night. At first we selected stars near almucantar at $h=40^{\circ}$ then near azimuths 45° , 90° and 135° . The manual corrections for stars with $h \approx 45^{\circ}$ are shown in Fig. 7.

These star observations were used to derive some very preliminary instrument model (data from limb measurements were not used). The zero point corrections were rather inaccurate. To test this model some more star observations were made in 28th November, 1994 near almucantar at $h=45^{\circ}$. The results of these observations are shown in Fig. 8 for azimuth corrections and in Fig. 9 for elevation corrections. In both these figures corrections added manually to the instrument model are shown as manual corrections and the total corrections (manual plus model) are shown as full corrections. Some systematic trend appears probably due to some hardware problems.

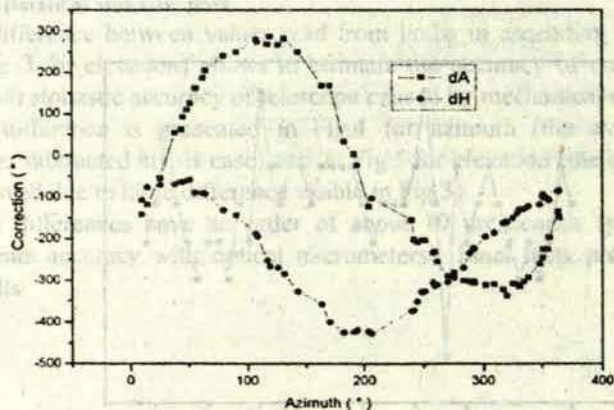


Fig. 6. Star observations in 24th November, 1994.

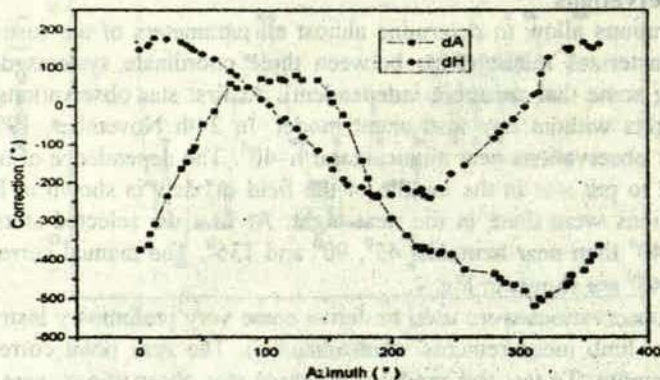


Fig. 7. Star observations in 25th November, 1994.

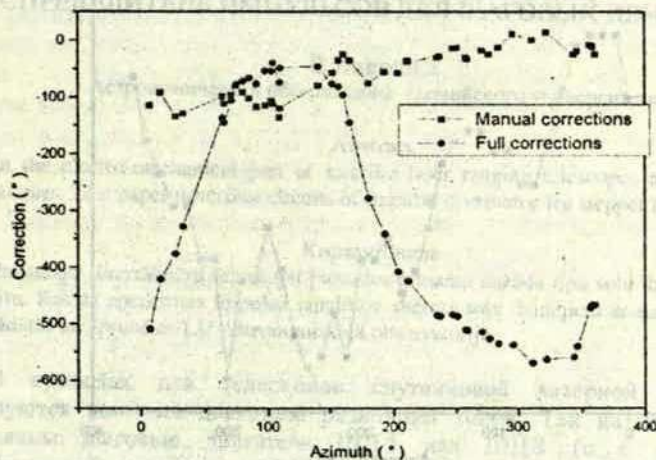


Fig. 8. Star observations in 28th November, 1994 (Azimuth).

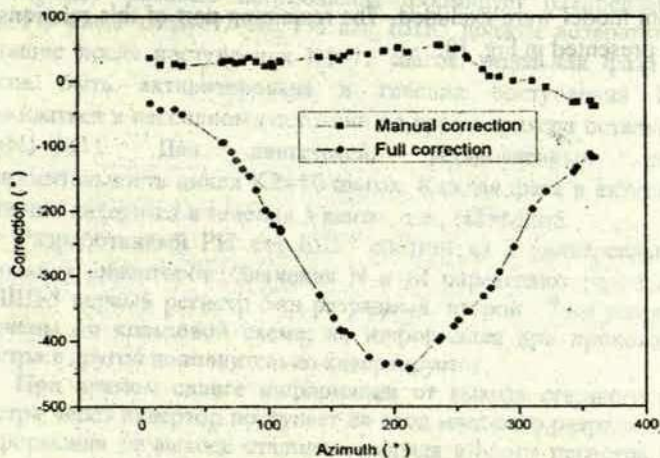


Fig. 9. Star observations in 28th November, 1994 (Elevation).

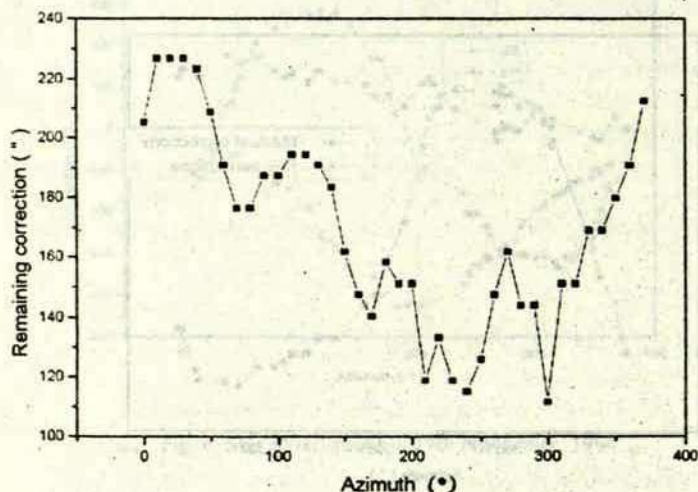


Fig. 10. The remaining part steps-limbs relationship after model subtracting.

The preliminary instrument model was used to repeat measurements of limbs-steps relationship similar to ones described above. In this case the corrections caused by instrument model were excluded. The remaining part of this relationship (with some shift) is presented in Fig. 10:

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.Лапошка

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

In the electro-mechanical part of satellite laser ranging telescopes are used different stepper motors. This paper describes circuits of impulse distributor for stepper motors.

Kopsavilkums

Pavadoņu lāzertālmēru teleskopu pievados izmanto dažāda tipa soļu dzinējus ar dažādu fāzu skaitu. Rakstā aprakstītas impulsu sadalītāju shēmas soļu dzinējiem ar dažādu fāzu skaitu, kas izstrādātas un aprobētas LU Astronomiskajā observatorijā.

В приводах для телескопов спутниковой лазерной дальнометрии используются шаговые двигатели различных типов. Так на телескопе ТПЛ установлены шаговые двигатели ШД-5 или ШД-4 (с 6 и 3 фазами соответственно), на телескопе УЛИС-630 установлены 5-ти фазовые шаговые двигатели. Настоящая статья посвящена разработке распределителя импульсных сигналов. На рис. 1 а. изображена поочередность включения фаз для ШД-5, а на рис. 1 б. - тоже самое для шагового двигателя, использованного в приводе телескопа УЛИС-600.

При поступлении тактовых сигналов (шагов) от импульсного генератора необходимые фазовые соотношения формирует распределитель импульсов (РИ). Из рис.1 следует, что РИ для ШД-5 должен возвратиться в начальное состояние после поступления $K1=12$ шагов, отдельная фаза этого двигателя должна быть активизирована в течении поступления $N1=5$ шагов и удерживаться в пассивном состоянии во время прихода остальных $M1=7$ шагов ($K1=N1+M1$). Для двигателей, установленных на УЛИС-630, продолжительность цикла $K2=10$ шагов. Каждая фаза в активном и пассивном состоянии находится в течении 5 шагов, т.е., $N2=M2=5$.

Разработанный РИ для ШД-5 состоит из 2 универсальных регистров и нескольких инверторов. Значения N и M определяют разрядность регистров. Для ШД-5 первый регистр 5-ти разрядный, второй - 7-ми разрядный. Регистры включены по кольцевой схеме, но информация при прохождении из одного регистра в другой дополнительно инвертируется.

При прямом сдвиге информация от выхода старшего разряда первого регистра через инвертор поступает на вход младшего разряда второго регистра, а информация от выхода старшего разряда второго регистра через инвертор поступает на вход младшего разряда первого регистра. Принцип работы РИ в таком режиме показан на рис.2.

При обратном сдвиге информация от выхода младшего разряда первого регистра через инвертор поступает на вход старшего разряда второго регистра, а информация от выхода младшего разряда второго регистра через инвертор поступает во вход старшего разряда первого регистра.

Принципиальная схема РИ с использованием стандартных микросхем 155 серии приведена на рис. 5. После поступления сигнала СБРОС по линии сброса оба регистра переходят в нулевое состояние, состояние линии +/- определяет направление сдвига информации в РИ после поступления шагов по тактовой шине f . Прямое направление обеспечивается последовательным сдвигом информации в регистрах, обратное - параллельной записью. Сравнивая выходные сигналы на рис. 2 с фазовыми соотношениями на рис. 1 а, видно, что сигналы от выходов первого регистра перед их подачей на шаговый двигатель необходимо дополнительно инвертировать.

Для шаговых двигателей с 3-мя или 5-тью фазами в полушаговом режиме $N=M$, поэтому схема РИ упрощается и состоит только из одного универсального регистра и нескольких инверторов. При прямом сдвиге (рис. 3.) информация с выхода старшего разряда регистра через инвертор поступает на вход младшего разряда, при обратном сдвиге информация с выхода младшего разряда регистра через инвертор поступает на вход старшего регистра. Принципиальная схема РИ отображена на рис.4. Работа схемы совпадает с работой схемы РИ рассмотренного выше. Эксплуатация РИ показала, что потеря информации в регистрах приводит к сбою работы РИ и всего привода телескопа лазерного дальномера. Поэтому должны приниматься меры для снижения шумов в цепях питания РИ (дополнительные конденсаторы в цепях питания около самих регистров и др.) или дополнение схемы РИ блоком контроля.

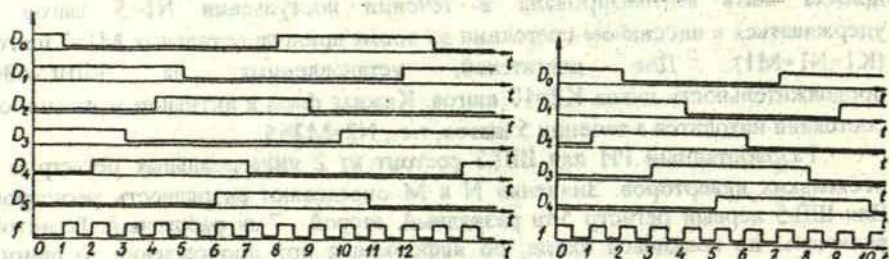


Рис. 1. Поочередность включения фаз.

Принципиальная схема разработана на лазерном дальномере УЛИС.

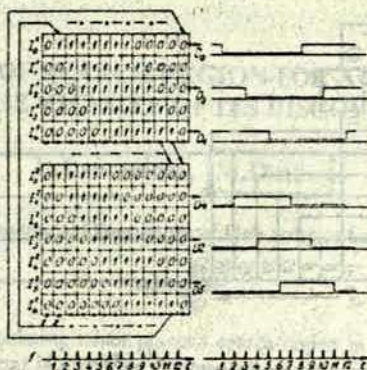


Рис. 2. Состояние регистров и выходные сигналы.

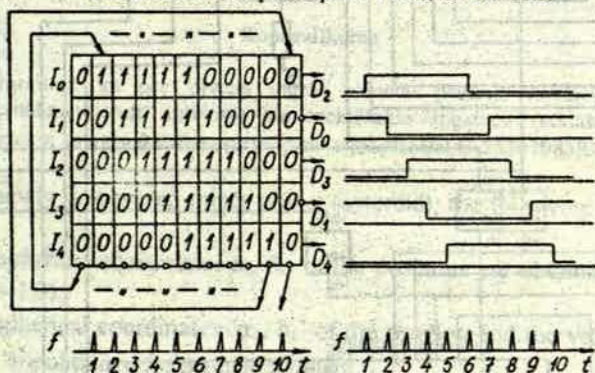


Рис. 3. Состояние регистра и выходные сигналы.

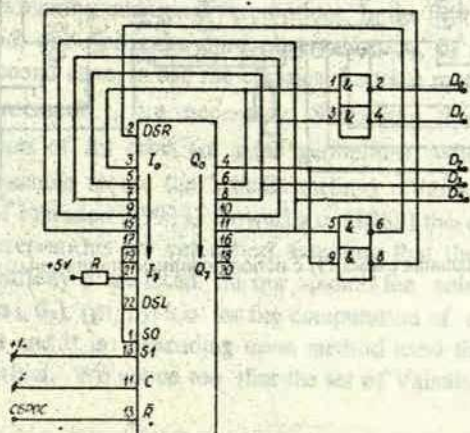


Рис. 4. Принципиальная схема РИ.

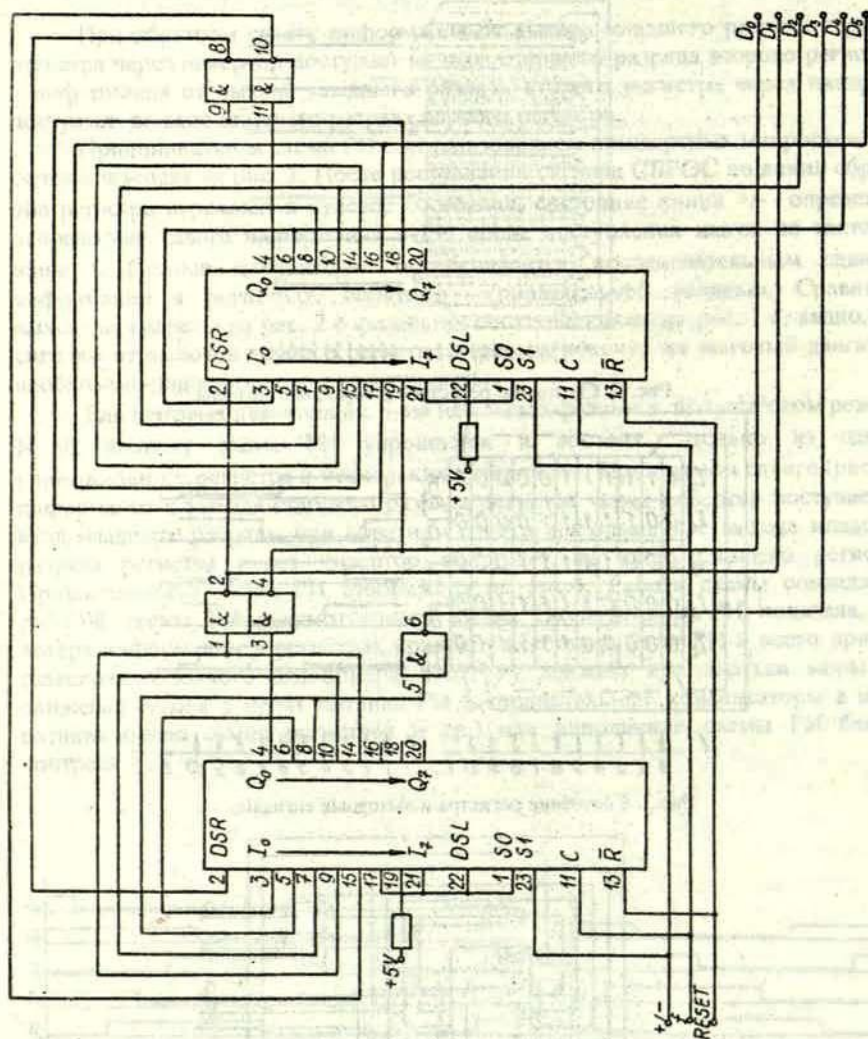


Рис. 5. Принципиальная схема РИ с использованием стандартных микросхем 155 серии.

CALCULATION OF SEARCH REGION FOR A MINOR PLANET IN THE VICINITY OF ITS DISCOVERY

L.Lauceniķs, M.Āiriķis

Astronomical Observatory of University of Latvia

Abstract

The algorithm for calculating minor planet's search region in the vicinity of its discovery by variation geocentric distances is presented. Numerical examples are given for minor planet C-553=1983RQ4.

Kopsavilkums

Dots algoritms, kā pēc diviem mazās planētas pozīciju novērojumiem, variējot ģeocentriskos attālumus, var aprēķināt tās meklēšanas apgabalu (atklāšanas redzamības intervālā). Ilustrācijai sniegts skaitlisks piemērs mazajai planētai C-553=1983RQ4.

For a newly discovered minor planet (asteroid), the following situations may occur:

- 1) the spherical coordinates α_i, δ_i of the positions are obtained only for two moments t_i ($i=1,2$);
- 2) the spherical coordinates α_i, δ_i of the position and the velocities of their change $\dot{\alpha}_i, \dot{\delta}_i$ are obtained for a single moment t_i .

In such cases, it is impossible to determine a preliminary elliptical orbit unambiguously without making additional assumptions. In the first case, to apply the classical Gauss method, one needs the third observation α_3, δ_3 made at a certain time t_3 , while in the second case, to use the classical Laplace method, observations $\ddot{\alpha}_i, \ddot{\delta}_i$ made at the moment t_i are necessary. Supposing that the asteroid is discovered at perihelion of its orbit (or near perihelion), where the condition $\vec{r} \cdot \dot{\vec{r}} = 0$ holds, it is possible to use the Väisälä method (Väisälä, 1939; Āiriķis, 1990). In the papers of Marsden (1991), Bowell a.o. (1989) the elliptical elements of orbits from two observations are calculated assuming that the values of semi-major axis a and eccentricity e are fixed. In our opinion the selection of pairs of the parameters $(a, e), (\alpha_3, \delta_3), (\rho_1, \rho_2)$ a.o. for the computation of elliptical elements of orbits is equivalent and it is depending upon method used for computation of elliptical elements of orbits. We notice too that the set of Väisälä's orbits contains

a circular orbit when sign of eccentricity e is changed (Lauceniĳks a.o., 1988; Lauceniĳks, 1993).

Our task is to show a way to obtain additional observations within the interval of visibility (approximately 1-2 months after the initial observations), enabling one to derive the preliminary elliptical orbit. As a solution of this problem, we introduce the following algorithm:

1) Values of geocentric distances $\rho_1^{(n)}$, $\rho_2^{(m)}$ (in the second case $\rho_1^{(n)}$, $\dot{\rho}_1^{(m)}$, respectively) are chosen arbitrarily, and elliptical elements $\{a^{(n,m)}, e^{(n,m)}, i^{(n,m)}, \Omega^{(n,m)}, \omega^{(n,m)}, M_0^{(n,m)}\}$ for the Keplerian orbit ($D^{(n,m)}$) are determined subject to condition that

$$A_1 < a^{(n,m)} < A_2 \quad \text{and} \quad e^{(n,m)} < E$$

(for near Earth objects $a^{(n,m)}(1 - e^{(n,m)}) < 1$).

2) For a certain moment t_k within the interval of visibility, the spherical coordinates $\alpha_k^{(n,m)}$, $\delta_k^{(n,m)}$ of the positions (search region Π_k) as well as velocities of their variation $\dot{\alpha}_k^{(n,m)}$, $\dot{\delta}_k^{(n,m)}$ are calculated for every orbit $D^{(n,m)}$. One can compute $\rho_k^{(n,m)}$, $\dot{\rho}_k^{(n,m)}$, $m_k^{(n,m)}$ a.o. values if it is necessary for identification.

3) Depending on organization and form of observations, a moving barrier is constructed, i.e. for a certain moment $t_{k+1} = t_k + \Delta t_1$ and suitable orbit $D^{(i,j)}$ the values

$$\alpha_{k+1}^{(i,j)} = \alpha_k^{(i,j)} + \dot{\alpha}_k^{(i,j)} \Delta t_1$$

$$\delta_{k+1}^{(i,j)} = \delta_k^{(i,j)} + \dot{\delta}_k^{(i,j)} \Delta t_1$$

are calculated. The quantity Δt_1 contains the time of exposure (or fixation of object) and the time of movement of instrument to some other place. A scan over these values ought to lead to the desirable result with great probability.

As an illustration we present a numerical example for minor planet C-553=1983RQ4 in form of tables and figures.

References

1. Bowell E., Chernykh N.S., Marsden B.G., 1989, Discovery and follow up of asteroids. Asteroids II, (edited by Binzel R.P., Gehrels T., Matthews M.S., University of Arizona, Tucson), p. 21 - 38.
2. Dirĳis M., 1990, On the use of Vaisālā's method for asteroid orbit determination (in Russian). Acta Universitatis Latviensis Nr.556, ser. Astronomy 18, p. 45 - 53.
3. Lauceniĳks L., Pavēnis A., Pāvila D., 1988, About computation of search ephemerides of minor planets (in Russian). Scientific papers of University of Latvia "Motion of celestial bodies", (ser. Astronomy 17), p. 127 - 137.
4. Lauceniĳks L., 1993, On parametrization of orbits and ephemerides. Acta Universitatis Latviensis Nr.586, ser. Astronomy 19, p. 24 - 37.

5. Marsden B.G., 1991 (1992), The recovery of asteroids after two observations. Asteroids, Comets, Meteors (edited by Harris A.W., Bowell E., Lunar and Planetary Institute, Houston), p. 395 - 398.
6. Väisälä Y., 1939, Eine einfache Methode der Bahnbestimmung. Mitt. der Sternwarte der Universität Turku, Nr. 1, 32 p.

