

# ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ НАВЕДЕННЯ ТА ПОБУДОВА “КАРТИ ПОХИБОК” ДЛЯ ТЕЛЕСКОПУ ТПЛ-1М НА ОСНОВІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗІРОК

**С.І. Ігнатович, Я.М. Мотрунич,  
І.Ф. Найбауер, В.М. Періг**

Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень,  
вул. Далека, 2а, 88000, Ужгород  
e-mail: space@univ.uzhgorod.ua

За результатами трьох серій спостережень зірок визначені середньоквадратичні похибки наведення альт-азимутальної установки телескопу ТПЛ-1М для різних точок небесної сфери. На основі отриманих значень похибок наведення по азимуту і висоті побудовані еліпси розсіювання середньоквадратичних похибок для 24 точок небесної сфери. Побудована “карта похибок” наведення телескопу для 24-х вузлових точок небесної сфери. Сумарна середньоквадратична похибка наведення не перевищує 1,4 минут дуги.

Телескоп ТПЛ-1М є приладом альт-азимутальної системи монтування і має можливість рухатися в двох взаємно перпендикулярних напрямках – горизонтальному і вертикальному. Повертаючи трубу телескопа навколо вертикальної осі змінюється азимут, при повороті навколо горизонтальної осі змінюється висота (зенітна віддаль). Таке розміщення осей монтування та комп'ютерне управління дозволяє не тільки навести телескоп на потрібний небесний об'єкт, а й слідкувати за його рухом, повертаючи трубу одночасно навколо обох осей з різними швидкостями. Як і в інших типах систем монтування телескопа, альт-азимутальна установка має свої недоліки, які впливають на ефективність роботи. Деякі з джерел похибок впливають лише на точність наведення телескопа на об'єкт, тому є суттєвими лише при роботі з світлоприймачами, що мають нульове поле (спектрограф, електрофотометр) і несуттєві при вивченні протяжних полів. Інші впливають на ведення, викликаючи в площині телескопа поступові зміни зображення зорі за час спостереження, що призводить до розмивання зображення [1,2].

Щоб телескоп точно “виходив” на заданий об'єкт і супроводжував його, необхідно виконання двох вимог:

- а) ефемериди небесних об'єктів мають бути точними;
- б) оптична і механічна системи телескопу мають бути добре з'юстовані.

Перша умова, в основному, виконується. А щодо другої, то похибки юстування повністю усунути неможливо. Тому існує цілий ряд комп'ютерних програм, основною метою яких є корекція недоліків, які призводять до похибок при наведенні і веденні телескопа. Для точних спостережень в програмі ведення телескопа потрібно враховувати також механічні похибки монтування [3].

Для врахування таких похибок телескопа проводяться астрономічні спостереження за певною методикою [4]. Одним з критеріїв юстування осей телескопу є точне виставлення мікрометрів лімбів азимуту і висоти установки. Для цього найкращою, за рекомендацією конструкторів, є методика виставлення лімбів на основі візуальних спостережень Полярної зірки. Після автоматичного наведення телескопу на Полярну зорю спостерігач, дивлячись у гід телескопа, за допомогою “мишки” комп'ютера

“заводить” зображення зорі у центр поля зору, і натиском кнопки “мишки” фіксує зміщення зображення зорі, тобто різницю (О-С) по висоті і азимуту. Корекцією мікрометрів лімбів похибку автоматичного наведення на Полярну зорю потрібно довести до 30" по обох координатах.

Як показав досвід спостережень точкових небесних об'єктів на телескопі ТПЛ-1М (в тому числі і ШСЗ), характеристики по точності наведення установки з часом змінюються. Тому для успішної роботи на приладі хоча б 2 рази на рік потрібно проводити контрольні спостереження зірок для уточнення похибок автоматичного наведення телескопу на різні точки небесної сфери, тобто обновлювати так звану “карту похибок” альт-азимутальної установки телескопа.

Нижче наведені результати обробки трьох серій спостережень, проведених 11.10.05, 04.11.05 та 15.05.06.

Слід зауважити, що останні серії спостережень проведені двома способами:

1. Телескоп у автоматичному режимі виводився на певний заданий азимут від  $0^0$  до  $360^0$  через інтервал у  $45^0$  або  $90^0$ . Задавався коридор по азимуту, що не перевищував  $10^0$ , (у межах якого рухався телескоп по висоті) і проводилися спостереження каталожних зірок на різних висотах  $h$  від  $0^0$  до  $90^0$ ;

2. Телескоп у автоматичному режимі виставлявся на певну задану висоту від  $0^0$  до  $90^0$  через інтервал у  $20^0 - 25^0$ . Задавався коридор по висоті, що не перевищує  $5^0$ , (у межах якого рухався телескоп по азимуту) і проводилися спостереження каталожних зірок на різних азимутах  $A$  від  $0^0$  до  $360^0$ .