Table 1. Observations of asteroid C - 553 = 1983 RQ4 (MPC 14018)

Nr.	Date	α	δ	Nr. obs.
1.	83 09 04.87510	22 ^h 10 ^m 32 ^s .91	-03 ^o 25'40".8	95
2.	83 09 06.86816	22 08 59. 04	-03 42 48.9	95
3.	83 09 09.88067	22 06 42. 44	-04 08 49.3	95
4.	83 09 15.91402	22 02 34. 94	-05 00 35.8	95

Table 2. Ephemerides computed from elements ^{*)} as derived from three observations (1,3,4) using classical Gauss method, with succeeding improvement from all observations obtained in the year 1983

t	α	δ	ρ
83 09 13	22 ^h 04 ^m .50	-04 ^o 36'	1.229
83 10 03	21 55.61	-07 10	1.316
83 10 23	21 58.61	-08 40	1.470
83 12 22	23 06.46	-05 48	2.088

^{*)} Elements: 83 09 03: $a = 2.47177$, $e = 0.16569$, $i = 0.1214$, $\Omega = 3.3544$,
 $\omega = 3.5670$, $M_0 = 5.4997$

Table 3. Ephemerides computed from two observations (1,2) using Väisälä's method (Diriğiş, 1990)

σ_2	a	e	83 10 03		83 10 23		83 11 02	
			α	δ	α	δ	α	δ
1.0	2.2318	0.1048	21 57.20	-07 01	22 02.72	-08 12	22 09.98	-08 17
1.2	2.3527	0.0661	21 56.15	-07 04	21 59.48	-08 24	22 05.40	-08 35
1.4	2.4276	0.0127	21 55.32	-07 06	21 56.87	-08 34	22 03.63	-08 51
1.6	2.4669	-0.0525	21 54.63	-07 07	21 54.70	-08 42	21 58.50	-09 05

Table 4: Ephemerides computed from two-parametric (ρ_1, ρ_2) elements (see table 5 in (Lauceniks, 1993)) derived from two observations (1,2) using method of parametrization

83 11 02				83 12 22			
ρ_1	ρ_2	α	δ	ρ	α	δ	ρ
0.900	0.898	22 ^h 12 ^m 6	-08°47'	1.116	23 ^h 33 ^m 5	-03°57'	1.513
	0.902	22 12.7	-08 14	1.246	23 24.9	-03 46	1.768
	0.904	22 12.7	-08 00	1.311	23 21.1	-03 42	1.895
	0.906	22 12.7	-07 47	1.375	23 17.6	-03 39	2.021
	0.911	22 12.8	-07 26	1.504	23 11.7	-03 35	2.272
1.225	1.223	22 04.0	-09 15	1.479	23 10.2	-06 05	1.919
	1.227	22 04.6	-08 48	1.607	23 04.6	-05 45	2.169*
	1.229	22 04.9	-08 36	1.671	23 02.2	-05 38	2.293
	1.231	22 05.2	-08 25	1.735	22 59.9	-05 31	2.416
	1.236	22 05.5	-08 06	1.863	22 55.5	-05 19	2.662
1.442	1.439	21 59.8	-09 29	1.716	22 57.7	-07 12	2.176
	1.444	22 00.6	-09 05	1.843	22 53.6	-06 49	2.422
	1.446	22 00.9	-08 54	1.906	22 51.8	-06 40	2.545**
	1.448	22 01.2	-08 44	1.970	22 50.2	-06 31	2.667
	1.452	22 01.8	-08 25	2.096	22 47.2	-06 16	2.910
1.658	1.656	21 56.4	-09 40	1.949	22 47.1	-08 08	2.425
	1.660	21 57.3	-09 18	2.075	22 44.2	-07 43	2.669
	1.662	21 57.6	-09 08	2.138	22 42.9	-07 32	2.791
	1.665	21 57.9	-08 59	2.202	22 41.6	-07 23	2.912
	1.669	21 58.6	-08 42	2.328	22 39.4	-07 05	3.154
1.875	1.873	21 53.6	-09 50	2.180	22 38.1	-08 56	2.670
	1.877	21 54.4	-09 30	2.306	22 36.0	-08 30	2.912
	1.879	21 54.9	-09 20	2.368	22 35.1	-08 18	3.032
	1.881	21 55.3	-09 12	2.431	22 34.2	-08 07	3.153
	1.886	21 56.0	-08 55	2.557	22 32.6	-07 48	3.393

*) almost true; **) almost circular.

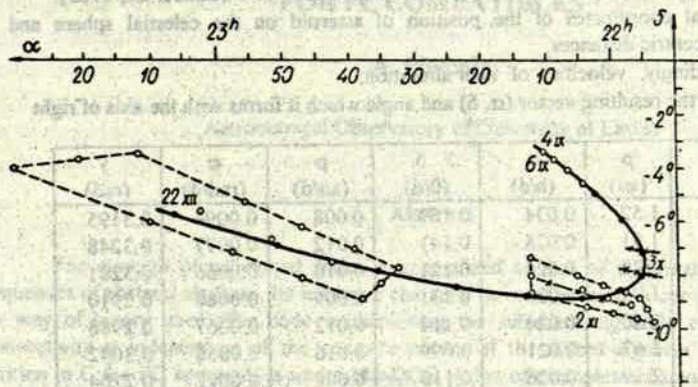


Fig. 1. Vicinity after discovery.

- visible, almost true trajectory of the asteroid,
- Väisälä's ephemerides (one-parametric);
- two-parametric search region.

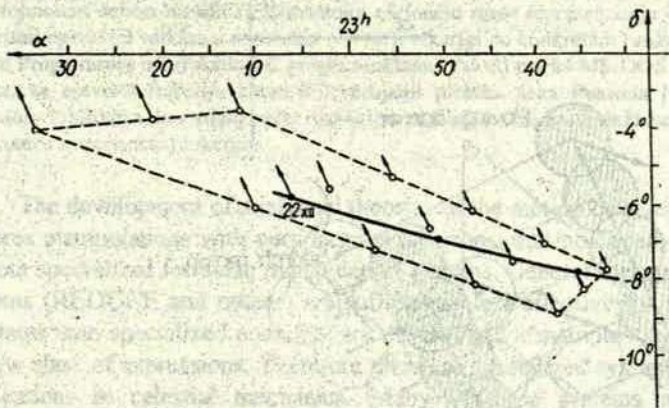


Fig. 2. Search region (for December 22, 1983) and field of vectors, which determine the change of search region.

Table 5. Search region $\Pi_k(\alpha_k^{(n,m)}, \delta_k^{(n,m)})$ characterizing values (for December 22, 1983):

- α, δ, ρ - spherical coordinates of the position of asteroid on the celestial sphere and corresponding geocentric distances;
- α, δ, ρ - correspondingly, velocities of their alteration;
- α, δ, γ - values of the resulting vector (α, δ) and angle which it forms with the axis of right ascension.

α	δ	ρ (au)	α (h/d)	δ (0/d)	ρ (au/d)	σ (rad/d)	γ (rad)
23. ^h 57	-3. ^o 93	1.52	0.034	0.169	0.008	0.0094	0.3195
23.36	-3.68	1.91	0.028	0.141	0.012	0.0077	0.3248
23.20	-3.57	2.28	0.024	0.121	0.016	0.0066	0.3281
23.17	-6.05	1.93	0.029	0.131	0.009	0.0080	0.2910
23.04	-5.60	2.30	0.024	0.114	0.012	0.0067	0.2988
22.94	-5.30	2.67	0.021	0.099	0.016	0.0058	0.3042
22.97	-7.16	2.19	0.026	0.110	0.009	0.0072	0.2704
22.87	-6.63	2.56	0.022	0.097	0.012	0.0062	0.2800
22.79	-6.24	2.92	0.019	0.087	0.016	0.0054	0.2869
22.79	-8.10	2.44	0.024	0.091	0.009	0.0065	0.2488
22.72	-7.51	2.80	0.021	0.083	0.012	0.0056	0.2599
22.66	-7.06	3.16	0.018	0.075	0.016	0.0049	0.2684
23.11	-5.77	2.10	0.027	0.123	0.010	0.0074	0.2962*

*) computed from elements as derived using Gauss method.

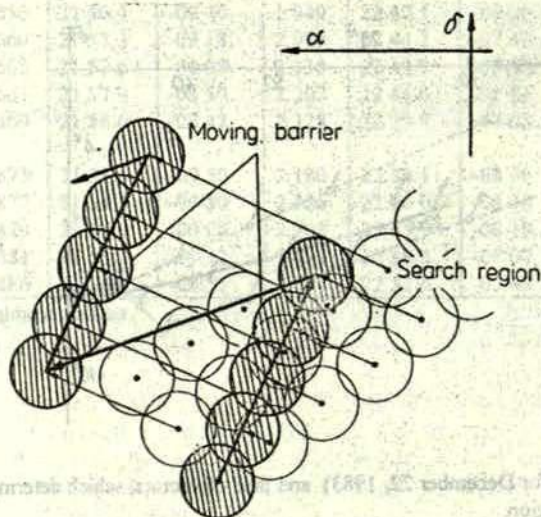


Fig. 3. On illustration for one of the possible cases of moving barrier.

**ESPC, A PROCESSOR OF ECHELONED SERIES
FOR PC COMPATIBLES**

A. Pavēnis

Astronomical Observatory of University of Latvia

Abstract

The concept of echeloned series is generalized as that of a formal structure covering sequences of abstract algebras. Its inductive character paves the way to a computer representation by way of binary trees. The code implementing the subjacent algebraic operations and their connectivity is independent of the concrete nature of the nested algebras. The programs are written in C for PC compatibles under MS-DOS. A list of examples substantiates the claim that the scheme widens the area of symbolic manipulations in celestial mechanics far beyond that of standard Poisson series. The specialized formulae manipulation system is developed in form of procedure library that contains various functions that can provide performing symbolical manipulations on different functions that appears in problems of celestial mechanics.

Kopsavilkums

Šajā darbā aplūkota specializēta analītisku pārveidojumu sistēma, kas izstrādāta pielietojumiem debess mehānikā, izmantojot ešelonedu rindu reprezentāciju bināro koku formā. Algoritmi operāciju veikšanai ar rindām nav tieši atkarīgi no konkrētām funkcijām, kuras ietilpst rindās. Programmas ir uzrakstītas C programmēšanas valodā priekš MS-DOS. Aplūkoti piemēri parāda, ka aptvertā funkciju klase ir ievērojami plašāka nekā Puasona rindas. Ir izveidota procedūru bibliotēka, kas atļauj veikt operācijas ar rindām, kas satur dažādas debess mehānikas uzdevumos sastopamas funkcijas.

The development of analytical theories of the motion of celestial bodies often requires manipulations with very large expressions, that practically cannot be done without specialized formulae manipulation systems. General formulae manipulations systems (REDUCE and others) are sufficiently less effective for solution of these problems than specialized ones that are developed for manipulations on some more narrow class of expressions. Therefore there are specialized systems worked out for applications in celestial mechanics. Many of these systems are intended for manipulation with Poisson series (UPP [2], MAO [9], PSPC [1], etc.). The class of Poisson series often is insufficient for solution of some problems. Therefore an attempt to develop specialized formulae manipulation system that allows to use symbolically different special functions that appears in celestial mechanics was done.

Let $(E_i)_{0,1,n}$ be a finite family of sets. The elements of E_0 are called *echeloned series* if (i) for $0 \leq i \leq n$, E_i is a commutative ring, and (ii) for $0 \leq i < n$, E_i is an algebra over the ring E_{i+1} . The terminology was coined by Deprit to designate very special series appearing in Lunar Theory [3]. Rom [10] gave an account of the software package he had composed to handle the nesting starting with the algebra E_0 of multivariate Fourier series over the algebra E_1 of multivariate polynomials with coefficients in an algebra E_2 of certain types of simple fractions over numeric field E_3 . Nowadays, transcending the narrow context in which Deprit and his collaborators operated, one would rather refer to echeloned series as elements in a set E_0 at the head of an algebra nesting. For a review of processors made for concrete algebra nestings, the reader is directed to ([2]), [5]).

We have taken a more abstract standpoint. We have established the software framework representing the category of algebra nestings for unspecified rings. The operations which endow E_i with the structure of a ring and that of algebra over E_{i+1} are coded in generic fashion. The approach, we have just learned, is reminiscent of that taken by Deprit and Miller [4]. They work in LISP on unusual work stations. For our part, quite independently from them, we began some years ago in assembler language on a main frame IBM 370 [8]. Later on we turned to C as our programming language, and pursued the advancement of our ideas on PC compatibles under MS-DOS.

We have managed to leave the user full liberty to individualize the rings and algebras entering a concrete nesting. This way, instead of forcing the solution of a problem in the format of Poisson series, we offer the option of extracting from the problem the algebra nesting it calls for naturally. Then code the specificities and bring the bundle of particulars to the kernel of our system; it will take care of the articulations. Unbeknown to us, we have espoused the programming philosophy that presided over the edification of AXIOM [6]. In difference from this approach we focused exclusively on echeloned series, that allowed to reach higher effectivity.

The series we use can be represented in the following general form (a part of multiindexes are omitted):

$$\begin{aligned} S &= C_0^{(0)} = C_0^{(1)} + \sum_{i_1} C_{i_1}^{(1)} F_{i_1}^{(1)} \\ C^{(k)} &= C^{(k+1)} + \sum_{i_{k+1}} C_{i_{k+1}}^{(k+1)} F_{i_{k+1}}^{(k+1)} \\ 0 &< k < n \end{aligned} \quad (1)$$

where $C^{(k)}$ and $F^{(k)}$ ($0 < k < N$) are coefficients and functions of k -th level. $C^{(N)}$ are numerical coefficients. (1) can be written in a different form:

$$\begin{aligned}
 S &= C_0^{(0)} = C_0^{(N)} + \sum_{p=1}^N \sum_{l_1} C_{l_1}^{(p)} F_{l_1}^{(p)} \\
 C_0^{(k)} &= C_0^{(N)} + \sum_{r=1}^{N-k} \sum_{l_{k+1}} C_{l_{k+1}}^{(k+r)} F_{l_{k+1}}^{(k+r)} \quad (2) \\
 0 < k < n
 \end{aligned}$$

Echeloned series are represented internally as binary trees. The algorithms developed do not determine the exactly the kind of functions $F^{(k)}$ and $(k=1, \dots, N-1)$, the series contain. This approach allows us to use expressions that contains various functions of celestial mechanics: the inclination functions $F_{m_1}(I)$, the Hansen coefficients $F_p^{n,m}(e)$ and others.

The kernel part of the system performs basic manipulations on series and calls user supplied functions for manipulations on representation of functions the series contain. The kernel can be divided into two mutually interacting parts:

- the subsystem that builds new series;
- the subsystem that provides basic manipulations on series and sends commands to series building subsystem to obtain result.

Binary operations on series (multiplication, addition, subtraction) are realized in form of recursive procedures. Most of unary operations (for example finding derivative of sery) can be realized by scanning argument and replacing nodes that represents elements of one of the functions types with some expression. To add a new function to the formulae manipulation system it is necessary to write procedures that defines basic manipulations on representations of these functions:

- how to find product of two these functions;
- how to find derivative of specified function with respect to one of argument;
- how to represent these functions on listing.

This list is of course not full because of user can provide his own manipulations on functions he introduces.

For example the expansion of the 2-nd zonal harmonic of gravitational field

$$\begin{aligned}
 R_{2,0} &= J_2 \frac{f m R_0^2}{a^2} \left(\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin^2 I \right) X_0^{-2,0} + \frac{1}{4} \sin^2 I \cdot X_{-1}^{-2,2} \cos(M - 2\omega) + \right. \\
 &+ \left(\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin^2 I \right) X_1^{-3,0} \cos M + \frac{1}{4} \sin^2 I \cdot X_1^{-3,2} \cos(M + 2\omega) \right) \cdot \\
 &+ \frac{1}{4} \sin^2 I \cdot X_{-2}^{-3,2} \cos(2M + 2\omega) + \dots \quad (3)
 \end{aligned}$$

can be represented as the following binary tree:

$$\begin{array}{ccccccc}
 \int_1 \frac{\sin R^2}{a^2} & & & & & & \\
 \downarrow & & & & & & \\
 X_1^{1,0} & \rightarrow & \cos(M-2\omega) & \rightarrow & \cos(M) & \rightarrow & \cos(M+2\omega) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 1/2 & \rightarrow & X_1^{1,2} & & X_1^{1,2} & & X_1^{1,2} \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & -3/4 & & 1/2 & \rightarrow & \sin^2 1 \\
 & & & & & & \downarrow \\
 & & & & & & -3/4 \\
 & & & & & & 3/4
 \end{array} \quad (4)$$

The full form of trees is being used while building new series when performing some operation. In the second form all direct pointers to other nodes are removed and only types of each node are left. Both forms are equivalent because the ordering of these types is introduced. The second form is being used for holding series.

Acting ourselves like users, we have adjoined to our system procedures to include several algebras:

- the domain of free algebras generated by finite family of symbols, and their tensor products (embodied as sets of subscripted variables);
- trigonometric functions which arguments are linear combinations of elements of a ring with integer coefficients: $\sin(\sum_k X_k)$ and $\cos(\sum_k X_k)$;
- the product of integer powers of previously defined arguments: $\prod Y_k^k$;
- the integer powers of linear combination of frequencies with integer coefficients $(\sum_k \omega_k)^N$ and their products;
- partial derivatives of frequencies with respect to orbital elements (e.g. $\frac{d^2 \omega_1}{da \cdot de}$) and their products;
- the set of Hansen coefficients $X_r^{s,m}(e_k)$ as they appear in the development of functions of variables for elliptic Keplerian orbits and their derivatives;
- the set of Hansen inclination coefficients $F_{rs}(i_k)$ and their derivatives;
- numeric coefficients $C^{(N)}$ are treated as rational numbers if their numerator and denominator fits in 32-bit integer numbers, otherwise floating point numbers are being used automatically.

The list is by no means exhaustive, quite the contrary. It is meant to suggest the wide range of possibilities of an abstract approach to symbolic processors in celestial mechanics and other areas of applied mathematics.

The first version of this system was developed mainly in ASSEMBLER language on IBM/370 system computer and worked under operating system VM CMS. A comparison of this version and Poisson series processor UPP was done for

iterative solution of Kepler equation. The tests showed that our system has approximately 2-3 times higher effectiveness than UPP for similar problem.

The second sufficiently improved version of this specialized formulae manipulation system was developed in C language for IBM PC compatibles. The memory requirements were sufficiently reduced for a new version, so it is slim enough to work even in real mode under MS-DOS, although the size of all expressions can sufficiently exceed 640K limit, because of XMS and disk is being used for swapping. The only CPU dependent part of this package was realization of arithmetic manipulations on numeric coefficients. Therefore we think that to port this system to other platforms it is necessary to rework rather small part of this system.

As another test a building of the canonical transformation was chosen averaging the Hamiltonian of the motion in the field of 2-nd zonal harmonic up to 4-th order. Hori-Deprit method was being used here. In this example the following functions were introduced:

- symbolic constants fm, R_0, J_2 and products of their integer powers;
- integer powers of $n_0 = \sqrt{\frac{fm}{a^3}}$, a ;
- trigonometric functions of $k_1 M + k_2 \omega$;
- divisors $(k_1 M + k_2 \omega)^n$;
- inclination functions (and their derivatives);
- Hansen coefficients (and their derivatives);

As the third test we obtained a generating function of second order Kozai theory [7]. This example required more complicated manipulations on series than previous ones, because expressions contained explicitly true anomaly and geocentric distance, but we had to compute derivatives with respect of Delaunay canonical elements.

References

1. Abad A., San-Juan J.F. 1994, "PSPC: A Poisson Series Processor Coded in C", in proceedings of conference "Dynamics and Astrometry of Natural and Artificial Celestial Bodies, Poznan, Poland, 1993", pp. 383-388.
2. Brumberg V.A., Tarasevitch S.V., and Vasiliev N.N.:1988, "Specialized celestial mechanics systems for symbolic manipulations", *Celest. Mech.* Vol.45, pp. 149-162.
3. Deprit A., Henrard J. and Rom A.: 1970, "Analytical Lunar Ephemeris: Brouwer's Suggestion", *Astronomical Journal*, Vol. 75, pp. 747-750.
4. Deprit A. and Miller B.: 1988, "Simplify or perish", *Celest. Mech.*, Vol. 45, pp. 189-200.

5. Henrard J.: 1988, "A survey of Poisson series processors", *Celest. Mech.*, Vol. 45, pp. 245-253.
6. Jenks R.D. and Sutor R.S.: 1992, AXIOM. The scientific Computation System. NAG, Oxford UK and Downer's Grove, IL USA.
7. Kozai Y.: 1962, "Second-Order solution of Artificial Satellite Theory without Air Drag". *The Astron. J.*, Vol. 67, pp. 446-461.
8. Pavénis A.: 1990, "On the execution of analytical operations with echeloned series by computer", *Acta Universitatis Latviensis*, Vol. 556, (Motion of celestial bodies), pp. 16-21 (in Russian).
9. Rom A.: 1970, "Mechanized Algebraic Operations (MAO)", *Celest. Mech.*, Vol. 1, pp. 301-319.
10. Rom A.: 1971, "Echeloned Series Processor (E.S.P.)", *Celest. Mech.*, Vol. 3, pp. 331-345.

INTEGRATING SOFTWARE TOOLS FOR SLR OBSERVATION SUPPORT

K.Salminsh¹, R.Neubert²

¹ Astronomical Observatory of University of Latvia

² GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany

Abstract

We describe in this article a way to improve software usability at SLR (Satellite Laser Ranging) station by creating a user friendly shell, designed to improve and streamline interface for common tracking procedures and integrate existing software into unified system, while keeping changes to existing programs to minimum. Such a system LPAD was successfully introduced at SLR station GFZ-Potsdam, Germany.

Kopsavilkums

Darhā apskatīta iespēja uzlabot ZMP novērošanas stacijas programmatūras ekspluatācijas īpašības, izveidojot speciālu lietotāju čaulu, kura ļauj apvienot jau esošās programmas vienotā sistēmā, veicot tajās tikai minimālas izmaiņas. Šāda sistēma tika izstrādāta un ieviesta ekspluatācijā GFZ-Potsdam.

One of the disadvantages of current SLR technology when compared to other contemporary space geodesy techniques, such as GPS, PRARE or DORIS is a lower standardization level of observing equipment and tracking support software. Also currently there is necessity of the human operator presence not only to make observations, but also to perform post tracking data analysis before sending it to coordinating center. The software used in many SLR stations shows the same diversity as a hardware. Our experience shows that in single place in active use can be programs from different sources written in different programming languages (FORTRAN, C, Basic to name a few). Some of them are inherited from elder and less capable minicomputers and have primitive and often incompatible user interfaces. This situation seems to be quite common to many SLR stations [1]. Today's requirements for managing SLR networks have made access to INTERNET or any other international data exchange network at SLR station essential for fast result delivery [2]. The existing mix of different programs together with observed data handling creates serious maintenance problems for station operators. The radical solution is to rewrite all programs from scratch, but in many cases the required time and resources to do it is unacceptably high. This paper shows a particular solution for increasing routine tracking efficiency by improving existing station soft-

ware usability and reducing time requirements for interpass activities while preserving existing programs from radical changes.

Work recently carried out at Astronomical Observatory together with SLR team at GFZ-Potsdam demonstrates one possibility to improve the situation. The basic idea was to design a user friendly software shell, which will serve as a front end to existing applications, offering modern user interface, easy access to common tracking and SLR data handling tasks while hiding much of the complexity caused by using many different programs. Basic shell features are:

- The use of a global configuration file for storing data related to one or more programs and containing information about satellites, tracking parameters, station coordinates and location of the data files. The configuration file is maintained by the shell, so the change in configuration is taking effect to behavior of all related programs. It is possible to change configuration information by loading different configuration files allowing to use more than one set of programs. Such flexibility is very useful during new program testing process.
- Ability to use user defined programs to perform tracking and other associated tasks for SLR support.
- Utility functions - configuration file editing, report generation, data sending and receiving via INTERNET, etc.

The main advantage of this approach is preserving the already existing programs from radical changes, if any. Our experience shows, that the changes were marginal, mostly related with use of global configuration files and passing information from shell to other programs. This approach allows to adapt new shell features gradually while offering modern user interface with mouse support, pull down menus and on-line help. As an example, the user is able to select a group of passes via mouse or keyboard and quickly generate predictions with EUROLAS integration package (supplied by RGO) or any other defined in configuration, run tracking program for selected pass, prepare full rate reports and perform all other tasks, associated with satellite tracking. The only requirement for programs to operate under shell, is to use compatible data files and exploit global configuration files. Current implementation of this shell operates under PC-DOS/MS-DOS and was written in Borland C++ using Turbo Vision application framework. Eventual future enhancements may include better support for network use, ability to communicate with other programs (e.g. network software), when running under modern operating systems such as OS/2 or MS-Windows/NT.

Conclusions. After many months of everyday use, experience gathered at GFZ-Potsdam shows that the current implementation fulfills the initial requirements and considerably improved the tracking efficiency.

Acknowledgments.

This work was carried out under research and development contract 1394 between AO LU and GFZ-Potsdam.

References.

1. R.L.Ricklefs, J.Cheek, J.F.McGarry, 1992. "Upgrading NASA/DOSE Laser Ranging System Control Computers", in Proc. *Eighth Int. Workshop on Laser Ranging Instrumentation*. Annapolis, Maryland, USA
2. A.Novotny, 1992. "Computer Networking at SLR Stations", in Proc. *Eighth Int. Workshop on Laser Ranging Instrumentation*. Annapolis, Maryland, USA

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ "АЛТ-АЛТ"
МОНТИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА
УЛИС · РИГА

А.Стойков

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

The results of one experimental investigation of angular accuracy of SLR telescope ULIS-Riga pointing to defined point in the sky are given. Influence of some rest systematic errors to angular accuracy is presented. Possible errors' sources such as deformations of mechanical "alt-alt" mount are taken into account in mathematical model of SLR station. The distribution of behavior of angular accuracy is demonstrated by results of measures of 450 stars' positions. This model can be useful in future applications of unvisual mode satellite tracking for this station.

Kopsavilkums

Rakstā apskatīti lāzerteleskopa ULIS-Riga pozicionēšanas leņķiskās precizitātes eksperimentālās izpētes rezultāti. Konstruēts šī teleskopa montējuma matemātiskais modelis. Analīzē izmantoti 450 zvaigžņu pozīciju mērījumi.

Специфика вопроса ориентации "алт-алт" монтировки для астрономических и лазерных наблюдений искусственных спутников Земли связана с особенностью ее координатной системы, привязанной к самому инструменту и, в общем случае, не совпадающей с никакой из распространенных астрономических систем. Исходя из соображения, что ее можно рассматривать как полученную из горизонтальной системы координат посредством поворота на $\frac{\pi}{2}$ ее рабочей плоскости с положительным направлением оси z в сторону наблюдателя, будем называть такую систему вертикальной. На рис.1 она показана вместе с горизонтальной системой. Связь между ними, используя полярные координаты, дается как:

$$\cosh \cos A = \sin \varphi \cos \psi \cos A_0 - \sin A_0 \sin \varphi$$

$$\cosh \sin A = \cos \varphi \cos \psi \sin A_0 + \cos A_0 \sin \varphi, \quad \varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]; \psi \in [0; \pi]; \quad (1)$$

$$\sinh = \cos \varphi \sin \psi$$

Формулы связи (1) оказываются весьма удобными в процессе ориентации "алт-алт" монтировки. В первом приближении, чтобы определить A_0 , достаточно определить координаты Полярной звезды αUMi $[\varphi, \psi]$ и использовать (1).

Дальнейший процесс ориентации происходит с использованием удачно выбранной математической модели, учитывающей возможные физические

источники погрешности наведения и адекватно описывающей поведение реальной монтировки.

Ориентация "алт-алт" монтировки УЛИС - РИГА производилась на базе уже созданных моделей [1], [2], апробированных на подобной системе в Болгарии, в Обсерватории космической геодезии ПЛАНА, с 6 и 8- угловыми параметрами, соответствующими некоторым механическим и оптическим дефектам системы, с помощью которых была достигнута точность наведения на заданную точку небесной сферы 12-15 arcsec. Эта величина была вполне достаточна для целей лазерной локации ИСЗ в свое время (1987-1989 г.). В отличие от моделирования ориентации и калибровки наведения в Болгарии, где выбирались наблюдения 32-35 равномерно распределенных звезд рабочего диапазона лазерного дальномера, в Риге степень автоматизации станции позволила получить выборку из 450 звезд. Они выбирались как по малым кругам через каждые 10 градусов по высоте, так и по большим кругам, проходящим через зенитную область и соответствующим вращению по осям ϕ и ψ ширине полосы 5-8 градусов. Перед наведением по каждому из кругов звезд, телескоп точно выставлялся начиная с одной выходной позиции в зените. Таким образом, был собран достаточный объем данных, который дал возможность провести углубленное исследование в этом направлении.

На первом этапе по наблюдениям Полярной звезды αUMi в координатах ϕ и ψ и согласно (1) была определена величина A_0 в первом приближении. Дальше, используя также (1), вычисленные видимые места в координатах $[A, h]$ перевычислялись в координаты $[\phi, \psi]$. На рис.2 дано распределение наблюдаемых звезд в поле зрения оптической системы. Концентрические круги в сетке окуляра чередуются через каждые 1 мин. дуги, внутри самого маленького круга с $\omega = 1'$ они чередуются через каждые $\delta\omega = 10$ arcsec. Ориентация поля зрения в главном телескопе ΔV (в вертикальном направлении) и ΔH (в горизонтальном направлении) относительно изменения ϕ и ψ дается как:

$$\begin{aligned} \Delta\phi' &= m(-\Delta H \sin\gamma_1 + \Delta V \cos\gamma_1) \\ &\quad \cos\gamma_1, \\ \Delta\psi' &= m(\Delta H \cos\gamma_1 + \Delta V \sin\gamma_1) \quad (2) \\ \gamma_1 &= \phi_1 + \psi_1 - \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

где m - масштабный коэффициент.

На рис.2, 3, 4, 5 для удобства рассматривания поле ориентировано таким образом, что изменения $\Delta\phi$ происходят в горизонтальном, а $\Delta\psi$ в вертикальном направлении. Рис.2 дает первоначальное распределение наблюдаемых звезд после линейной коррекции по обеим осям с целью их попадания в поле зрения телескопической системы ($2\omega \approx 20'$). Невязки в этом начальном приближении для каждой из осей соответственно $\sigma_{\phi} \approx 2$ угл. мин.,

$\sigma_{\psi} \approx 2$ угл. мин. Рис.6 дает представление о функциональных зависимостях остаточных разниц ОС:

$$\Delta\varphi = f(\varphi), \Delta\psi = f(\varphi), \Delta\varphi = f(\psi), \Delta\psi = f(\psi).$$

Здесь видно преобладающее рассеяние по оси ψ . Следующим этапом являлось использование 6-параметрической модели [1], описывающей влияние основных механических и оптических дефектов (остаточных после юстировки главной оптической системы телескопа), таких как существование наклона оси вращения ψ относительно $Oz - p_1$, неперпендикулярность двух осей вращения φ и $\psi - p_2$, коллимация главной оптической системы p_3 , несовпадение нулевых пунктов с зенитом по обеим осям p_4, p_5 и неточность определения $A_0 - p_1$. Сама модель дается как:

$$\Delta\varphi' = -\cos\varphi\Delta p_1 + \sin\psi\Delta_2 + \Delta p_3, \quad (3)$$

$$\Delta\psi' = -\sin\psi\Delta p_1 - \cos\psi\Delta p_2 + \sec\varphi\Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5.$$

Впервые вид (3) получен в [1] путем решения системы условных уравнений, полученных из разложения $\Delta\varphi$ и $\Delta\psi$ по малым приращениям Δp_i .

$$\Delta\varphi = \sum \frac{\partial\varphi}{\partial p_i} \Delta p_i, \quad \Delta\psi = \sum \frac{\partial\psi}{\partial p_i} \Delta p_i, \quad (4)$$

Рис.3 дает распределение наблюдаемых звезд в поле зрения уже после применения 6-параметрической модели. Соответственно $\sigma_{\varphi} = 12$ arcsec и $\sigma_{\psi} = 30$ arcsec. Этот результат дает гарантированное попадание наблюдаемых звезд в 1 мин. угловое поле главного телескопа. Анализируя распределение остаточных разниц ОС, представленных на рис.7, приходим к заключению о существовании корреляции при $\Delta\varphi = f(\varphi)$, $\Delta\psi = f(\psi)$, т.е. после действия модели остались однопеременные корреляции для ошибки по обеим осям. Особо сильно она выражена по оси ψ , где рассеяние почти в 2.5 раза больше. Этого следовало ожидать, учитывая, что 6-параметрическая модель учитывает дефекты механики, юстировки и привязки, но не учитывает дефекты нелинейного характера, такие как гнутые трубы телескопа и осей монтировки, эксцентриситеты редукторных механизмов. Как описать влияние этих эффектов на ошибку наведения телескопа, рассмотрено в [2], где предлагается расширенная модель. К сожалению, добавление параметров, учитывающих ошибки нелинейного характера вида $\sin\varphi p_i$ и $\sin\psi p_i$, которые уже дали результат на УЛИС-Болгария, здесь не сработали эффективно.

Следуя логике подхода моделирования в [2], мы решили исследовать зависимости типа $\cos\varphi p_i$ и $\cos\left(\frac{2\psi + \pi}{2} p_i\right)$ (учитывая диапазон изменения ψ). Т.е. (3) уже переходит в вид:

$$\Delta\varphi' = -\cos\varphi\Delta p_1 + \sin\psi\Delta_2 + \Delta p_3 + \cos(2\varphi)\Delta p_4,$$

$$\Delta\psi' = -\sin\psi\operatorname{tg}\varphi\Delta p_1 - \cos\psi\operatorname{tg}\varphi\Delta p_2 + \sec\varphi\Delta p_3 + \operatorname{tg}\varphi\Delta p_4 + \Delta p_5 + \sin(2\psi)\Delta p_6, \quad (5)$$

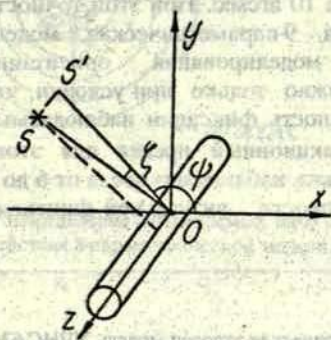


Рис.1. Сравнение вертикальной и горизонтальной топоцентрической системы.

Результат апробирования этих двух возможных функциональных зависимостей иллюстрирует рис.4., где наблюдается чувствительное уменьшение рассеяния отклонения наблюдаемых звезд относительно центра поля зрения по обеим осям. Здесь $\sigma_{\varphi} = 8,6 \text{ arcsec}$; $\sigma_{\psi} = 14,2 \text{ arcsec}$. Рассматривая распределение остаточных разниц ОС (рис.8), можно сделать вывод, что расширение модели эффективно подействовало, и что остается почти незаметная корреляция при $\Delta\psi = f(\psi)$.

Следуя вышеупомянутой логике и из эвристических соображений относительно поведения реальной механики и оптики системы телескопа, по оси ψ апробирован еще один дополнительный параметр, учитывающий возможную функциональную зависимость $\Delta\psi = \sin(4\psi)p_6$. Действие этого дополнительного параметра модели изображено на рис.5 и рис.9. Несмотря на то, что особое уменьшение невязки по обеим осям не произошло ($\sigma_{\varphi} = 8,2 \text{ arcsec}$ и $\sigma_{\psi} = 13,6 \text{ arcsec}$) по сравнению с 8-параметрической моделью, рассеяние по оси ψ настолько уменьшилось, что почти все 450 наблюдаемых звезд входят в круг поля зрения $\omega = 20 \text{ arcsec}$. Эта величина, при данных параметрах коллимирующей телескопической системы дальномера, фокусировке на бесконечность и минимальной дивергенции зондирующего лазерного пучка $\sim 25\text{-}30 \text{ arcsec}$, гарантирует его попадание на поверхность ИСЗ (подразумевается, что параллельность излучающего и приемного каналов отъюстирована и сохраняется по всему рабочему диапазону дальномера).

На рис.10, для улучшения представления изменения величины ошибки наведения по всему рабочему диапазону, даны 3-мерные изображения $\Delta\varphi = f(p_1, p_2, \dots, p_9, \varphi, \psi)$, $\Delta\psi = f(p_1, p_2, \dots, p_9, \varphi, \psi)$ согласно полученной конечной модели из 9 параметров ($x \equiv \varphi$, $y \equiv \psi$). Явно выраженную ассиметрию поверхности ошибки для оси ψ можно объяснить несимметричностью конструкции системы относительно этой оси вращения и, с другой стороны, существованием заметного эксцентриситета приводного

механизма. Последний эффект, видимо, присутствует и по другой оси, но в меньшей степени.

В наблюдениях выбирались звезды до 6 звездной величины. Это связано с небольшой обнаружительной способностью телевизионной камеры телескопа. Точность единичного измерения положения дифракционного диска изображения в центре поля зрения была порядка 10 arcsec. При этой точности фиксации можно считать, что последняя 9-параметрическая модель исчерпывает возможности продолжения моделирования ориентации монтировки. Дальнейшее моделирование возможно только при условии, что приемная система позволяет реализовать точность фиксации наблюдаемых звезд не менее 1,5-2 arcsec (обычный дифракционный предел для этого диаметра телескопа 600 мм). Можно рекомендовать наблюдения звезд от 6 до 8 звездной величины с целью уменьшения погрешности визуальной фиксации центра изображения.

Литература

1. Стойков А., Димитрова М., Жагар Ю. Шестипараметрическая угловая модель УЛИС-630. Международный научный семинар "Лазерные спутниковые дальномеры II го поколения", София, 26.30. 05. 1986.
2. Стойков А. Расширенная угло-параметрическая модель УЛИС-630: анализ экспериментальных результатов калибровки станции УЛИС по опорным звездам. Acta Universitatis Latviensis Nr.586, ser. Astronomy 19, Riga, 1993.

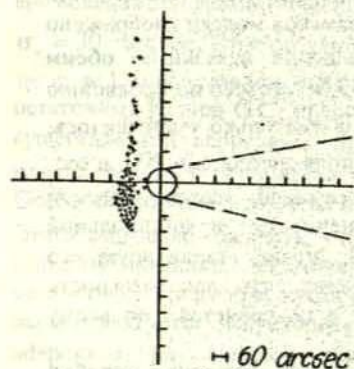


Рис. 2. Первоначальное распределение наблюдаемых звезд в поле зрения телескопа.

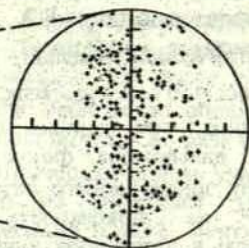


Рис. 3. Распределение тех же звезд после действия 6-параметрической модели.

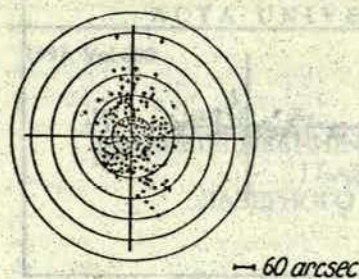


Рис.4. Распределение наблюдаемых звезд после действия 8 параметрической модели.

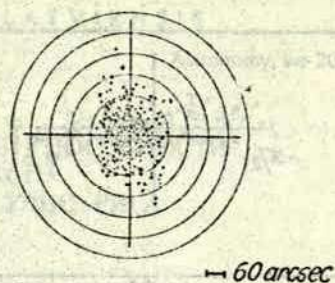


Рис.5. Распределение наблюдаемых звезд после действия 9 параметрической модели.

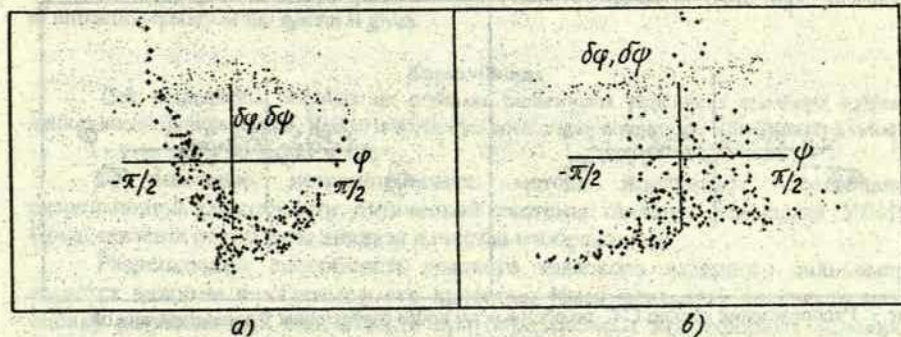


Рис.6. Первоначальное распределение разниц ОС по обем осям до применения модели.

а) • $\delta(\varphi) = f(\varphi)$; + $\delta(\psi) = f(\psi)$

б) • $\delta(\varphi) = f(\psi)$; + $\delta(\psi) = f(\psi)$

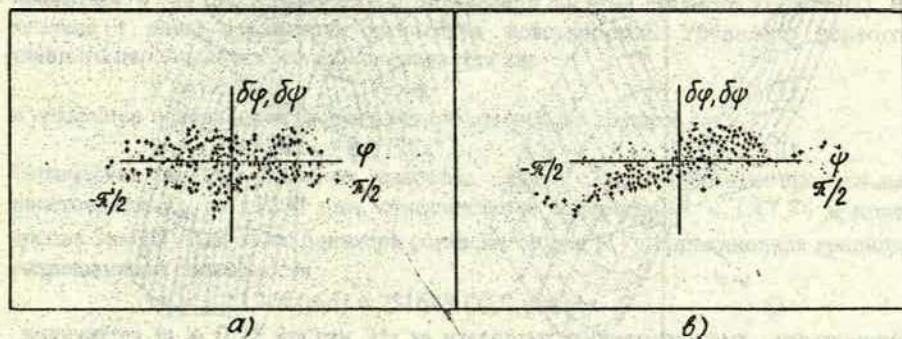


Рис.7. Распределение разниц ОС по обем осям после применения 6 параметрической модели.

а) • $\delta(\varphi) = f(\varphi)$; + $\delta(\psi) = f(\varphi)$

б) • $\delta(\varphi) = f(\psi)$; + $\delta(\psi) = f(\psi)$

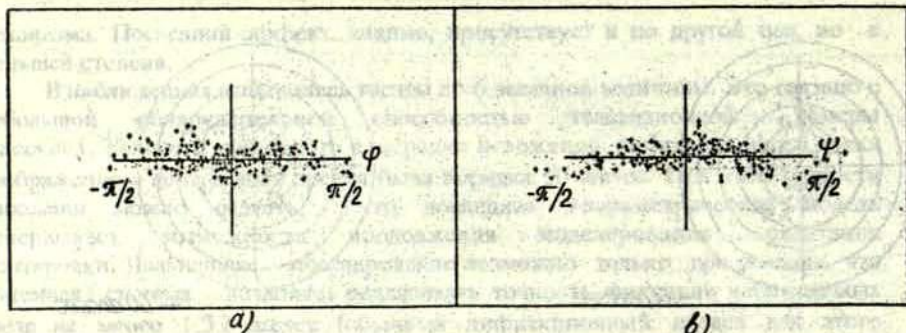


Рис.8. Распределение разниц О-С по обеим осям после применения 8-параметрической модели.