Спостереження проведені в режимі діалогу “Star Observations”, яка входить у пакет програм управління телескопом.

Побудовані залежності одичної похибки автоматичного наведення (О-С) по азимуту (висоті) від зміни висоти та азимуту положення телескопу і визначені середньоквадратичні похибки наведення для всій серій спостережень. Виявилось, що закономірності розташування точок на графіках залежності найкраще описуються поліномом 3 ступеня. Використана

програма Regres із пакету робочих програм ЛКД.

Для прикладу на рис.1 приведений графік залежності похибок наведення телескопу по азимуту (О-С) від висоти у його положенні по азимуту біля  $0^0$  (1 спосіб спостережень), на рис.2 – графік залежності похибок наведення телескопу по азимуту (О-С) від азимуту у його положенні по висоті біля  $30^0$  (2. спосіб спостережень) за даними від 15.05.2006р.

(О-С)азимута, сек дуги;  $A \approx 0^0$

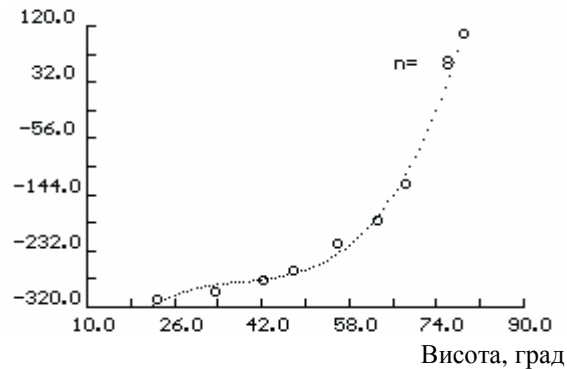


Рис.1. Графік залежності похибок наведення по азимуту від висоти у його положенні по азимуту біля  $0^0$  (1 спосіб спостережень, рух телескопу по вертикалі).  $\sigma_{(O-C)азимута}=11,5''$

(О-С)азимута, сек. дуги;  $h \approx 30^0$

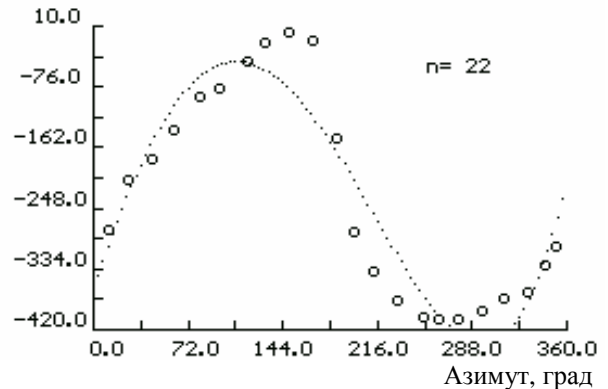


Рис.2. Графік залежності похибок наведення телескопу по азимуту від азимуту у його положенні по висоті біля  $30^0$  (2. спосіб спостережень, рух телескопу по горизонталі).

$\sigma_{(O-C)азимута}=49,0''$

На рис.3, 4 приведені узагальнені графіки залежності похибок наведення по азимуту та по висоті від висоти положення телескопу за даними спостережень 15.05.2006 р.

(О-С)азимута, сек. дуги

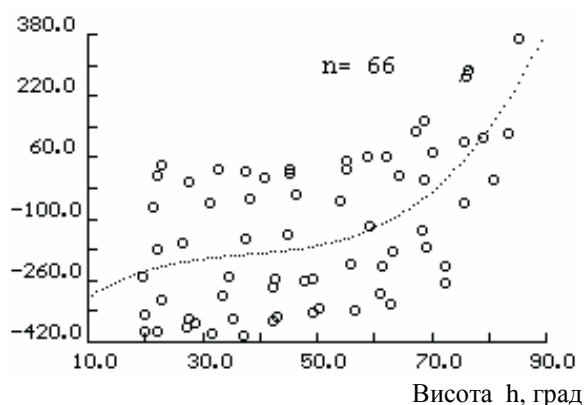


Рис.3. Узагальнений графік залежності величини похибок наведення по азимуту від висоти положення телескопу за даними 15.05.2006р.  $\sigma_{(O-C)азимута}=158,5''$