а) • $\delta(\varphi)=f(\varphi); + \delta(\psi)=f(\varphi)$

б) • $\delta(\varphi)=f(\psi); + \delta(\psi)=f(\psi)$

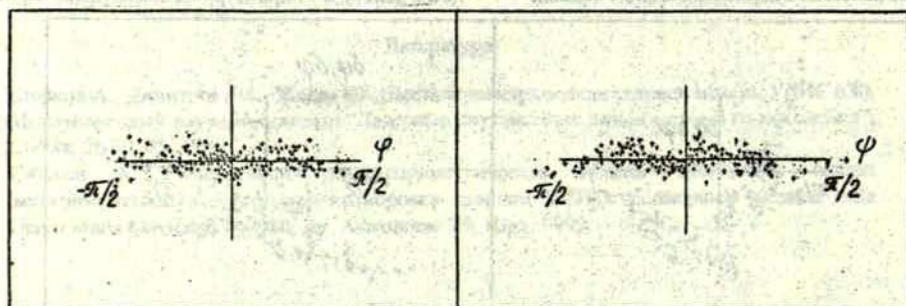


Рис.9. Распределение разниц О-С по обеим осям после применения 9-параметрической модели.

а) • $\delta(\varphi)=f(\varphi); + \delta(\psi)=f(\varphi)$

б) • $\delta(\varphi)=f(\psi); + \delta(\psi)=f(\psi)$

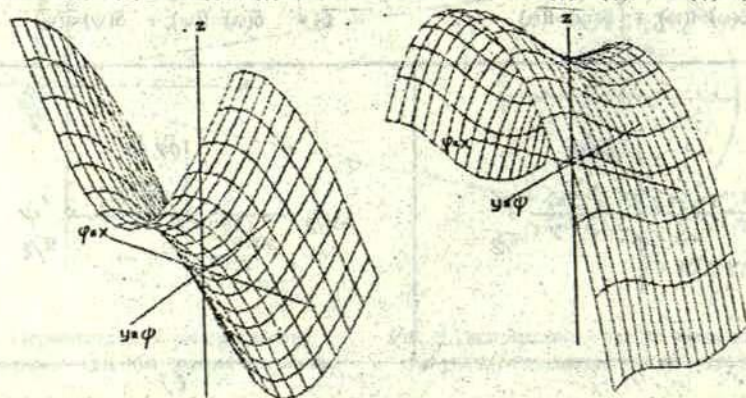


Рис.10. Поверхности ошибки $\Delta\varphi=f(r_1, r_2, \dots, r_9, \varphi, \psi)$, $\Delta\psi=f(r_1, r_2, \dots, r_9, \varphi, \psi)$, $\varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$, $\psi \in [0; \pi]$ 9-параметрической модели.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ГЛАВНОГО ТЕЛЕСКОПА
ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА УЛИС - РИГА

А.Стойков

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

An original and practical method of star observation is applied to find some aberrations of the main Coude optical telescope system of satellite laser ranging system ULIS-Riga. An analysis of diffraction quality of the system is given.

Kopsavilkums

Tiek demonstrēts oriģināls un praktiski pielietojams paņēmieni teleskopa galvenās optikas aberāciju noteikšanai. Veiktā izšķirtspējas analīze ļauj noteikt optiskās sistēmas kvalitāti.

С помощью нетрадиционного метода проведено исследование разрешающей способности оптической системы главного телескопа УЛИС. Представлены результаты анализа качества изображения.

Разрешающая способность главного телескопа лазерного дальномера является важным показателем его качества. Имея реальную количественную оценку разрешающей способности при определенных атмосферных условиях, можно судить насколько точно изготовлены сами оптические поверхности, какова точность юстировки и проникающая сила телескопа. У главного телескопа лазерного дальномера УЛИС имеются две асферические поверхности (на рис.1 отображена оптическая система главного телескопа). В таблице 1 даны параметры оптических поверхностей. Уравнение первого главного параболического зеркала задается как:

$$y^2 = 6400x^2, \quad (1)$$

а уравнение поверхности второго гиперболического зеркала как:

$$y^2 = -1866.667x + 0.7778x^2. \quad (2)$$

Оптическая система главного телескопа - Куде с эквивалентным фокусным расстоянием $f_{\text{экв}} = 11200$ мм, относительное отверстие $A = 1:17.78$ и поле зрения $2\omega = 20'$. Для этого диаметра согласно теории [1] дифракционная граница разрешающей способности

$$\psi_r = 1.22 \lambda/d \text{ [rad]} = 251643 (\lambda/d) \text{ угл.сек.} \quad (3)$$

получается $\psi_r = 0.22$ угл.сек. Из за известных наблюдательных ограничений [1], таких как уширение звездных изображений атмосферной турбулентностью и мерцания, нам не удастся измерить ψ_r меньше чем 1 угл.сек., если не применяются методы компенсации атмосферных искажений. Эта величина типична для больших телескопов в действительно хороших местах наблюдений (к сожалению, Рига не является таким местом).

Для определения разрешающей способности телескопа был использован тот же метод, который уже применялся в 1986 году при проведении исследования первой модели ЛД-УЛИС в Болгарии. Сущность метода состоит в измерении местоположения фокуса для нескольких радиальных зон телескопической системы при помощи кольцевых диафрагм. Далее следует вычисление кривых продольной и поперечной абберации системы и их сравнение с теоретическими кривыми. Метод является модифицированным методом Гаргмана, учитывая, что здесь вносится дополнительная субъективная ошибка наблюдателя. При этом недостатке метод дает быстрое и с достаточной точностью приближенное представление о разрешающей способности системы.

Для уменьшения субъективной погрешности наблюдателя проводились наблюдения двух звезд - Полярной α Umi и слабой звезды из Полярного ряда, и положения фокуса измерялись десять раз в каждой зоне. В табл.3 даны результаты измерения положения фокуса F для шести зон шириной $\delta r = 33 \text{ мкм}$. В четвертом столбике даны разницы $\delta_i = F_i - F_m$. Исходя из геометрического смысла определения поперечной абберации $s_i - \delta_i$ и соответственно по определению для поперечной абберации $h = stg\alpha$ дано в пятом столбике. Линии поперечной абберации в обоих случаях изображены на рис.2 и рис.3 соответственно для α Umi и слабой звезде (звезда 2). Для визуализации использована квадратичная аппроксимация вычисленных результатов поперечной абберации. Погрешность определения положения фокуса равна $\sigma = 1 \text{ мм}$, которая соответствует ошибке $\sigma_h = 0.025 \text{ мм}$ в определении кривой поперечной абберации. При параметрах главного телескопа ЛД-УЛИС, одной угловой секунде в поле зрения соответствует линейный размер 0.050 мм в фокальной плоскости. Это означает, что таким образом мы можем определить разрешающую способность с точностью до $\sigma_{\omega} = 0.5$ угловых секунд, которая вполне допустима, имея ввиду что, независимо от метода измерения, нам не удастся определить величину менее 1 угловой секунды при реальных атмосферных условиях наблюдений. Анализируя оба случая, из рис.2 и рис.3 видно, что во втором случае имеется более выгнутая кривая поперечной абберации. При этом самое большое значение не превышает 0.05 мм , т.е. 1 угловую секунду. На рис.4 дана суммарная кривая для обеих звезд. Общий вывод в результате этого эксперимента таков, что после юстировки главный телескоп ЛД-УЛИС имеет разрешающую способность с величиной ψ , не более чем 1 угл. сек., которая достаточна для наблюдения ИСЗ типа ЛАГЕОС.

Литература

1. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. Москва, 1976.
2. Уокер Г. Астрономические наблюдения. Москва, 1990.

Таб.1. Параметры главного телескопа УЛИС

d_i (mm)	l_i (mm)	r_i (mm)	excentr. d_i	n_i
600	0.0	-3200.0	1.0	-1.0
150	-1200.0	-933.0	1.3333	1.0
65	2800.0	0.0	0.0	1.0

 αUmi

Таб.2. Разрешающая способность телескопа УЛИС

зона r_i/r	r_i (mm)	F_i (mm)	$\delta_i = F_i - F_m$	$\delta_i \operatorname{tg} \alpha_i$
0.4	116.5	34.8	1.2	0.013
0.5	149.5	33.0	-0.6	-0.008
0.6	183.5	34.3	0.7	0.012
0.7	216.5	32.6	-1.0	-0.019
0.8	249.5	34.2	0.6	0.014
0.9	283.5	32.5	-1.0	-0.027

звезда 2

Таб.3. Разрешающая способность телескопа ЛД УЛИС

зона r_i/r	r_i (mm)	F_i (mm)	$\delta_i = F_i - F_m$	$\delta_i \operatorname{tg} \alpha_i$
0.4	116.5	39.0	4.5	0.047
0.5	149.5	32.7	-1.8	-0.024
0.6	183.5	35.6	1.1	0.018
0.7	216.5	30.0	-4.5	-0.087
0.8	249.5	33.8	-0.7	0.016
0.9	283.5	36.0	1.5	-0.037

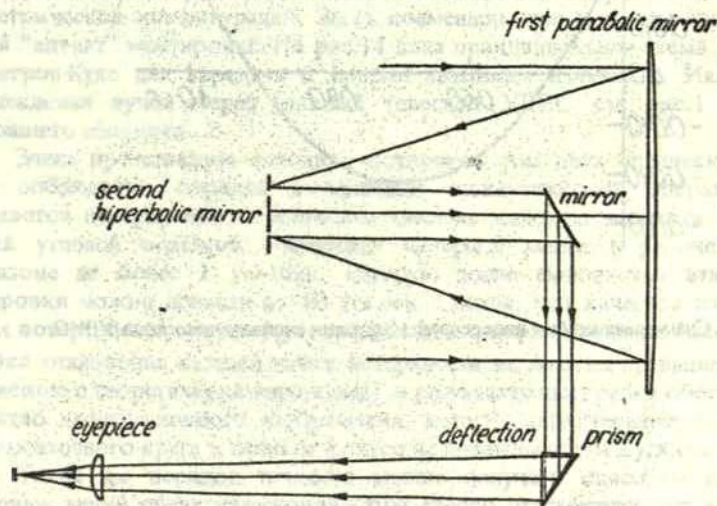


Рис. 1. Главная оптическая система лазерного дальномера УЛИС.

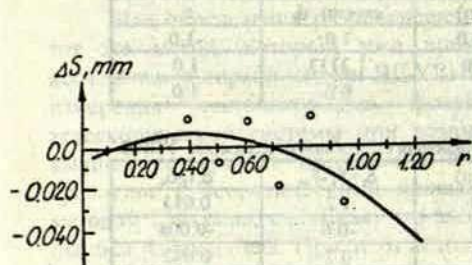


Рис. 2. Кривая поперечной aberrации для наблюдения α Umi.

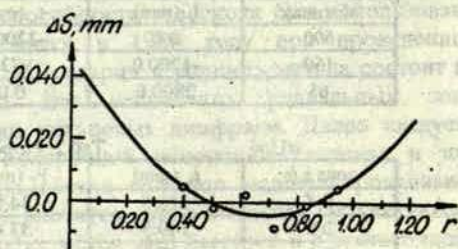


Рис. 3. Кривая поперечной aberrации для наблюдения слабой звезды.

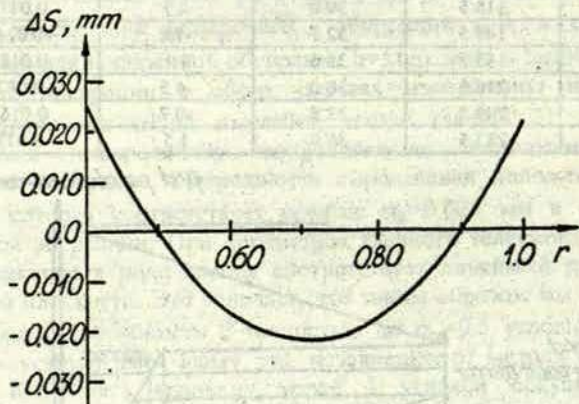


Рис. 4. Суммарная кривая поперечной aberrации главного телескопа УЛИС.

МЕТОДИКА ЮСТИРОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА У Л И С

А.Стойков, М.Абеле

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

"Alt-alt" mount of satellite laser ranging station ULIS has special configuration of optical system. There are two telescopes - the first with 630 mm diameter as a receiver and second - with 120 mm diameter as a transmitter. A procedure of putting in right the positions all optical elements is described. By using this procedure, it is possible to get diffraction (diameters of star images does not exceed 2 arcsec).

The second part of tuning procedure contains exact collimation of optical axes of both telescopes.

Kopsavilkums

Rakstā apskatīta metodika, kā jāregulē lāzerteleškopa ULIS optiskie elementi, lai iegūtu nepieciešamo precizitāti.

Специфика вопроса юстировки оптической системы лазерного спутникового дальномера УЛИС зависит в большой степени от особенности ее геометрической конфигурации. Здесь совмещены две конфигурации Куде на одной "алт-алт" монтировке. На рис.14 дана принципиальная схема телескопов Кассегрэн-Куде для передачи и приема лазерного излучения. Иллюстрацию прохождения лучей через главный телескоп УЛИС см. рис.1 на стр.55 настоящего сборника.

Здесь представлена методика юстировки этих двух оптических систем. При соблюдении порядка выполнения нижеуказанных операций, обеспечивается центрировка и установка наклона каждого элемента системы с общей угловой ошибкой отклонения визирной линии в рабочем угловом диапазоне не более 1 угл.мин., которую после выполнения этапа тонкой юстировки можно довести до 10 угл.сек. Считая, что качество изготовления самих поверхностей соответствует требованиям лазерной локации (максимальная ошибка отклонения каждой точки поверхности не должна превышать $\lambda/10$ по сравнению с теоретически заданными), в результате юстировки обеспечивается качество дифракционного изображения, которое характеризуется диаметром дифракционного круга в главном фокусе не превышающем 2 угл.сек.

Такой же порядок точности можно получить способом совмещения визирных линий обоих телескопов. Этот способ рассматривается в последней части юстировочной процедуры.

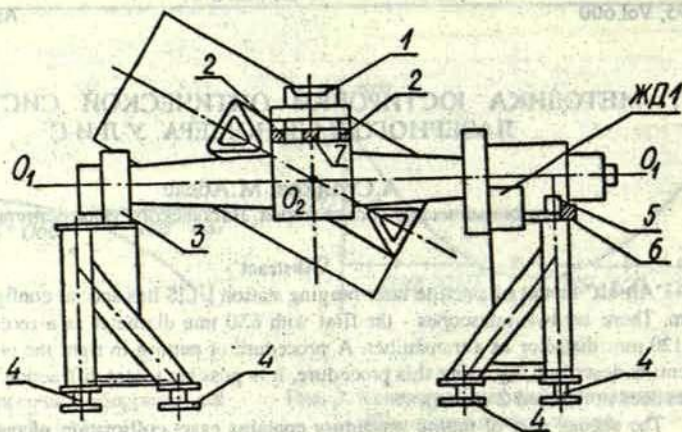


Рис. 1. Выставление горизонтальной оси телескопа.

Юстировка прибора производится после полной сборки на пункте наблюдений.

1. Горизонтирование осей прибора

1.1. Освобождаются регулировочные винты правого подшипника 5 и 6 (рис.1).

1.2. На специальные площадки горизонтальной оси 2 ставится накладной уровень 1 параллельно оси O_1-O_1 в горизонтальном направлении. Допустимая погрешность $\pm 30''$. Затягиваются винты 5 и 6.

1.3. Уровень ставится на площадки 7 параллельно оси O_2-O_2 . Поворотом вокруг оси O_1-O_1 при помощи двигателя ШД1 выставляется ось O_2-O_2 горизонтально с точностью $\pm 30''$.

1.4. Уровень 1 ставится на площадке 8, связанной с корпусом телескопа (рис.2).

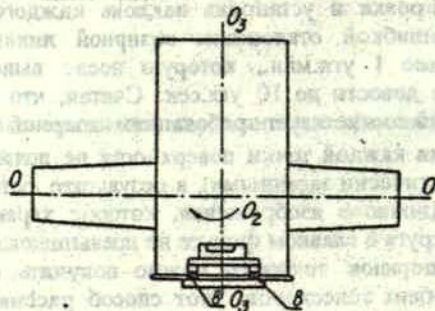


Рис.2 Выставление вертикальной оси телескопа.

Поворотом телескопа вокруг оси O_2 геометрическая ось оправы зеркала

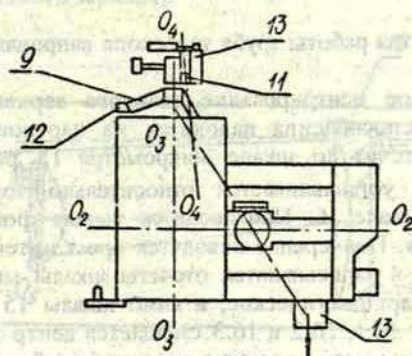


Рис. 3 а. Юстировочное приспособление на трубе телескопа.

O_3-O_3 направляется на зенит. Фиксируются нульпункты угловых датчиков по обоим осям или записываются их показания для точки зенита.

2. Юстировка оптической системы телескопа

2.1. На передний конец трубы телескопа ставится юстировочное приспособление 9 (рис. 3) и компенсирующий противовес 10.

2.2. По угловым датчикам ось O_2 направляется в зенит и точность установки контролируется накладными уровнями (п.1.3. и п.1.4.).

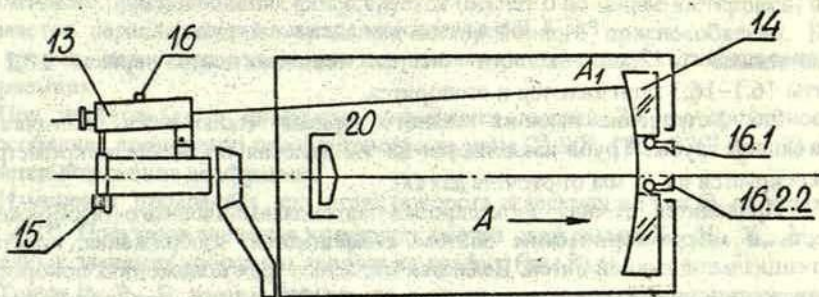


Рис.3 б. Радиальная центровка главного зеркала.

2.3. Винтами 12 ось юстировочного приспособления O_4-O_4 совмещается с геометрической осью оправы зеркала O_3-O_3 . Положение оси контролируется

уровнем 11, вращающимся вместе с поворотной частью юстировочного приспособления. Контроль производится в двух перпендикулярных направлениях с поворотом на 180° подвижной части. После юстировки осей винты 12 стопорятся.

2.4. Для удобства работы труба телескопа направляется в горизонтальное положение (рис.4).

2.5. Радиальное центрирование главного зеркала. Зрительная труба юстировочного приспособления наводится на наружный край зеркала 14. Предварительный отсчет по шкале микрометра 15 равен 18,6, положение объектива +12 мм устанавливается относительно точки фокусировки на бесконечность по шкале 16. Производится точная фокусировка окуляра на сетку и край зеркала. Поочередно наводится крест нитей зрительной трубы на точки A_1 , A_2 и A_3 и записываются отсчеты шкалы микрометра 15. Из них образуется среднее арифметическое, и лимб шкалы 15 ставится в расчетное положение. Винтами 16.1, 16.2 и 16.3 смещается центр зеркала до совпадения края зеркала с крестом в поле зрения зрительной трубы. Если разность отсчета

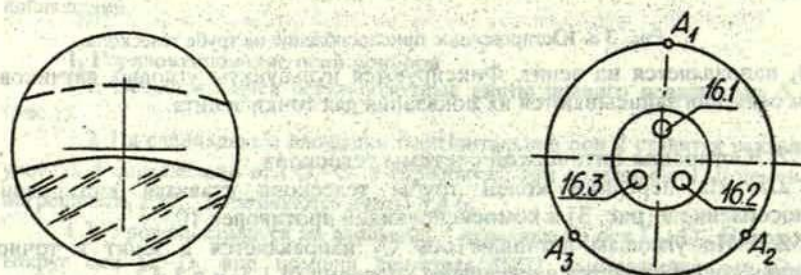


Рис. 4. Вид в поле зрения зрительной трубы.

не превосходит ± 2 дел., что соответствует смещению центра зеркала $\pm 0,2$ мм, винты 16.1–16.3 затягиваются и стопорятся.

2.6. Устранение наклона главного зеркала. Включается лампочка 18 зрительной трубы. Труба наклоняется на 9,2 деления по шкале микрометра и фокусируется на -8 мм от отсчета для 00.

Проводится точная фокусировка автоколлимационного изображения креста и микрометрическим винтом совмещаются изображения креста с тангенциальной линией нитей. Делаются отсчеты в трех положениях поворотной части юстировочного приспособления через 120° против положений винтов 17.1, 17.2 и 17.3. Далее поступают как в пункте 2.5., но регулировку проводят винтами 17. Добиваются совпадения отсчетов ± 2 дел. микроскопического винта. Винты 17 стопорятся и затягиваются прижимы 19.

2.7. Радиальная центровка вторичного зеркала. Телескоп наводится на наружный край вторичного зеркала. Данные для предварительной установки: фокусирование +1 мм, наклон 3,8 мм.

Юстировка проводится как в 2.6., но работают винтами 20. Допустимая точность ± 1 дел. микроскопической шкалы (мельче увеличения за счет большого удаления вторичного зеркала).

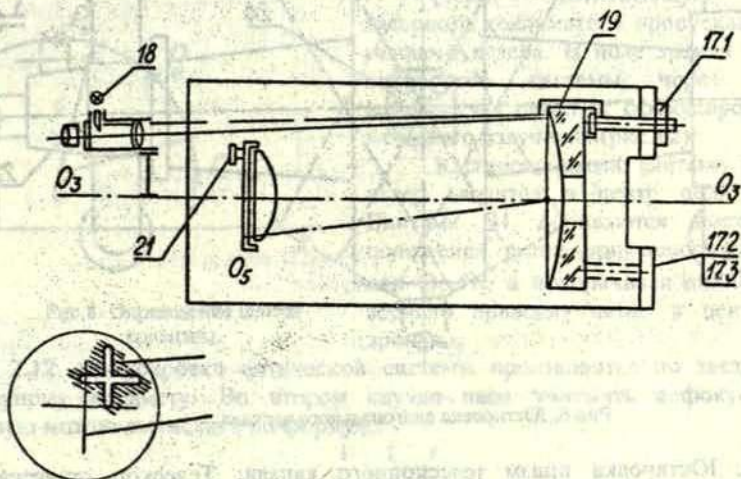


Рис.5. Устранение наклона главного зеркала.

2.8. Устранение наклона вторичного зеркала проводится аналогично п.2.6. Исходные данные: фокусировка – 5 мм, наклон 3,3 мм, допуск ± 2 дел. микрометра. Вращают винты 21 (рис. 5).

2.9. Юстировка диагонального зеркала телескопа. Зрительная труба юстировочного приспособления фокусируется (отсчет 0 по шкале юстировки) и направляется параллельно оси вращения юстировочного приспособления. В поле зрения телескопа вводится зеркало переключателя и снимается фотоприемник.

При необходимости диафрагма освещается лампой 23, юстировочное приспособление поочередно поворачивается на углы 0° , 90° , 180° , 270° (рис.7) и измеряется положение диафрагмы.

Измерения проводятся при углах поворота телескопа по оси O_2 на углах -60° и $+60^\circ$. Получают значения координат центра диафрагмы X_-, Y_-, X_+, Y_+ . Полученные значения координат наносят на график (рис.8).

Точки P_0, P_-, P_+ должны лежать на окружности, центр которой в общем случае находится в точке C . Если точка C совпадает с точкой O , то диагональное зеркало правильно отъюстировано. Если координаты точки C равны X_C и Y_C , то на координату X влияет разность поворота винтов крепления диагонального зеркала 24 и 25 (рис.9), а на координату Y винт 26.

После совмещения точки C с началом координат с точностью ± 1 дел. винты стопорят и юстировка зеркала закончена.

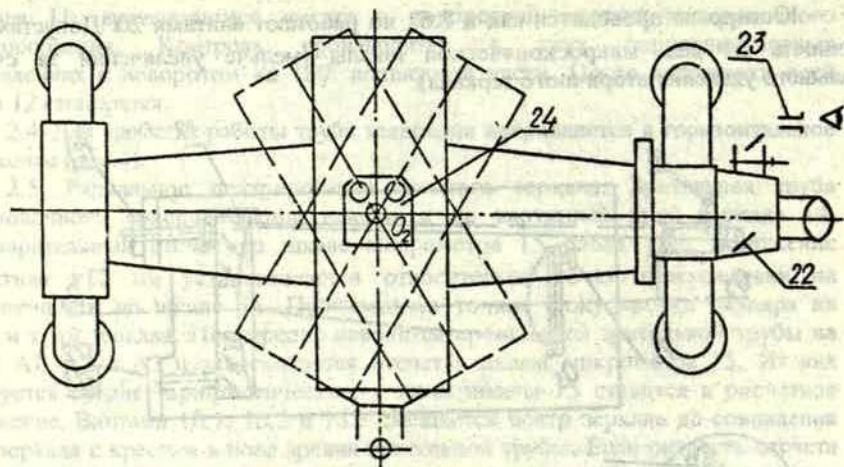


Рис. 6. Юстировка диагонального зеркала.

2.10. Юстировка призм телескопного канала. Телескоп ставится в среднее положение по отношению ко второй оси. Юстировочными винтами призмы (рис.10) 27 и 28 добиваются положения, когда изображение диафрагмы совпадает с центром юстировочного приспособления (точка O , рис.8). Проверяется установка при повороте телескопа на 180° вокруг оси O_1-O_1 . При

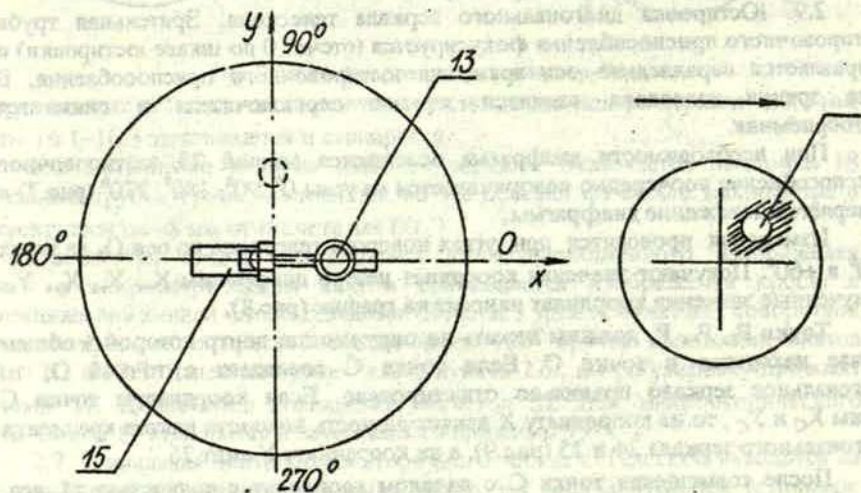


Рис.7. Юстировочное приспособление на трубе телескопа.

необходимости проводят юстировку диафрагмы для совмещения с осью O_1-O_1 .

2.11. Юстировка лазерного коллиматора.

На монтаж (рис.11) надсаивается призмный мостик 29.

Через согласующую линзу лазерного коллиматора пропускается луч газового лазера. В поле зрения главной оптической системы через окуляр наблюдается пятно от сфокусированного лазерного излучения (рис.12).

Юстировочными винтами газовый лазер вводится в центр поля зрения. Винтами 31 добиваются постоянного положения пятна при повороте вокруг оси O_2-O_2 , а поворачивая диагональное зеркало приводят пятно в центр поля зрения.

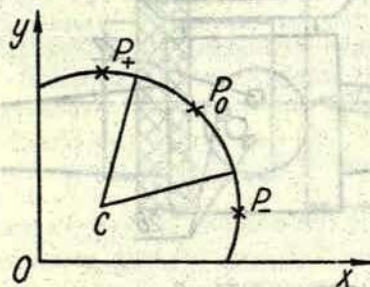


Рис.8. Определение центра кривизны.

2.12. Фокусировка оптической системы производится по звездам или удаленному предмету. Во втором случае надо учитывать дефокусировку, которую можно вычислить по формуле:

$$\frac{1}{S_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{S_1},$$

где S_1 – расстояние до предмета. Дефокусировка равна: $\Delta f = S_2 - f$.

При необходимости меняется расстояние между зеркалами.

Таблица 1. Числовые данные для проведения операций юстировки.

№	Операция	Наклон		
1	Радиальная центровка зеркала	134 ¹²	7,7	18,6
2	Устранение наклона главного зеркала	114 ⁻⁸	3,8	9,2
3	Радиальная центровка вторичного зеркала	123 ⁺¹	1,6	3,8
4	Устранение наклона вторичного зеркала	117 ⁻⁵	1,4	3,3
5	Юстировка диагонального зеркала и призмы	122 ⁰	0	0

3. Тонкая юстировка главной системы телескопа

3.1. Предполагается, что проведены все этапы 2.1.-2.9.

3.2. Зрительная труба юстировочного приспособления фокусируется на бесконечность. Со стороны окуляра главного телескопа наблюдается изображение креста из автоколлимационного приспособления. Таким образом, используется большое увеличение главной телескопической системы и имитируется искусственная звезда в его поле зрения. Точность получаемой юстировки можно оценить, используя сетку окуляра.

3.3. Поворачивая систему вокруг оси O_1-O_1 , окулярная сетка центрируется путем получения неподвижности светлого креста в поле зрения.

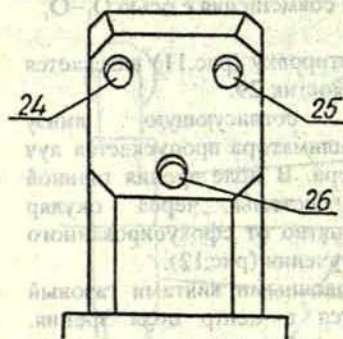


Рис.9. Юстировочные винты
диагонального зеркала.

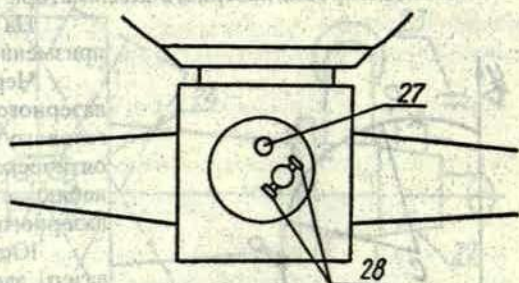


Рис.10. Юстировочные винты
призмы.

3.4. При повороте системы вокруг оси O_2-O_2 и с использованием винта 23 производится точная юстировка призмы главного телескопа, при этом необходимо следить за неподвижностью светлого креста в поле зрения телескопа.

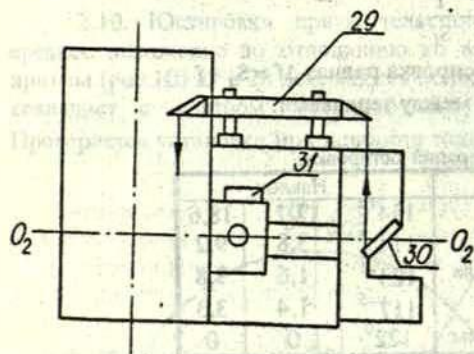


Рис.11. Призмный мостик на
телескопе.

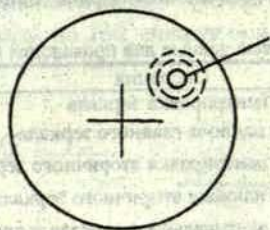


Рис.12. Вид в поле зрения
телескопа.

3.5. Изображение светлого креста центрируется относительно сетки окуляра при помощи винтов 24, 25, 26 (рис.9) диагонального зеркала.

3.6. В случае трудности получения неподвижности светлого креста согласно 3.4. необходимо переместить диагональное зеркало параллельно самому себе вверх или вниз на величину Δ так, чтобы его зеркальная поверхность проходила точно через точку пересечения оси вращения O_2-O_2 и оптической оси главного телескопа.

4. Второй вариант юстировки параллельности обоих каналов без применения газового лазера.

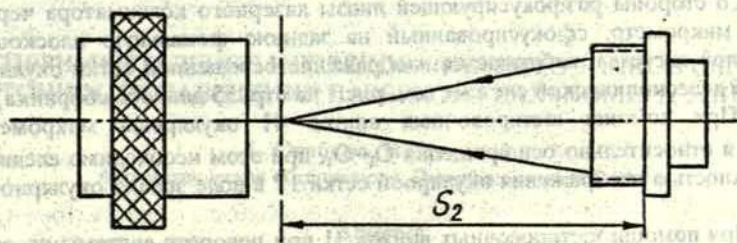


Рис. 13. Фокусировка оптической системы

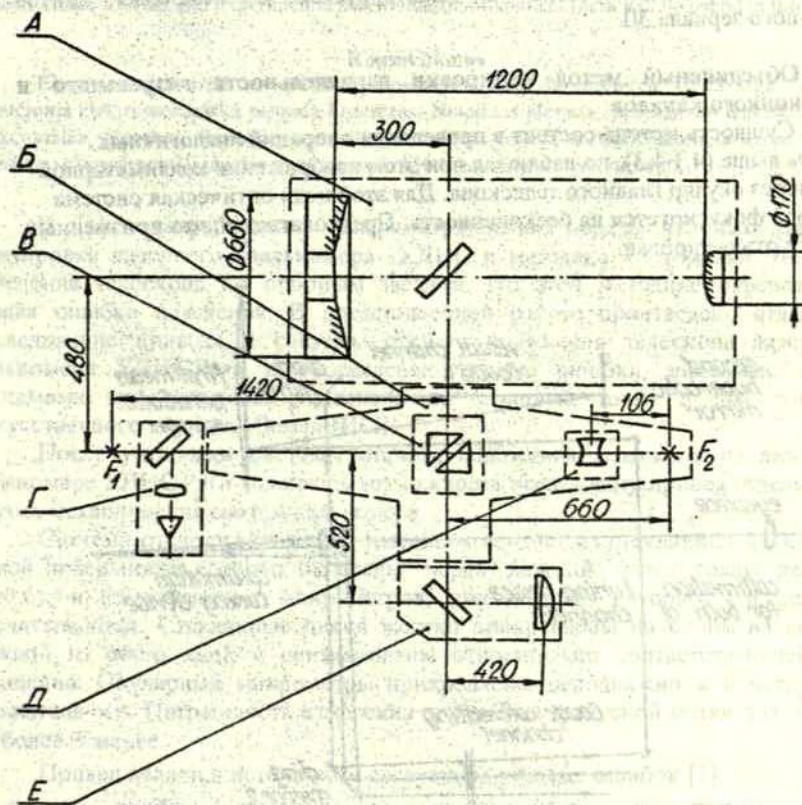


Рис. 14. Оптическая схема телескопа УЛИС

4.1. Со стороны разфокусирующей линзы лазерного коллиматора через окулярный микрометр, сфокусированный на заднюю фокальную плоскость коллиматорной системы, наблюдается изображение освещенной сетки окуляра 17 в главной телескопической системе (см. рис. 1 на стр. 55 данного сборника).

4.2. При помощи юстировочных винтов 41 окулярный микрометр центрируется относительно оси вращения O_1-O_1 , при этом необходимо следить за неподвижностью изображения окулярной сетки 17 в поле зрения окулярного микрометра.

4.3. При помощи юстировочных винтов 31 при повороте системы по оси O_2-O_2 , добиваются снова неподвижности сетки 17. Таким образом, делается тонкая юстировка призмленного блока лазерного коллиматора.

4.4. Изображение сетки 17 центрируется с помощью винтов диагонального зеркала 30.

5. Объединенный метод юстировки параллельности визуального и коллимационного каналов

5.1. Сущность метода состоит в проведении операций аналогичных описанным выше (4.1-4.3), но наблюдая при этом изображение коллиматорной системы через окуляр главного телескопа. Для этой цели оптическая система коллиматора фокусируется на бесконечность. Предполагается, что призмный мостик уже отъюстирован.

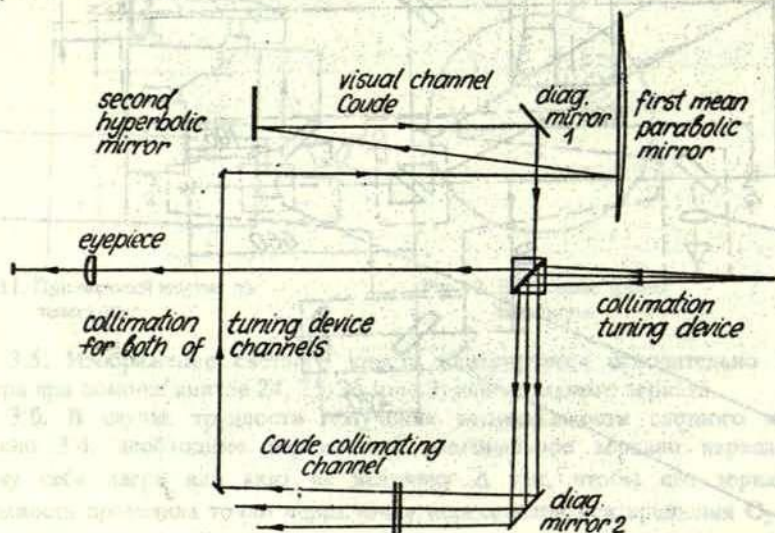


Рис. 15. Прохождение лучей через главную оптическую систему.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ОШИБОК ТОЧНОСТИ НАВЕДЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА УЛИС

А. Стойков, В. Лапошка

Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

Measurements of the hysteresis of electromechanical transmission of "alt-alt" mount of satellite laser ranging system ULIS are done, the systematical curves of angular errors are found. The results are checked on real instrument's work. A combination of theoretical modeling of angular errors sources and experimental determination of some of them will be useful in future.

Kopsavilkums

Eksperimentāli izpētītas alt-alt sistēmas pavadīgu lāzertālmēra ULIS-Rīga "alt-alt" montējuma elektromehāniskā pīevada histerēzes. Noteiktas pīevada sistēmātisko leņķisko kļūdu funkcionālās sakarības. Rezultāti apbrēti instrumenta reālajā darbā. Nākamajā darbā stadijā jāaskaņo eksperimentāli iegūtie rezultāti ar šo kļūdu avotu teorētisko modeli.

В [1] разработана 8 параметрическая модель угловых ошибок монтировки лазерного дальномера УЛИС и методика калибровки точности наведения телескопа по опорным звездам. По этой методике определяется общая ошибка наведения. В представленной работе произведено отдельное исследование привода и системы отсчета положения телескопа лазерного дальномера УЛИС-Рига и определены угловые ошибки, вносимые этими системами при установке телескопа на заданную точку и при локации искусственного спутника Земли (ИСЗ).

После установки системы отсчета положения телескопа на лазерном дальномере УЛИС-Рига появилась возможность исследовать привод отдельно от других механических систем дальномера.

Система отсчета положения телескопа состоит из стеклянных дисков, на одной поверхности которых нанесены через каждый целый градус деления (рис.6), и из окулярных микрометров, при помощи которых эти деления отсчитываются. Стеклянные диски жестко прикреплены на одном из концов каждой из обеих осей и центрированы относительно соответствующей оси вращения. Окулярные микрометры прикреплены неподвижно к конструкции держателя оси. Погрешность измерения положения градусной метки получается не более 3 arcsec.

Привод является источником следующих угловых ошибок [1]:

- угловая ошибка, связанная с эксцентриситетом редукторных узлов относительно осей поворота;
- угловая ошибка из-за люфта подшипников в точках крепления к двум осям;

- угловая ошибка, вызванная неравномерностью расположения зубьев редукторного вала.

Исходя из конструктивных соображений, предполагается, что система отсчета положения телескопа лазерного дальномера вносит дополнительные ошибки, которые необходимо учитывать при выставлении телескопа и определении его положения. Источниками этих ошибок являются:

- эксцентриситет лимба относительно оси поворота;
- ошибки нанесения делений на лимб.

Эксперимент проводился отдельно по каждой из осей. С помощью системы управления лазерным дальномером телескоп выводился на определенную точку $\varphi = (-60; 60)^\circ$, $\psi = 0^\circ$ или $\varphi = 0^\circ$, $\psi = (0; 180)^\circ$, и после ее выполнения считывалось положение телескопа φ или ψ .

Чтобы исследовать гистерезис привода, менялось направление движения, а для уменьшения ошибок считывания, эксперимент был проделан четыре раза по каждой из осей. Результаты приведены на рис. 1 и 2.

Угловые ошибки привода и системы отсчета положения телескопа достигают по абсолютным значениям $8'$ по оси φ и по оси ψ . Сравнение результатов эксперимента с моделью угловых ошибок привода лазерного дальномера УЛИС-630, разработанного в [1] показывает, что основным источником угловой ошибки привода является эксцентриситет редукторных узлов и лимбов относительно осей поворота. Из полученных результатов видно, что по обеим осям привода имеется гистерезис. По оси φ его величина достигает $10''$, а по оси ψ - $30''$.

Для исследования гистерезиса был сделан следующий эксперимент.

1. Начиная с исходной позиции $\varphi = 0^\circ$ и $\psi = 90^\circ$ телескоп перемещался до $\varphi = 0^\circ$, $\psi = 30^\circ$ через каждый целый градус. При этом считывались показания лимбов φ - линия — на рис.5.

2. После достижения $\psi = 30^\circ$ телескоп перемещался в обратном направлении через каждый градус - линия **.

3. Начиная каждую установку телескопа с выходного положения $\varphi = 0^\circ$ и $\psi = 90^\circ$, телескоп направлялся на $\psi = 85^\circ, 80^\circ, 75^\circ, \dots, 30^\circ$ (при $\varphi = 0^\circ$) - линия +, потом телескоп был возвращен назад на 1° - линия □. Для следующего измерения, телескоп снова устанавливался в исходную позицию.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. Линия ошибки, полученная в эксперименте 3; при первоначальном направлении телескопа в общем не совпадает с линией ошибки, полученной в эксперименте 1. Она находится между линиями гистерезиса в прямом и обратном направлении.
2. Линия угловой ошибки положения телескопа, полученная в эксперименте 3, когда телескоп из определенной позиции направлялся на градус назад, точно соответствует линии, полученной в эксперименте 2.

Методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты полиномиальной аппроксимации, описывающей $\Delta(\varphi)=F(\varphi)$ и $\Delta(\psi)=F(\psi)$ без учета гистерезисного эффекта. Основания для этого даст вывод 1.

Полученные результаты были апробированы в системе управления лазерным дальномером, и учитывались при следующем эксперименте как ошибки привода и системы отсчета положения телескопа. Полученные результаты отображены на рис. 3 и 4. Остаточные ошибки связаны с неточностью аппроксимации и неучтенным гистерезисом привода и не превышают 25" по обеим осям.

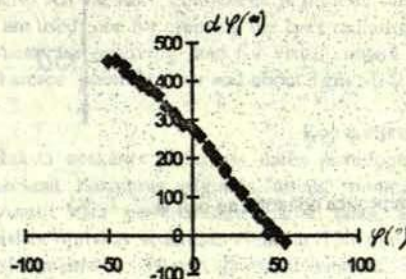


Рис.1. Угловая ошибка привода по оси φ .