(О-С)висоти, сек. дуги

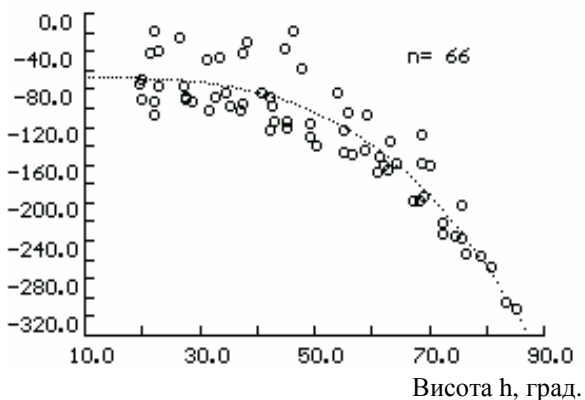


Рис.4. Узагальнений графік залежності величини похибок наведення по висоті від висоти положення телескопу за даними 15.05.2006р.  $\sigma_{(O-C)висоти}=27,0''$

На основі отриманих значень середньоквадратичних похибок наведення телескопу по азимуту і висоті  $\sigma_A$  та  $\sigma_h$  окремо для серій спостережень, коли телескоп переміщується від зорі до зорі у вертикальному напрямку, установлений на восьми різних азимутах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  і для серій вимірів, коли телескоп рухається по азимуту, установлений на трьох різних висотах, побудовані еліпси розсіювання середньоквадратичних похибок наведення телескопу для 24 точок небесної сфери. Еліпси розсіювання відображають сумарну похибку наведення для горизонтального і вертикального руху телескопа. Малі

стрілки – за результатами переміщення телескопу по висоті, а великі – за даними переміщення телескопу по азимуту.

Для порівняння на рис.5, 6 наведемо аналогічні графіки залежностей, отриманих за даними спостережень 8.10.2000р.

(О-С)азимута, сек. дуги

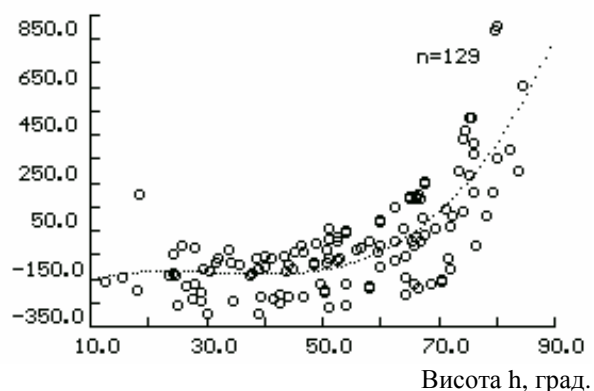


Рис.5. Узагальнений графік залежності величини поправок наведення по азимуту від висоти положення телескопу за даними 8.10.2000р.  $\sigma_{(O-C)азимута}=142,5''$

(О-С)висоти, сек. дуги

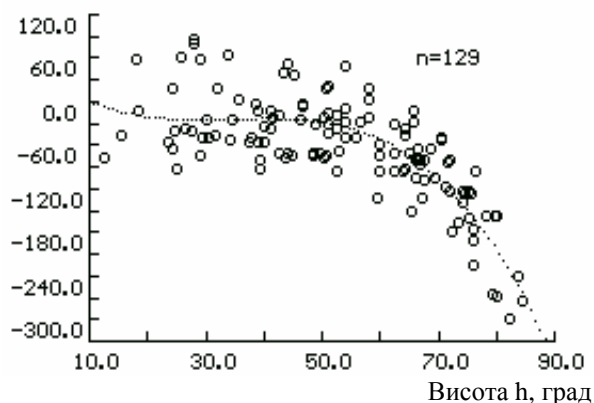
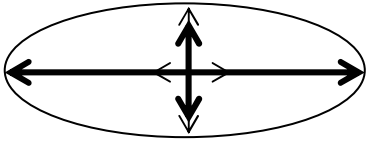


Рис.6. Узагальнений графік залежності величини поправок наведення по висоті від висоти положення телескопу за даними 8.10.2000р.  $\sigma_{(O-C)висоти}=42,5''$

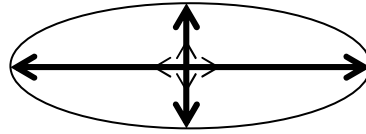
Для прикладу нижче наведені еліпси розсіювання середньоквадратичних похибок наведення телескопу, побудовані за результатами однієї серії спостережень від 15.05.2006р.