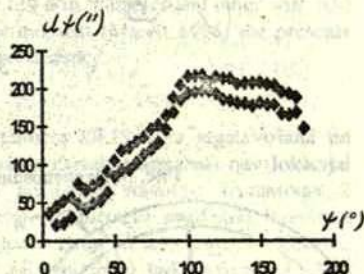


Рис.2. Угловая ошибка привода по оси ψ .

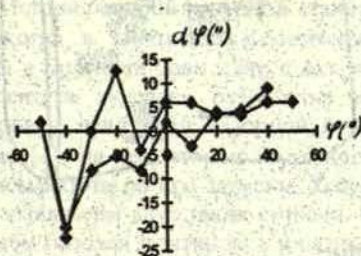


Рис.3. Остаточные угловые ошибки оси φ .

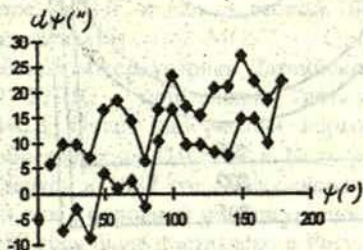


Рис.4. Остаточные угловые ошибки привода по оси ψ .

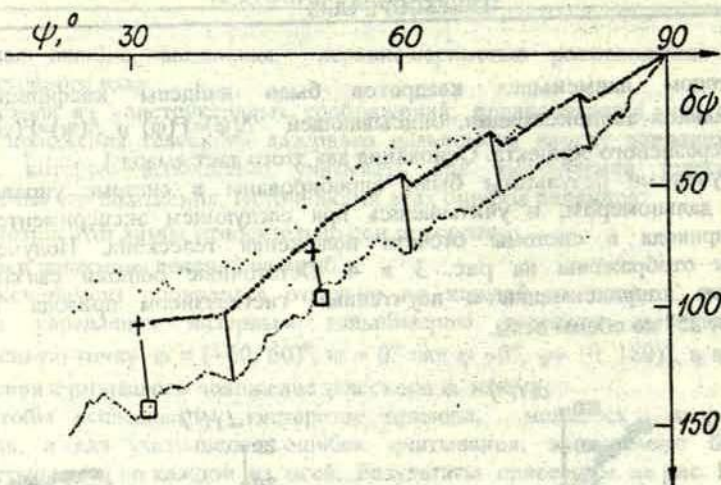


Рис. 5. Исследование гистерезиса привода по оси ψ .

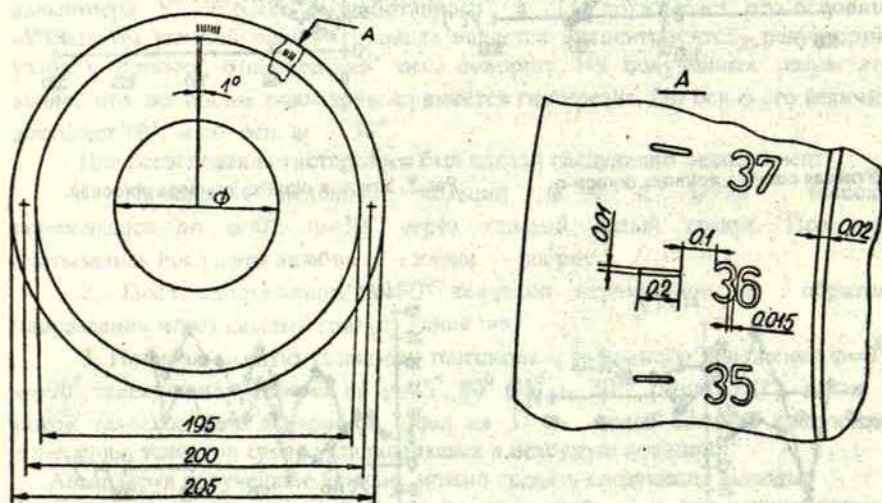


Рис. 6. Лимбы УЛИС.

Литература

1. Стойков А. Расширенная углово-параметрическая модель УЛИС-630 и анализ экспериментальных результатов калибровки станции УЛИС по опорным звездам. LU Zinātniskie raksti, Nr. 586, Rīga, 1993, 53-56 lpp.

ВТОРОЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР В РИГЕ - УЛИС. НАЧАЛО ИЗМЕРЕНИЙ

А.Стойков, Ю.Жагар, М.Абеле, В.Ляпошка
Астрономическая обсерватория Латвийского университета

Abstract

Achievements in completing of satellite laser ranging system ULIS in Riga is reported. An original "alt-alt" mount is used, what allows to reach all points in observed celestial hemisphere. All measure equipment is immobile during work's seances. Two different optical systems are used: one for emitting the laser radiation with 120 mm diameter and other with 630 mm diameter for receiving and for visual control. At the moment (March 1995) the presents about 10 arcsec pointing error and about 3 cm MSR to target distance.

Kopsavilkums

Rakstā apskatīts padarītais darbs pavadību lāzertālmēra ULIS-Rīga sagatavošanā un modernizēšanā. Izmantots oriģināls "alt-alt" montējums, kuras darbības apgabalā nav lokācijai slēgtu zonu. Visa mēraparatūra darba laikā atrodas nekustīgā stāvoklī. Izmantotas 2 teleskopiskās optiskās sistēmas: viena ar 120 mm diametru, lai formētu zondējošā lāzerstara ģeometriju un otra ar 630 mm diametru atstarotā signāla uztveršanai un teleskopa uzvadišanai. Stacijas iekšējo laiku var sinhronizēt ar GPS palīdzību vai citu ārēju laika avotu. Uz dato momentu (1995.g. martu) stacija nodrošina 10 arcsec lielu uzvadišanas precizitāti un 3 cm vidējo kvadrātisko kļūdu, mērot attālumu līdz nekustīgam mērķim.

1. Введение

История второй лазерной станции в Риге - УЛИС началась весной 1984 года, когда в Институте Космических исследований "COSMOS" в Стара Загоре, в Болгарии совместно с Астрономической обсерваторией Латвийского университета началась разработка проекта УЛИС - применение "алт-алт" монтировки для целей лазерной локации ИСЗ. После завершения первого образца [1], на территории геодезической обсерватории ПЛАНА в Болгарии началась работа по его запуску. Успешный запуск в 1987 году дал основание для создания еще двух таких станций. Одна из них в неполной конфигурации (в основном базовая монтировка и оптика) в 1988 году была доставлена в Ригу. К сожалению, последующие перемены в восточноевропейских странах отразились на этом проекте. Несмотря на то, что болгарский патентный институт признал авторские права шести авторов (трое болгаров и трое латышей), на эту оригинальную разработку, дальнейшая работа по этому проекту была остановлена.

В 1993 году Астрономическая обсерватория Латвийского университета решила довести до конца этот проект и участвовать с ним в экспедиции в

Южном полушарии. После полного обновления управления, регистрирующей части и некоторых механических узлов в январе 1995 года были получены первые результаты при калибровке измерения расстояния до неподвижной мишени.

2. Монтировка

Применено оригинальное конструктивное решение использовать двухосную "алт-алт" монтировку (см. рис.1 на стр. 58 настоящего сборника), которая имеет несколько преимуществ по отношению к уже известным типам монтировки:

- отсутствуют особые зоны (такие как область зенита при алт-азимутальной монтировке). Точнее, они получаются вне рабочего диапазона наблюдаемой части небесной сферы, так как координатную систему "алт-алт" монтировки можно считать полученной из горизонтальной топоцентрической, путем поворота основной плоскости X,Y на $\frac{\pi}{2}$ (см. рис.1 на 84 стр. настоящего сборника);
- угловой диапазон наблюдения: $\psi \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$ для главной оси и $\varphi \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$ для второй оси;
- удобство размещения измерительной аппаратуры (она остается неподвижной во время работы);
- размеры 3000x2500x2600 мм;
- вес монтировки - не более 1.5 тонн.

3. Оптическая система

Применена следующая оптическая система:

- два телескопа Куде, фокусы которых находятся в противоположных концах главной оси вращения "алт-алт" монтировки (см. рис. 15 на стр. 66 настоящего сборника);
- приемная оптическая система Кассегрен-Куде с асферическими поверхностями главного и вторичного зеркал. Главное параболическое зеркало диаметром 630 мм изготовлено из ситалла (для получения минимальных термических деформаций);
- система рассчитана на дифракционный минимум aberrаций изображения и при хорошей юстировке размер дифракционного кружка наблюдаемой звезды не превышает 1.5 arcsec для условий в Риге [2];
- зрительное поле главного телескопа расширено до 20° ;
- в передающем (лазерном) тракте использован телескоп Галилея с апертурой 120 мм и коэффициентом коллимации 15;

- вращающееся диагональное зеркало синхронизировано с компьютером - в зависимости от эфемериды конкретного спутника происходит раздел гидрирующего и регистрирующего тракта;
- для гидрирования используется электронно-оптический преобразователь со соответствующей согласующей оптикой. К нему можно подключить телевизионную камеру;
- для объемной фильтрации шумов в фокусе приемного телескопа установлен набор полевых диафрагм;
- стеклянные лимбы дают возможность контролировать точность отрабатывания угловых позиций телескопа по каждой из двух осей.

4. Лазерный излучатель

На данном этапе испытания станции УЛИС применяется YAG Nd лазер на второй гармонике $\lambda=532$ nm с параметрами:

- длительность импульса, пикосек. (320 ± 20)
- энергия импульса, мДж > 100
- расхождение пучка, μrad < 0.5

Двухконтурная охлаждающая система автоматически стабилизирует рабочую температуру лазерной головки, работающей на частоте до 5 Hz.

5. Система управления

Система управления базируется на IBM PC совместимом компьютере для контроля и первичной обработки данных.

- используются шаговые двигатели с крутящим моментом 7.5 N/m и дискретностью одного шага на оси 1.5 arcsec;
- достигнута угловая скорость 2 degr/s;
- для вычисления эфемериды ИСЗ и первичной обработки данных используется собственная разработка Астрономической обсерватории пакет программ SATKOMP, адаптированный для этого типа монтировки.

6. Система регистрации

Система регистрации COMTIS разработана в Институте электроники (Рига). Ее характеристики:

- измерение интервалов времени заданных нормализованных сигналов с типичной погрешностью не более 40 ps;
- оценка интенсивности фонового потока до $5 \cdot 10^6$ события/сек;

- селекция отраженных сигналов в реальном времени в зависимости от информации об эфемериде ИСЗ;
- эффективный самоконтроль основных параметров в отдельных режимах.

В системе регистрации используется рубидиевый стандарт времени. Возможна привязка к эталону времени с погрешностью не более $1 \mu\text{s}$ с помощью GPS приемника.

Используя опыт первого образца УЛИС и разработанной модели дефектов монтировки [3], [4] осенью 1994 года была проведена работа по ориентации вектора наведения телескопа. Калибровка проведена по наблюдениям 450 звезд в рабочем диапазоне монтировки. В результате этой работы была достигнута точность наведения главного телескопа станции по заданной точке видимой части небесной сферы с погрешностью не превышающей 10 arcsec . (См. рис. 5 в [4]). Работа в этом направлении продолжается.

SatComp/Call. Laser calibration 1995 February 26 19:26:34
1.0-1 (1991)

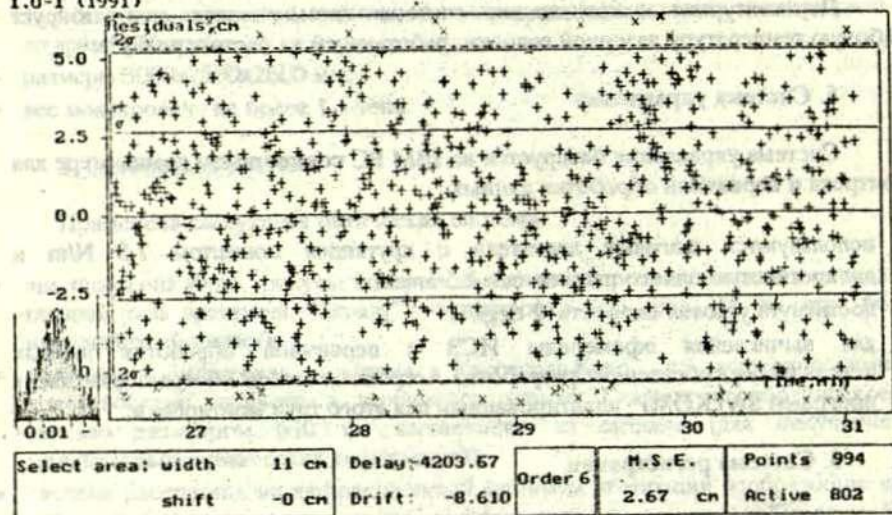


Рис.1. Результат калибровки станции УЛИС-Рига по неподвижной мишени

На рис. 1. представлены результаты калибровки по неподвижной мишени, находящейся на расстоянии 15220 мм от физического центра монтировки центра призматического куба. Погрешность калибровки на этом этапе получается порядка 3-4 см.

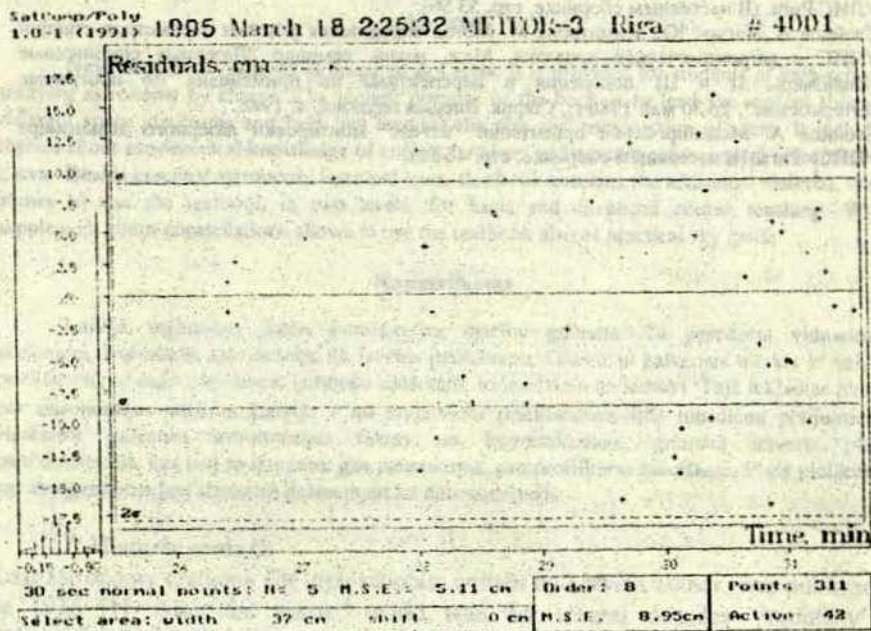
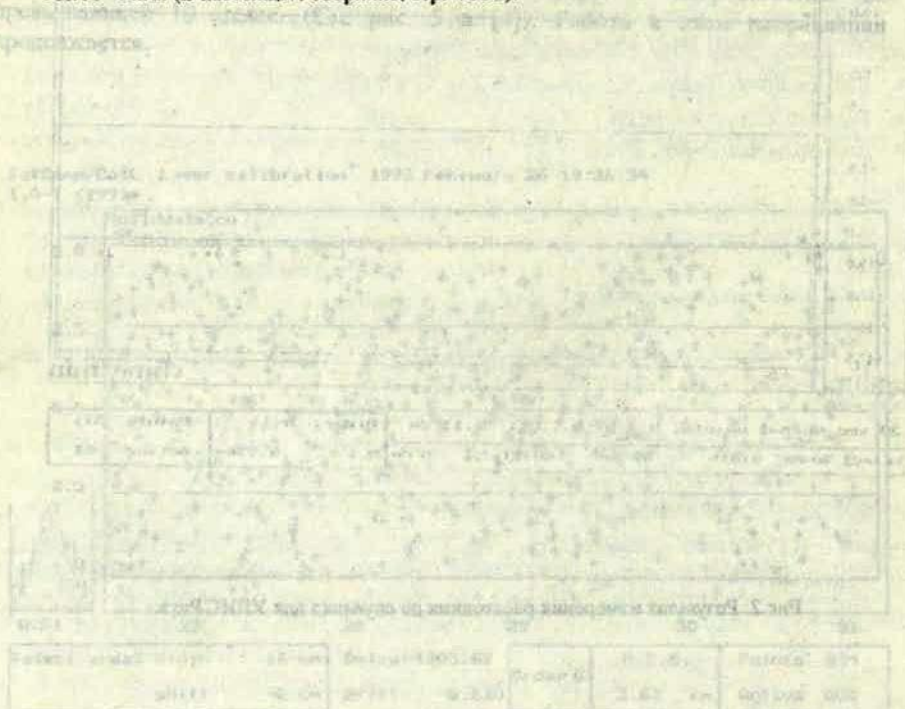


Рис.2. Результат измерения расстояния до спутника для УЛИС-Рига.

Литература

1. Стойков А., Абеде М., Жагарс Ю., Вятерс Я., Дзанов С., Ташев В., Цанков Ц. Универсальная лазерная измерительная система УЛИС-630. Меж. научн. семинар "Лазерные спутниковые дальномеры II и III поколения и перспективы их применения по программе Интеркосмос", 26-30 май 1986 г., София, Высшая геодезия, 4, 1988.
2. Стойков А. Исследования разрешающей способности главного телескопа дальномера УЛИС-Рига. (В настоящем сборнике, стр. 53-56).
3. Стойков А., Жагарс Ю., Димитрова М. Метод определения угловых параметров станции УЛИС и астрономической привязки. Меж. научн. семинар "Лазерные спутниковые дальномеры II и III поколения и перспективы их применения по программе Интеркосмос", 26-30 май 1986 г., София, Высшая геодезия, 4, 1988.
4. Стойков А. Моделирование ориентации "алт-алт" монтажки лазерного дальномера УЛИС - Рига. (В настоящем сборнике, стр. 46-52).



NEW CONCEPTIONS IN ASTRONOMY TEXTBOOK FOR LATVIAN HIGH-SCHOOLS

I. Vilks

Astronomical Observatory of University of Latvia

Abstract

New astronomy textbook is prepared in Latvia. It is provided for students of high-school, studying astronomy by choice. The highest purpose of the book is to lead the student through different space structures and help him imagine the size and construction of them. It includes themes about astronomical knowledge of ancient Latvians and modern astronomical researches in Latvia. Beside essential astronomy facts and laws, this book contains the additional material, what allows to use the textbook in two levels: for basic and advanced course teaching. Wide supplement about constellations allows to use the textbook also as practical sky guide.

Kopsavilkums

Latvijā sagatavota jauna astronomijas mācību grāmata. Tā paredzēta vidusskolu skolēniem, kas mācās astronomiju kā izvēles priekšmetu. Grāmatas galvenais mērķis ir veidot priekšstatu par dažādām debess ķermeņu sistēmām, to izmēriem un uzbūvi. Tajā iekļautas tēmas par astronomijas attīstību Latvijā – no senlatviešu priekšstatiem līdz mūsdienu pētījumiem. Neskaitot galvenos astronomijas faktus un likumsakarības, grāmata ietverts plašs papildmateriāls, kas ļauj to izmantot gan pamatkursa, gan profilkursa mācīšanai. Plašs pielikums par zvaigznājiem ļauj izmantot grāmatu arī kā debess ceļvedi.

1. Historic remark

Last astronomy textbook for high-schools, written by Latvian author, was published in 1936 [1]. After the second world war, for several decades Vorontsov's-Velyaminov's book [2] was used in Latvian schools. One of the first Latvian editions of this book was published in 1946. Book was revised several times, but, taking into account new achievements of astronomy, its structure becomes obsolete. Book was provided for 35 lessons' course.

2. Astronomy as a discipline by choice

During the educational reform in Latvia, astronomy becomes one of the second group's discipline by choice. First group contains disciplines by choice that **must be offered** by school (table 1). The second group contains disciplines by choice, that **can be offered**, if they correspond to interests and possibilities of the school [3]. Course by choice is given, if at least 5 students are going to learn it. Data of Ministry of Education and Science of Latvia [4] show that in school-year 1993./94. astronomy was studied in 13 Latvian high-schools, but the next year in 62 high-

schools. As we can see, only small part of all high-school students is studying astronomy (fig. 1). It is a big step backwards, comparing with the situation, that before 1991 astronomy was compulsory discipline (like all others). Though there are some positive changes. Now astronomy course is enlarged to 70 lessons. It is a step forward, because 35 lesson's course was too short. New experimental curriculum in astronomy [5] and standard of knowledge in astronomy [6] is prepared.

3. Purposes and trends of new astronomy textbook

In 1995 in Latvia is prepared new astronomy textbook [7]. Its highest purpose is to give to student the notion about basic structures of Universe (planets, stars, galaxies), their size, construction and link between them. Significant astronomy facts and laws are considered, turning more attention to the results obtained and less to the methods. The book is made in a descriptive manner, basic text contents few of formulae or complex physical conceptions. Such approach allows to involve in teaching astronomy not only the teachers of physics, but also the teachers of the other exact disciplines.

Table 1. Astronomy among the other high school disciplines.

COMPULSORY DISCIPLINES	DISCIPLINES BY CHOICE THAT	
	MUST BE OFFERED	CAN BE OFFERED
Latvian Language and Literature	2nd Foreign Language	Visual Art
Mathematics	Geography	History of Culture
Foreign Language	Computer Science	Ethics
Latvian and World History	Physics	3rd Foreign Language
Physical Culture	Chemistry	ASTRONOMY
	Biology	Housekeeping
	Man/Nature/Society	Apprenticeship
	Music	Technical Graphics
	Amateur Artistic Work	Principles of Business and Economics

Astronomy book is almost independent from physics course. Electromagnetic waves, gravity and other important things are shortly described. Of course, student must have some elementary knowledge of physics, mathematics and other exact disciplines at the level of primary school. For example, question about atomic structure is not considered. Radiance of astronomical objects is analyzed in wide range of electromagnetic waves, not only in visible light.

A lot of attention is turned to history of astronomy. Looking, how the models of world structure are changed and developed through the centuries, it is easier to understand the contemporary level of human knowledge. Global ecology questions are also considered – how a development of civilization influences environment of

our planet and nearby space, and, from the other side – how cosmic processes influence animate nature on Earth.

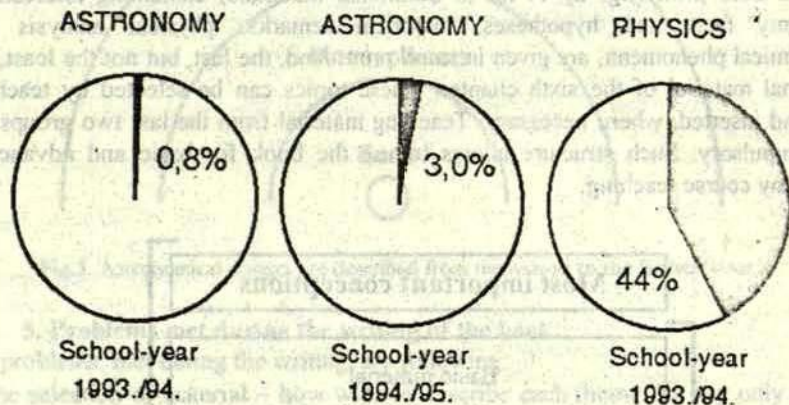


Fig. 1. Relative quantity of high-school students, studying astronomy and physics.

New astronomy textbook is nationally oriented. It means, that all examples and exercises, where it is possible, are adapted to Latvia conditions. Enough of attention is turned to development of astronomy in Latvia – from astronomical notions of our ancestors till the contemporary astronomical researches.

Much of attention is given to illustrative material – pictures, diagrams, tables. It is provided to use some stereo pictures, if it is necessary for better understanding, for example, speaking about spatial location of stars.

New astronomy textbook can be used also as popular-science literature and sky guide. It contains description of constellations, star charts and observing methods.

4. Structure and methodical principles of the book

The book is composed of six chapters. The first chapter is an introduction. It considers visible movements of celestial objects, telescopes and principles of space flights. The second chapter gives review of astronomy development – from ancient times till contemporary epoqe. The third chapter contains wide information about Earth, Moon, eclipses, planets, comets and meteors. The fourth chapter gives attention to stars, including Sun, – their characteristics and structure. The fifth chapter considers star systems – our Galaxy and others. The sixth chapter summarizes information about constellations, star charts, observation methods and astronomical exercises.

The book has multilevel scheme of organization. The main part of the book contains basic material, given in normal print. The most important conceptions are given in bold print (fig. 2). A lot of additional materials, containing interesting astronomy facts and hypotheses, historical remarks, physical analysis of astronomical phenomena, are given in small print. And, the last, but not the least, is additional material of the sixth chapter. These topics can be selected by teacher itself and inserted, where necessary. Teaching material from the last two groups is non-compulsory. Such structure allows to use the book for basic and advanced astronomy course teaching.

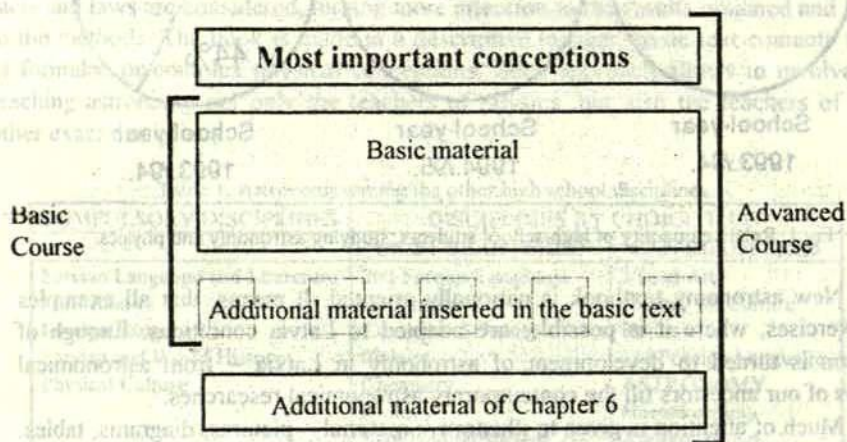


Fig. 2. Astronomy textbook contains four different groups of teaching material.

Astronomy textbook can be made in different manner. One author describes different branches of astronomy, the other author accent laws of nature in micro- and macro- world, the third one gives more attention to development of Universe, and so on. Author has selected four main principles :

- to consider different astronomical objects, moving from near to far (fig. 3);
- give more attention to spatial configuration of different structures in universe;
- to consider celestial bodies in their development;
- to connect description of astronomical objects with their visibility in the sky.

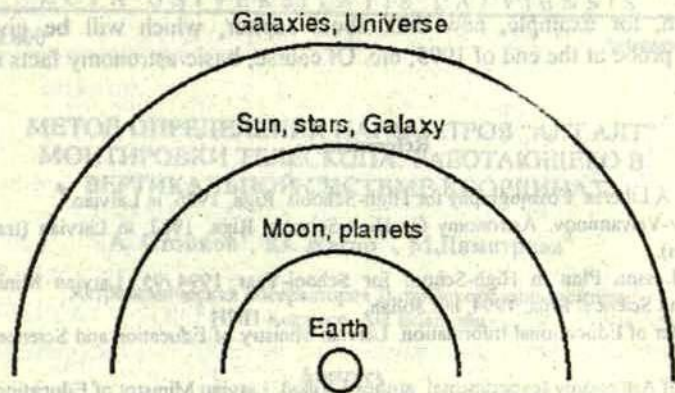


Fig.3. Astronomical objects are described from the nearest to the farthest ones.

5. Problems met during the writing of the book

The problems, met during the writing, are following:

- the selection of material – how wide to describe each theme. To say only some phrases about quasars, for example, it means to say nothing. From the other side, too much of information makes confusion, and also the volume of the book is eliminated;
- does to make deep physical analysis of astronomical phenomena (star pulsation, for example), or to make broad description of it (what are the periods of pulses, what are the spectral classes of pulsating stars, etc.). Author is tended to the second approach. The solution of these two problems is always partially subjective;
- different numerical values found in different data sources. Even bright stars can “have” different values of brightness. Typical example is Alpha Centaur. It is visual binary star, unresolvable with unaided eye. One data source gives brightness of A component (+0.06), [8]. Other gives the brightness of both components together (- 0.29), [9];
- using of some astronomical term in Latvian language is not stable and some terms are not well selected. For example, “meteor stream” is translated literally in Latvian as “crowd of meteor bodies”. Instead of this, author proposes “swarm of meteoroids”. Wider analysis of astronomical terminology in Latvian language is different theme and cannot be given here;
- the book quickly becomes obsolete. Astronomy is a very dynamic science, new discoveries come one after another. For example, during the writing of the textbook, comet Shoemakers-Levy 9 run into the Jupiter and new asteroids beyond Pluto were found. These facts are included in the book, but the book will

not contain, for example, new data about Jupiter, which will be given by "Galileo" probe at the end of 1995, etc. Of course, basic astronomy facts remain untouched.

References

1. S.Slaucitajs, A.Liberts. Cosmography for High-Schools. Riga, 1936, in Latvian.
2. B.Vorontsov-Velyaminov. Astronomy for High-Schools. Riga, 1987, in Latvian (translated from Russian).
3. Sample of Lesson Plan in High-School for School-Year 1994/95. Latvian Ministry of Education and Science. Riga, 1994, in Latvian.
4. Data of Center of Educational Information. Latvian Ministry of Education and Science. 1995, in Latvian.
5. Curriculum of Astronomy (experimental, author I.Vilks). Latvian Ministry of Education, Riga, 1993, in Latvian.
6. Standard of Knowledge of Astronomy in High-School (author I.Vilks). Latvian Ministry of Education and Science, Riga, 1995, in Latvian.
7. I.Vilks. Astronomy for High-School (in preparing).
8. I.Klimishin. Elementary Astronomy. Moscow, 1991, in Russian.
9. V.Straizhis. Astronomy. Kaunas, 1993, in Lithuanian.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ "АЛТ-АЛТ"
МОНТИРОВКИ ТЕЛЕСКОПА, РАБОТАЮЩЕГО В
ВЕРТИКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

А. Стойков¹, Ю. Жагар¹, М.Димитрова²

¹Астрономическая обсерватория Латвийского университета

²НПП Космос, АН Болгарии

Abstract

Developing the mount errors model for the "alt-alt" mounted telescopes, given in the [1], the present paper deals with the determination of the mounts parameters. The basic method used is differential linearisation together with the MSM. The model with 6 parameters is discussed but number of parameters is not limited. The results have been tested for ULIS type SLR stations using the "alt-alt" type mount.

Kopsavilkums

Attīstot "alt-alt" tipa montējuma kļūdu modeli, kas aprakstīts [1], darbā analizēta montējuma parametru noteikšana. Kā pamatmetodes lietotas diferenciālā linearizācija kopā ar mazāko kvadrātu metodi. Aplūkots gadījums ar sešiem parametriem, bet to skaits faktiski nav ierobežots. Rezultāti lietoti un pārbaudīti ar pavadoņu lāzertālmēru ULIS, kura teleskopam ir "alt-alt" tipa montējums.

В соответствии с теорией вертикальной или "алт-алт" монтировки [1], связь между горизонтальной (геодезической) системой координат (X,Y,Z) и вертикальной (x,y,z), описывается матричным уравнением:

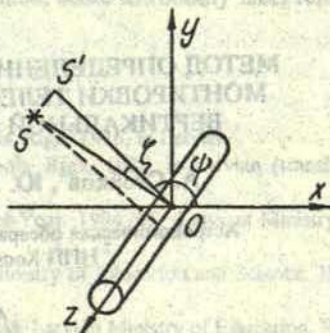
$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = G_y (-A_0) G_x \left(\frac{\pi}{2} \right) \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где G_x и G_y - матрицы поворота соответственно около осей x и y.

С другой стороны, из [2] связь между горизонтальной и второй экваториальной системой координат описывается следующими уравнениями:

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = G_y \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) G_x (s - \pi) \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{III} = G_x(\pi - s) G_x\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3)$$



Сравнивая формулы (1), (2), (3), получаем связь между вертикальной и второй экваториальной системами координат:

Рис. 1. Вертикальная система координат.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_V = G_y(-A_0) G_x\left(\frac{\pi}{2}\right) G_x\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) G_x(s - \pi) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{III} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{III} = G\left(\pi - s\right) G_y\left(-\varphi + \frac{\pi}{2}\right) G_x\left(-\frac{\pi}{2}\right) G_x(A_0) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_V \quad (5)$$

Переходя к сферическим координатам, получаем выражения (4), (5) в виде:

$$\begin{aligned} \sin \zeta &= (\cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi) \sin A_0 - \cos \delta \sin t \cos A_0, \\ \cos \zeta \sin \psi &= \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t, \\ \cos \zeta \cos \psi &= (\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t) \cos A_0 - \cos \delta \sin t \sin A_0, \end{aligned} \quad (6)$$

где δ и t — склонение и часовой угол, а φ — географическая широта обсерватории, ζ и ψ — сферические координаты в вертикальной системе координат, а A_0 — азимут ее ориентации.

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \cos \zeta \sin \psi \sin \varphi + (\cos \zeta \cos \psi \cos A_0 - \sin \zeta \sin A_0) \cos \varphi, \\ \cos \delta \sin t &= -(\cos \zeta \cos \psi \sin A_0 + \sin \zeta \cos A_0), \\ \cos \varphi \sin t &= \cos \zeta \sin \varphi - (\cos \zeta \cos \psi \cos A_0 - \sin \zeta \sin A_0) \sin \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

В случае, когда $A_0 = 0$, получаем упрощенные соотношения:

$$\begin{aligned} \sin \zeta &= -\cos \delta \sin t, \\ \cos \zeta \sin \psi &= \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t, \\ \cos \zeta \cos \psi &= \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 \sin \delta &= \cos \zeta \cos(\psi - \varphi), \\
 \cos \delta \sin t &= -\sin \zeta, \\
 \cos \delta \cos t &= \cos \zeta \sin(\psi - \varphi).
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Реальная астрономическая монтировка будет работать в координатной системе (x', y', z') в общем случае отличающейся от идеальной вертикальной системы (x, y, z) по следующим показателям:

- некоторый наклон горизонтальной оси к плоскости горизонта, характеризуемый углом i ;
- неперпендикулярность осей реального телескопа $(\frac{\pi}{2} \pm k)$;
- коллимация, т.е. неперпендикулярность оптической оси ко второй оси телескопа, характеризуемая некоторым углом c .

Влияние вышеуказанных отклонений на координатную систему реальной астрономической монтировки рассмотрены в [1]. Алгоритм, с помощью которого по известным вертикальным координатам небесного светила (x, y, z) могут быть вычислены угловые сферические вертикальные координаты в системе реального инструмента с азимутом A_0 , если известны параметры i, k, c и углы поворота относительно нулевых реперов $(\Delta M_\psi, \Delta M_\varphi)$ по двум осям, следующий:

Сначала вычисляем прямоугольные координаты в вертикальной системе, учитывая наклон горизонтальной оси i :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = G, (-i) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}.
 \tag{10}$$

После этого переходим к соответствующей сферической системе координат:

$$\begin{aligned}
 \rho &= \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}, \\
 \zeta &= \arcsin(z' / \rho), \\
 \psi &= \arccos \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Остается учесть коллимацию и неперпендикулярность осей, тогда получим:

$$\begin{aligned}\zeta' &= \zeta + \Delta M_{\zeta}, \\ \psi' &= \Delta M_{\psi} + (c + k \sin \zeta) \sec \zeta.\end{aligned}\quad (12)$$

где ζ' и ψ' есть вычисленные сферические координаты в системе реального инструмента.

Возникает проблема: как определить параметры $i, k, c, \Delta M_{\zeta}, \Delta M_{\psi}, A_0$ и какие из них могут быть измерены непосредственно.

Если измерение наклона i вполне возможно, несмотря на связанные с этим технические трудности, то для остальных величин $k, c, \Delta M_{\zeta}, \Delta M_{\psi}, A_0$ это невозможно. Величины этих параметров зависят прежде всего от конструктивных особенностей монтировки, юстировки оптической и механической систем телескопа. Следовательно, необходим метод, с помощью которого определение угловых параметров $i, k, c, \Delta M_{\zeta}, \Delta M_{\psi}, A_0$ возможно для любой конкретной системы при конкретных условиях юстировки.

Очевидно имеют место зависимости:

$$\begin{aligned}\zeta' &= \zeta'(i, k, c, \Delta M_{\zeta}, A_0, \alpha, \delta, t), \\ \psi' &= \psi'(i, k, c, \Delta M_{\psi}, A_0, \alpha, \delta, t).\end{aligned}\quad (13)$$

Приращения координат ζ' и ψ' можем представить в виде:

$$\begin{aligned}\Delta \zeta' &= \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial i} \right|_{i=0} \Delta i + \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial A_0} \right|_{A_0=A_0} \Delta A_0 + \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial c} \right|_{c=0} \Delta c + \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial k} \right|_{k=0} \Delta k + \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial \Delta M_{\zeta}} \right|_{\Delta M_{\zeta}=0} \Delta M_{\zeta}, \\ \Delta \psi' &= \left. \frac{\partial \psi'}{\partial i} \right|_{i=0} \Delta i + \left. \frac{\partial \psi'}{\partial A_0} \right|_{A_0=A_0} \Delta A_0 + \left. \frac{\partial \psi'}{\partial c} \right|_{c=0} \Delta c + \left. \frac{\partial \psi'}{\partial k} \right|_{k=0} \Delta k + \left. \frac{\partial \psi'}{\partial \Delta M_{\psi}} \right|_{\Delta M_{\psi}=0} \Delta M_{\psi}.\end{aligned}\quad (14)$$

Согласно (12)

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial c} = \frac{\partial \zeta'}{\partial k} = 0, \quad \frac{\partial \zeta'}{\partial \Delta M_{\zeta}} = 1, \quad \frac{\partial \psi'}{\partial c} = \sec \zeta',$$

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial k} = \operatorname{tg} \zeta', \quad \frac{\partial \psi'}{\partial \Delta M_{\psi}} = 1,$$

так, что система (14) приобретает вид:

$$\begin{aligned}\Delta \zeta' &= \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial i} \right|_{i=0} \Delta i + \left. \frac{\partial \zeta'}{\partial A_0} \right|_{A_0=A_0} \Delta A_0 + \Delta M_{\zeta}, \\ \Delta \psi' &= \left. \frac{\partial \psi'}{\partial i} \right|_{i=0} \Delta i + \left. \frac{\partial \psi'}{\partial A_0} \right|_{A_0=A_0} \Delta A_0 + \Delta c \cdot \sec \zeta' + \Delta k \cdot \operatorname{tg} \zeta' + \Delta M_{\psi}.\end{aligned}\quad (15)$$

Вспользуемся (10), (11), (12) для нахождения остальных частных производных. Например:

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial \bar{\alpha}} = \frac{\partial \zeta}{\partial \bar{\alpha}} = \frac{\partial \zeta}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial \bar{\alpha}} + \frac{\partial \zeta}{\partial \bar{\alpha}} \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial \bar{\alpha}} + \frac{\partial \zeta}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \bar{\alpha}}$$

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial A_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial A_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial A_0} + \frac{\partial \zeta}{\partial \bar{\alpha}} \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial A_0} + \frac{\partial \zeta}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial A_0}$$
(16)

В итоге получаем систему условных уравнений:

$$\Delta \zeta = \frac{y'}{\sqrt{1-z'^2}} \Delta i + \frac{x'}{\sqrt{1-z'^2}} \Delta A_0 + \Delta M_{\zeta}$$
(17)

$$\Delta \psi' = \frac{x'y'}{x'^2 + y'^2} \Delta i - \frac{y'z'}{x'^2 + y'^2} \Delta A_0 + \sec \zeta \cdot \Delta c + \operatorname{tg} \zeta \cdot \Delta k + \Delta M_{\psi}$$

или, если воспользуемся (11):

$$\Delta \zeta = \sin \psi \Delta i - \cos \psi \Delta A_0 + \Delta M_{\zeta}$$
(18)

$$\Delta \psi' = -\cos \psi \operatorname{tg} \zeta \Delta i - \sin \psi \operatorname{tg} \zeta \Delta A_0 + \sec \zeta \Delta c + \operatorname{tg} \zeta \Delta k + \Delta M_{\psi}$$

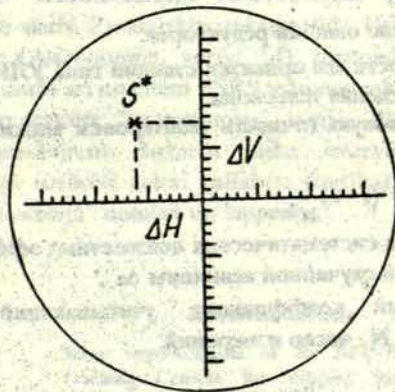


Рис.2. Координатная система поля зрения.

Таким образом получена система условных уравнений для нахождения $\Delta i, \Delta A_0, \Delta M_{\zeta}, \Delta M_{\psi}, \Delta c, \Delta k$ зависящая от измеренных величин $\Delta \zeta'$ и $\Delta \psi'$.

Величины $\Delta \zeta'$ и $\Delta \psi'$ связаны с непосредственно наблюдаемыми параметрами $\Delta H, \Delta V$, посредством соотношений:

$$\begin{aligned} \Delta v_i &= \frac{x}{\cos \zeta_i} (-\Delta H, \sin \gamma_i + \Delta V, \cos \gamma_i), \\ \Delta \zeta_i &= x(\Delta H, \cos \gamma_i + \Delta V, \sin \gamma_i), \\ \gamma_i &= \psi_i + \zeta_i - \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (19)$$

$\Delta H_i, \Delta V_i$ измеряются непосредственно по горизонтальной и вертикальной осям H, V для i -того измерения (рис.2) в окуляре телескопа.

Система линейных уравнений (18) решается методом наименьших квадратов [4]. После чего для определения реальных координат в вертикальной системе инструмента ζ' и ψ' необходимо подставить в (11) и (12) найденные значения поправок $\Delta i, \Delta A_i, \Delta c, \Delta k, \Delta M_i, \Delta M_r$ к параметрам i, A_i, c, k , а также новые значения ΔM_i и ΔM_r .

Указанный метод не ограничен по числу параметров, влияющих на точность наведения, т.е. он может быть использован и для большего числа параметров. Например, могут быть добавлены и систематические ошибки редукторов, при этом, конечно, необходимо знать явную функциональную зависимость:

$$\begin{aligned} \zeta' &= \phi + f_{\zeta}(\delta R_1), \\ \psi' &= \psi + f_{\psi}(\delta R_2), \end{aligned} \quad (20)$$

где $\delta R_1, \delta R_2$ - систематические ошибки редукторов.

Метод дает возможность для привязки станции типа УЛИС по звездам [5] и калибровки точности наведения телескопа.

Гарантированную угловую точность монтировки можно определить по следующей формуле [3]:

$$B = (\Delta^2 + k\sigma^2) + \sigma^2(1-k) \frac{1}{N}, \quad (21)$$

где Δ - суммарная ошибка систематических неизвестных эффектов,

$\sigma^2 = D(\Delta x_i)$ - дисперсия случайной величины Δx_i ,

k - корреляционный коэффициент, учитывающий связь между отдельными измерениями, а N - число измерений.

Литература

1. Жагар Ю.Х., Димитрова М.Б. Теория вертикальной монтировки. Научные инф. АС. № 58, М., 1986.
2. Дубошин Г.Н. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. Москва, Наука, 1983.
3. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений. Москва, 1976.
4. Христов Х.Я. Математические методы физики. Наука и искусство, София, 1967.
5. Абеде М.К. и др. Универсальная лазерная измерительная станция УЛИС, Высшая геодезия БАН №13, София, 1988.