Похибки наведення телескопу вздовж лінії однакових висот (альмукуantarат):

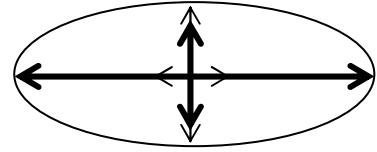
$$h=30^\circ, \sigma_A^A = 48,3'', \sigma_h^A = 16,0''$$



A=0°



A=45°



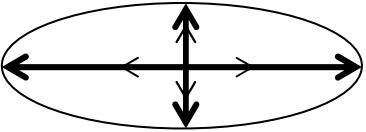
A=90°

Похибки наведення телескопу вздовж лінії однакових азимутів (вертикал):

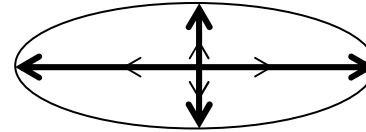
$$\sigma_A^h = 11,5'', \sigma_h^h = 16,5''$$

$$\sigma_A^h = 10,0'', \sigma_h^h = 12,2''$$

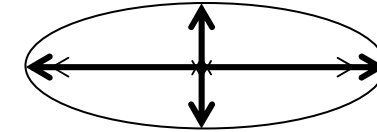
$$\sigma_A^h = 8,4'', \sigma_h^h = 20,8''$$



A=135°



A=180°



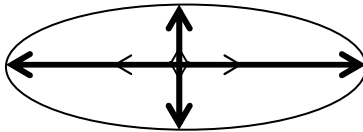
A=225°

Похибки наведення телескопу вздовж лінії однакових азимутів (вертикал):

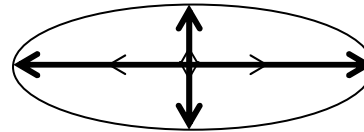
$$\sigma_A^h = 15,3'', \sigma_h^h = 14,6''$$

$$\sigma_A^h = 19,5'', \sigma_h^h = 8,6''$$

$$\sigma_A^h = 45,5'', \sigma_h^h = 2,3''$$



A=270°



A=315°

Похибки наведення телескопу вздовж лінії однакових азимутів (вертикал):

$$\sigma_A^h = 14,6'', \sigma_h^h = 5,6''$$

$$\sigma_A^h = 19,2'', \sigma_h^h = 10,4''$$

У таблиці 1 наведені значення середньоквадратичних похибок наведення по азимуту і висоті та значення сумарної похибки у випадку переміщення телескопу у горизонтальному напрямку (по азимуту), отримані на основі побудованих залежностей типу (рис.2) за даними для трьох ночей спостережень 2005-2006рр. Сумарні похибки характеризують загальну похибку наведення телескопу у різних точках небесної сфери, розташованих по даній альмукуantarаті. Як видно з таблиці ця похибка не більша ніж 85 секунд дуги.

У таблиці 2 наведені значення аналогічних похибок наведення при вертикальному переміщенні телескопу (по

висоті) для 3-х ночей 2005-2006рр. і одної ночі 2000р., для порівняння, отримані на основі побудови залежностей типу (рис.1, рис.3 – 6). У цьому випадку похибка наведення лежить у межах 60-70 секунд дуги.

Еліпси середньоквадратичних похибок дали змогу побудувати “карту похибок”. Основна ідея такої карти полягає у тому, що на підставі проведених спостережень зірок визначені похибки наведення телескопу по висоті і азимуту у 24 вузлових точках небесної півсфери. Створена таким чином “карта похибок” приведена у таблиці 3.

Таблиця 1. Значення середньоквадратичних похибок наведення по азимуту і висоті та значення сумарної похибки у випадку переміщення телескопу у горизонтальному напрямку (по азимуту), отримані на основі побудови залежностей типу (рис.1б) за даними для 3-х ночей спостережень 2005-2006рр.

h, град.	11.10.2005			04.11.2005			15.05.2006		
	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$
30	30.0	19.5	35.8	66.2	16.6	68.2	48.3	16.0	50.9
55	48.6	19.2	52.3	67.4	21.0	70.6	42.6	14.3	44.9
75	69.8	18.2	72.1	67.1	19.1	69.8	80.2	16.8	81.9

Таблиця 2. Значення середньоквадратичних похибок наведення по азимуту і висоті та значення сумарної похибки при вертикальному переміщенні телескопу (по висоті) для 3-х ночей 2005-2006рр. і однієї ночі 2000р.