**BIBLIOGRĀFISKAIS RĀDITĀJS
PAR LATVIJAS UNIVERSITĀTES ZINĀTNISKO RAKSTU
SĒRIJU "ASTRONOMIJA"**

Latvijas Universitātes Zinātnisko rakstu sērija "Astronomija" iznāk kopš 1960.gada. Šis ir 20. numurs - tātad jubilejas izdevums.

LU Zinātnisko rakstu 556.sējuma (Astronomija, sērija 18, 1990.gadā) pielikumā sniegts pārskats par katru iepriekšizdotā Astronomijas sērijas numura izdošanas gadu, tā nosaukumu. Lidz 1975.gadam (sērijai 11) tā tika izdota kā LU zinātniskie raksti; līdz 1988.gadam (sērijai 17) - kā resoru zinātnisko rakstu krājumi ar atšķirīgiem tematiskiem nosaukumiem. Ar 1990.gadu tiek atjaunoti LU zinātniskie raksti (arī to sējumu numerācija) un to iedalījums sērijās. Diemžēl, iepriekšminētajā numerācijā izlaists 1980.gada starpresoru zinātnisko rakstu krājums astronomijā "Zvaigžņu cauriešanas momentu automātiskā reģistrēšana" (Astronomija, sērija 13a).

Zinātnisko rakstu 175.sējuma (Astronomija, sērija 8, 1973.gadā) pielikumā sniegts universitātes Astronomiskās observatorijas darbinieku un aspirantu publicētie zinātniskie darbi Zinātniskos rakstos līdz 1972.gadam. Atzīmēsim, ka sākot ar 1981.gadu (Astronomija, sērija 14) zinātnisko rakstu krājumos tiek publicēti zinātniskie darbi arī no citām PSRS astronomiskām iestādēm.

Šajā Zinātnisko rakstu "Astronomija" sērijā 20 sniedzam pārskatu par publicētajiem zinātniskajiem darbiem laika intervālā no 1973.gada līdz 1993.gadam. Pārskatā uzrādīti autori (alfabēta kārtībā), darba nosaukums angļu valodā, sērijas "Astronomija" numurs un lappuses.

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
1.	<i>Abakumov E</i>	Some improvements of the AFU-75 Satellite Tracking Camera for imaging geostationary Satellites	18	117-126
2.	<i>Abalakin V.</i>	The new I.A.U. (1976, 1979) system of astronomical constants	14	96-103
3.	<i>Ābele M.</i>	Testing of an optical compensator on photoelectric reflecting zenith tube	12	59-62
4.	<i>Ābele M., Mukins E.</i>	Satellite laser ranging data reduction, accounting for the width of the light pulse	15	118-121
5.	<i>Ābele M., Vjaters J.</i>	On the determination of the telescope orbital axis orientation	12	22-27

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
6.	<i>Abele M., Vjaters J., Balodis J., Laucenieks L.</i>	About earth satellite pass observing parameter variations	14	137-146
7.	<i>Abele M., Vjaters J., Balodis J., Laucenieks L.</i>	On the effectivity of use of minimization methods in the artificial satellite orbit determination	14	129-136
8.	<i>Balodis J.</i>	Automated star identification	17	158-171
9.	<i>Balodis J.</i>	The star catalogue reading algorithm	17	138-157
10.	<i>Balodis J.</i>	Complex program for astronomical reduction of satellite photographic observations	10	52-67
11.	<i>Balodis J., Abakumov I.</i>	Computation of exposure moments for photos taken by the AI-U-75 type camera	15	113-117
12.	<i>Batnikov Ju.</i>	Intermediate orbits for initial part of motion	14	3-10
13.	<i>Batnikov Y., Mirmahmudov E.</i>	On computing the asteroid position by the Encke's method based on the reference orbits with the 2, 3 order initial touch	19	5-8
14.	<i>Belyaev N., Shaporev S.</i>	The Comet Schwassmann-Wachmann 3 (1930 VI = 1979g)	14	61-69
15.	<i>Belyaev S., Degtjarev V., Eventave Y.</i>	Influence of random launch errors on probability of spacecraft detection at its rise over the horizon	16	41-49
16.	<i>Bičevska G., Ivanovs A.</i>	On the stability of the azimuthal alignment of a transit instrument in the case of automatic tube elevation control	13a	81-85
17.	<i>Bičevska G.</i>	Automatic elevation setting control for a transit instruments	15	122-126
18.	<i>Bičevska G.</i>	The zenith distance setting's accuracy examination of the automatic transit instrument	16	77-84
19.	<i>Bičevska G., Gedrovics V.</i>	An improved star transit timing device for the transit circle	17	197-200
20.	<i>Bordovitsyna T., Shefer V., Harin B.</i>	The investigation of the motion of some special asteroids	14	77-86
21.	<i>Britals J.</i>	A perturbed eccentric anomaly as an independent variable for canonical differential equations	18	5-17
22.	<i>Chernitov A., Kraev S.</i>	On the efficiency of Newton method's analogues in the orbital parameter improvement problem	15	77-87
23.	<i>Churyumov K.</i>	About oscillations of plasma tails of Comets Abe (1970 XI), Kohoutek (1973 XII) and West (1976 VI)	14	70-76

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	l.pp.
24.	<i>Degtjarev V., Belyaev S., Eventave Y.</i>	Determination of visibility conditions of a cosmic object from space stations or systems	17	34-43
25.	<i>Denishchik S.</i>	Modification of the principle of adaptive receiving for laser ranging devices	18	155-159
26.	<i>Denishchik Y.</i>	Optimization of receiving devices of the laser satellite rangers from the point of view of statistical theory	18	146-154
27.	<i>Denishchik Y., Denishchik S.</i>	About use of YAG: Nd and ruby transmitters for laser ranging of artificial Earth satellites	17	212-217
28.	<i>Denishchik Y., Denishchik S., Medinsky A.</i>	Development of efficient receiving hardware for laser satellite on the basis of serial measurement equipment	18	141-145
29.	<i>Denishchik Y., Medinsky A., Murga V.</i>	Optimization of pumping regime of satellite laser-ranging transmitter active elements	17	206-211
30.	<i>Diriķis M.</i>	Some peculiarities in the motion of asteroids close to 2/1 commensurability with Jupiter	13	3-10
31.	<i>Diriķis M.</i>	Simple method for parabolic orbit determination from two observations	19	18-23
32.	<i>Diriķis M.</i>	About stellar perturbations of comets	17	100-111
33.	<i>Diriķis M.</i>	About asteroidal motion in the vicinity of Kirkwood gaps	14	87-95
34.	<i>Diriķis M.</i>	On the use of Vaisala's method for asteroid orbit determination	18	45-53
35.	<i>Emel'yanenko N.</i>	Close encounters of short-period comets with Jupiter	16	97-102
36.	<i>Emel'yanenko V.</i>	Main peculiarities in resonant motion of comets and meteor streams	17	61-71
37.	<i>Freimanis J.</i>	On spectra of some functions	13	28-34
38.	<i>Gedrovics A.</i>	A star transit moment registrar based on integration of the photovoltaic current	19	67-71
39.	<i>Gedrovics V.</i>	Optimal way of photovoltaic current integration in automated zenith tube	16	70-76
40.	<i>Gedrovics V.</i>	On the question of star transit moment registering	18	82-87
41.	<i>Gedrovics V.</i>	Calculation of ephemeris for automated zenith tube	16	63-69
42.	<i>Gedrovics V.</i>	Computation of apparent places of the stars for zenith tube observations	13a	112-115

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
43.	<i>Gedrovics V.</i>	The 15 BCM-5 desk top computer as a control unit for astronomical instruments	13a	100-111
44.	<i>Gedrovics V.</i>	Automatic of photoelectric bent-beam zenith tube	14	173-180
45.	<i>Ginev I., Stoikov A., Toncheva A.</i>	The use of a spectrum partitioning element for improving of laser ranger's spectral selection	18	166-172
46.	<i>Gorshkov V., Shcherbakova N.</i>	On the observational estimation on thermal instrument and refractive errors	18	88-98
47.	<i>Gorshkov V., Platais V., Polozhentsev D.</i>	On individual catalogues RI-80 and RI-86 right ascensions of stars obtained at the Time Service of University of Latvia	18	99-116
48.	<i>Ivanovs A.</i>	Photoelectric device for determination of mean passage moment of stars	11	55-79
49.	<i>Ivanovs A.</i>	System of automatic steering for the transit instrument	9	3-23
50.	<i>Ivanovs A.</i>	On the automation of the photoelectric transit instrument	9	77-82
51.	<i>Ivanovs A.</i>	Personal and instrumental error leaps in the photoelectric time-service of Astronomical observatory in the years 1970-73.	11	17-28
52.	<i>Ivanovs A., Ogris M.</i>	Star transit moment registration device with multiple contact processing capability and direct information to a computer	13a	86-99
53.	<i>Ivanovs A., Rozenbergs P.</i>	Automatic adjustment of the mark generator in the star mean transit moment recorder	12	39-44
54.	<i>Izvekov V.</i>	Ephemeris computations in case of ill-conditioned normal equations	14	11-18
55.	<i>Jemeljanenko V., Jemeljanenko N.</i>	On the accuracy of orbit determination of short period comets	14	19-27
56.	<i>Judrups O.</i>	Continual equivalence of dynamical systems on torus	12	151-156
57.	<i>Kaupša E.</i>	Transit instrument observations without support	9	83-89
58.	<i>Kelman E.</i>	Modified Newton method and some problems of discrete maximum	14	122-128
59.	<i>Kelman E., Nazarova A.</i>	Numerical research of one problem of the improvement of asteroidal orbits	18	30-44
60.	<i>Kharichev V.</i>	Invariants and error estimate of the star identification problem	12	168-171
61.	<i>Kharin A.</i>	Organizing problems of positional observations of major planets by means of astrometry	14	113-121

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	L.pp.
62.	<i>Kirjushenova N., Chepurova V., Sherahkina S.</i>	The Oort cloud evolution under the influence of the Galactic field	17	72-99
63.	<i>Kuzhelev S., Surnin Y.</i>	On consideration of effect of light pressure in numerical prediction orbit of geodetic AES	16	31-40
64.	<i>Lapinsh A.</i>	On the unimodality of the sum of random variables	17	172-177
65.	<i>Laucenieks L.</i>	On the accuracy of the photographic observations in the Riga satellite tracking station	8	62-69
66.	<i>Laucenieks L.</i>	Computation of the mobile barrier area by minimization method	12	90-107
67.	<i>Laucenieks L.</i>	On parametrization of orbits and ephemeris	19	24-37
68.	<i>Laucenieks L., Pavēnis A., Pāvila D.</i>	About computation of minor planets' search ephemeris	17	127-137
69.	<i>Laucenieks L., Vyaters J.</i>	Some AES tracking questions	13	76-84
70.	<i>Lobkova N.</i>	Secular and long period perturbations of Pluto by Neptune	12	136-150
71.	<i>Matsko N., Ushant N., Kudack K.</i>	Modernization of the transmitter of the laser range-finder LD-2 Uzghorod	18	127-130
72.	<i>Mūkins E.</i>	The optical arrangement of the star catalogue on computer for satellite position reduction	13	68-75
73.	<i>Murga V.</i>	Choice of regimes of charging the solid state lasers used in satellite ranging	18	160-165
74.	<i>Murga V., Esselbah V.</i>	Stabilization of pulse parameters of satellite laser-ranging system transmitting devices	17	218-225
75.	<i>Ogriņš M.</i>	On effect of nonlinear characteristics of the photoelectric device in the determination of the mean moments	14	186-191
76.	<i>Ogriņš M.</i>	Results of determination of the mean star transitmoments	10	3-11
77.	<i>Ogriņš M.</i>	On alignment of the general of reference impulses for determination of the mean star transitmoments	9	64-76
78.	<i>Ogriņš M.</i>	Device for direct registration of mean passage moments of stars with transfer of results on digital printer	11	80-90
79.	<i>Ogriņš M.</i>	About accuracy of the photoelectric registration of the star transit	10	12-29
80.	<i>Oidov Dan-Aa</i>	Registration of star transit moments on several levels	13a	26-69

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
81.	<i>Pavenis A.</i>	On the execution of analytical operations with echeloned series by computer	18	18-24
82.	<i>Pavenis A., Gedrovics V.</i>	On ephemeris computation and observations reduction algorithms for the automated zenith tube	17	185-191
83.	<i>Pogony A., Khrutskaya E.</i>	Automatic tape-recording and treatment of the readings of meridian circle ocular micrometer	12	45-54
84.	<i>Radzijevisky V.</i>	On existence of massive trans-plutonian bodies with retrograde motion	16	126-143
85.	<i>Revina I.</i>	Influence of the discovery selection in the distribution of comets	12	63-75
86.	<i>Revina I.</i>	Nearby stars in the future and in the past to estimate perturbation at comet motion	17	121-126
87.	<i>Revina I.</i>	About the limits of the solar system	13	23-27
88.	<i>Revina I.</i>	Perturbations of stars on the motion of long-period comets	13	15-22
89.	<i>Roze L.</i>	On the use of under transits of stars in studying time service catalogues	17	178-184
90.	<i>Roze L.A., Roze L.F.</i>	Azimuth stability of the transit instrument of the Latvia State University	12	162-167
91.	<i>Rozenbergs P.</i>	About level reading of transit instrument	13	60-67
92.	<i>Rubans A.</i>	Application of controlled frequency dividers to tracking devices	18	136-140
93.	<i>Rubans A., Salmish K.</i>	Linking the information for the control computer to an absolute time scale	17	201-205
94.	<i>Sadunaev V., Evdokimova L.</i>	Determination of probabilistic characteristics of visibility of spacecrafts by differential procedure	18	70-81
95.	<i>Salitis A.</i>	On the evolution of long period-comets	18	25-29
96.	<i>Salitis A.</i>	On the evolution of the perihelion distances of the orbits of long period comets	17	112-120
97.	<i>Salitis A.</i>	About stellar influence on the change of perihelion distance of long-period comets	19	9-17
98.	<i>Salitis A.</i>	The analysis of distribution of comets by the semi-major axis	15	10-17
99.	<i>Salitis A.</i>	On calculation of mean velocity change in the long-period comet problem	14	35-39
100.	<i>Salitis A.</i>	Mean square value of the transversal impulse in the long-period comet problem	14	28-34
101.	<i>Salitis A.</i>	Dependence of measurement precision upon the shape of the object	15	37-43

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
102.	<i>Salitis A.</i>	About the improvement of orbital elements of long-period comets	16	144-150
103.	<i>Shaporev S.</i>	A new criterion for rough errors selection in astronomical observations	14	104-112
104.	<i>Shaporev S.</i>	On polynomial approximation of time series	15	28-36
105.	<i>Shaporev S.</i>	Estimation of probability characteristics of the observational errors of the short-period comets	16	85-96
106.	<i>Shefer V.</i>	Influence of time transformations upon efficiency of numerical integration of regularized motion equations	16	103-125
107.	<i>Shefer V.</i>	Numerical integrations of equations of the motion and equations in the variations of KS variable	17	44-60
108.	<i>Sokolov V.</i>	Generalized intermediate orbits for initial parts of perturbed trajectories	15	44-51
109.	<i>Šteins K.</i>	A generalized method of determination of star transits accounting for accidental ejections	13a	3-25
110.	<i>Šteins K.</i>	On the requirements to the clock correction computation program	13	55-59
111.	<i>Šteins K.</i>	Estimation of lateral refraction	12	3-10
112.	<i>Šteins K.</i>	On the applications limits of the Optic formula	13	11-14
113.	<i>Šteins K.</i>	Introduction of automatic CS for the passage instrument at Astronomical observatory	11	3-16
114.	<i>Šteins K., Balodis J.</i>	Investigation of the distortion of aerophotofilm emulsion layer	10	30-51
115.	<i>Šteins K., Divina L., Revina I.</i>	On the influence of nongravitational forces in the motion of comets	8	38-61
116.	<i>Šteins K., Ivanovs A.</i>	A mirror grating for automatic telescope pointing on a chosen star	12	55-58
117.	<i>Šteins K., Ivanovs A.</i>	The catalogue for automatic photoelectric observation of stars from TSC	11	29-54
118.	<i>Šteins K., Kaupuša E., Ivanovs A.</i>	The brightness error of the astronomical time determinations of the Latvian State University	13a	70-74
119.	<i>Šteins K., Kaupuša E., Rozenbergs P.</i>	On the accuracy of the star transit moment photoelectric recording	12	157-161
120.	<i>Šteins K., Kaupuša E., Rozenbergs P.</i>	A spherical lamellar refraction model with linear corrections	12	11-21
121.	<i>Šteins K., Lauceniēks L.</i>	On the accuracy of the satellite orbit determination	8	3-16
122.	<i>Šteins K., Lauceniēks L.</i>	The method of mobile barrier for predictions of the satellite appearing	8	17-37

Nr.	Autors	Raksta nosaukums	Nr.	L.pp.
123.	<i>Šteins K., Ogrīšs A., Ivanovs A.</i>	On using of the movable track in observations of the star transits	9	24-53
124.	<i>Šteins K., Ogrīšs M.</i>	About synchronization of reference marks for determination of the mean moments	14	181-185
125.	<i>Šteins K., Ogrīšs M., Ivanovs A.</i>	Time lag of the signals with restricted amplitude of a photoelectric device	13a	75-80
126.	<i>Šteins K., Revina I.</i>	Stability of quasi-parabolic orbits in the cometary cloud	12	76-89
127.	<i>Šteins K., Rozenbergs P.</i>	Device for determination of error of the mean star transits	9	54-63
128.	<i>Šteins K., Salitis A.</i>	Analysis of cometary diffusion equation	15	3-9
129.	<i>Šteins K., Salitis A.</i>	The model of star motions for determining star perturbations in cometary motions	14	40-48
130.	<i>Stoykov A.</i>	Extension of angle-parametrization model U.L.S.-630	19	53-66
131.	<i>Šveics A., Kalniņa R.</i>	Investigation of functioning dynamics of control chain-wheel	13a	116-121
132.	<i>Šveics A., Kalniņa R.</i>	Investigations of functioning dynamics of control chain-wheel	13	85-94
133.	<i>Tomanov V.</i>	Statistics of nearly parabolic comets	15	18-27
134.	<i>Tomanovs V.</i>	A remark to the Hypothesis of eruption origin of comets	14	56-60
135.	<i>Tomanovs V.</i>	Families of nearly parabolic comets connected with Mercury and Venus	14	49-55
136.	<i>Topolnikov V.</i>	Consideration of aiming errors of the laser ranging estimating astronomical measurements effectivity	18	131-135
137.	<i>Tsitsin F.</i>	Genesis and evolution of an ensemble of the Solar system comet bodies: some thermodynamical aspects	19	97-117
138.	<i>Vilks I.</i>	On reduction of photoelectric zenith tube observations	17	192-196
139.	<i>Vjaters J.</i>	On the determination of the stars crossing the AE ₁ observation zone	12	28-38
140.	<i>Vjaters J.</i>	The investigation of the PST-150 control and angle measuring systems devices	16	50-62
141.	<i>Žagars J.</i>	About calculation of normal and synchronous positions of satellites	10	66-74
142.	<i>Žagars J.</i>	The calculation of vertical barrier for prediction the satellites movement	13	35-45
143.	<i>Žagars J.</i>	Single parameter sets of satellite orbital elements	12	108-120

Nr.	<i>Autors</i>	Raksta nosaukums	Nr.	Lpp.
144.	<i>Žagars J.</i>	Calculation of parametrization constants	12	121-135
145.	<i>Žagars J., Žagars N.</i>	Possibilities of determination of earth gravity field local anomalies from satellite observations	10	75-83
146.	<i>Zariņš A.</i>	On the unification of computer storage of satellite tracking data	14	163-172
147.	<i>Zariņš J.</i>	On the prognosticating of satellite pass using the mobile vertical barrier	13	46-54
148.	<i>Zarinsh A., Zhagars J.</i>	Influence of the Earth rotation on the satellites visible trajectories	16	13-24
149.	<i>Zarins A.</i>	A comparison of MTLRS-1 and Riga SLR observations obtained during august-september, 1991	19	48-52
150.	<i>Zarins A.</i>	Satellite observations support software package for IBM PC	19	38-47
151.	<i>Zarinsh A.</i>	About polynomial representation of satellite's laser observations	16	25-30
152.	<i>Zarinsh A.</i>	On accuracy of the approximation of a satellite's visible trajectory by a little circle	17	13-33
153.	<i>Zarinsh A.</i>	On modeling of geostationary satellite's visible motion	18	54-62
154.	<i>Zeinalov R.</i>	On improvement of the orbital elements of the satellite using observations with inaccurate time fixation	15	88-98
155.	<i>Zhagars J.</i>	Determination of eclipse and reemergence moments of the satellite approach points in satellite visibility prediction tasks	18	63-69
156.	<i>Zhagars J.</i>	Some properties of satellite visible trajectories	15	52-65
157.	<i>Zhagars J.</i>	Satellite visibility on the sky	17	5-12
158.	<i>Zhagars J., Laucenieks L.</i>	Analytical improvement of satellite ephemeris	15	99-112
159.	<i>Zhagars J., Zarinsh A.</i>	Satellites visible trajectory in the case of circular orbits	16	3-12
160.	<i>Zhagars J., Zarinsh A.</i>	Solutions of the satellite and observers approach equations	15	66-76
161.	<i>Zhagars Ju.</i>	Investigation of the generalized tangential approximation of satellites visible motion	14	147-162
162.	<i>Zhagars Y.</i>	Direct methods of the orbit determination (survey)	19	72-96