A, град.	11.10.2005			04.11.2005			15.05.2006			08.10.2000		
	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma_A$	$\sigma_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$
0	27.0	22.6	35.2	11.7	13.1	17.6	11.5	16.5	20.1	47.5	9.6	48.5
45	-	-	-	-	-	-	10.0	12.2	15.8	13.4	8.6	15.9
90	46.3	17,9	49.6	36.1	17.3	40.0	8.4	20.8	22.4	9.3	8.8	12.8
135	-	-	-	-	-	-	15.3	14.6	21.1	65.9	17.3	68.1
180	27.8	13.2	30.8	60.6	10.9	61.6	19.0	8.6	20.9	37.2	16.7	40.8
225	-	-	-	-	-	-	45.5	2.3	45.6	34.1	22.7	41.0
270	26.5	6.7	27.3	17.0	5.2	17.8	14.6	5.6	15.6	33.5	6.3	34.1
315	-	-	-	-	-	-	19.2	10.4	10.4	31.7	7.9	32.7

Таблиця 3. “Карта похибок”, отримана за даними спостережень 15.05.2006р.

Азимут A, град	Висота h, град								
	30			55			75		
	$\sigma''_A$	$\sigma''_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma''_A$	$\sigma''_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$	$\sigma''_A$	$\sigma''_h$	$\sigma''_{\text{сум}}$
0	49,7	23,0	54,8	44,1	21,8	49,2	81,2	23,5	84,5
45	49,3	20,1	53,2	43,8	18,8	47,7	80,8	20,8	83,4
90	49,0	26,4	55,7	43,4	25,2	50,2	80,6	26,7	84,9
135	50,7	21,7	55,1	45,3	20,4	49,7	81,6	22,3	84,6
180	52,1	18,2	55,2	46,8	16,7	49,7	82,5	18,9	84,6
225	66,4	16,2	68,3	62,3	14,5	64,0	92,2	17,0	93,7
270	50,4	17,0	53,2	45,0	15,4	47,6	81,5	17,7	83,4
315	52,0	19,1	55,4	46,7	17,7	49,9	82,5	19,8	84,8

**Висновок**

Результати, одержані за даними спостережень, проведених протягом 2005-2006рр. при порівнянні з результатами аналогічних спостережень 2000 року вказують на складні залежності, які виникають при наведенні телескопу на ділянку неба. Проте видно, що похибка наведення телескопу більша по азимуту

ніж по висоті. Цей факт підтверджується починаючи з 2000 р.

Розрахована “карта похибок” показує, що точність наведення телескопу ТПЛ-1М не перевищує 1,4 минути дуги, що задовольняє наші спостереження, оскільки поле зору телескопа-гіда на ТПЛ-1М становить 20 минут дуги.

### Література

1. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. – М.: Наука, 1976. – 512 с.
2. Современные телескопы: Под ред. Бербиджа Дж., Хьюит А. / Пер с англ. – М.: Мир, 1984. – 312с.
3. Суберляк В.Р. Розробка та створення програмно-апаратного комплексу для високоточної локації ШСЗ: Автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук: 01.03.2001, - НАН України, Головна астрон. обсерваторія. – К., 2002. – 20с. – Укр.
4. Andris Pavenis. SLR telescope support software. – Papers of Astronomical Observatory University of Latvia. September 18 1997. – 80 p.

## RESEARCH OF SYSTEM OF AIMING AND CONSTRUCTION OF “CARD OF ERRORS” FOR TO TELESCOPE TPL-1M ON THE BASIS OF SUPERVISIONS OF STARS

**S.I. Ihnatovich, Ya.M. Motrunich,  
I.F. Neubauer, V.M. Perih**

Uzhhorod National University, Laboratory of space researches,  
Daleka str., 2a, 88000, Uzhhorod  
e-mail: space@univ.uzhgorod.ua

As a result of three series of supervisions of stars mean square errors of aiming of the alt-azimutal setting to the telescope TPL-1M for the difference points of celestial sphere are defined. On the basis of the got values errors of aiming on an azimuth and height ellipses of dispersion of mean square errors for 24 points of celestial sphere are built. The “card of errors” of aiming of telescope for 24 key points of celestial sphere is built. The general mean square error of aiming does not exceed 1.4 minute arcs.