

## Осьові системи геодезичних приладів

### План

1. Загальні відомості та вимоги до осьових систем
  2. Вертикальні осьові системи
  3. Горизонтальні осьові системи
  4. Дослідження правильності роботи вертикальної осьової системи
- 

### **1. Загальні відомості та вимоги до осьових систем**

Осьові системи є основними механічними вузлами геодезичних приладів, відносно яких обертаються окремі частини геодезичних приладів.

Точність, довговічність і надійність геодезичних приладів, особливо кутомірних, багато в чому залежить від цих пристроїв. Вони повинні з необхідною точністю забезпечувати:

- взаємне розташування осей геодезичного приладу (перпендикулярність, паралельність або суміщення осей);
- постійність взаємного розташування та збереження форми і розмірів осей в процесі тривалої експлуатації;
- правильність обертання або переміщення осьових систем в умовах температури, що змінюється.

Довговічність, точність і надійність приладів багато в чому залежать від форми і якості виготовлення осей. При виготовленні деталей осьових систем до них пред'являють жорсткіші вимоги, ніж до всієї решти деталей і вузлів геодезичних приладів. Так, у високоточних приладах радіальний зазор між деталями вертикальних осьових систем, що сполучаються, складає всього 0,5 – 1 мкм, граничне відхилення від правильної геометричної форми також допускається не більше 0,5 мкм. Саме відхилення осі і втулки від заданої геометричної форми приводять до неприпустимого колювання осі обертання, зміни центрування.

У осьових системах високоточних приладів зазор повинен бути мінімальним, але достатнім для утримування шаруючи масла товщиною близько 0,5 мкм при якомога меншій його в'язкості. Такий зазор є граничним, оскільки подальше зменшення веде до заклинювання осі. Початкові дані для розрахунку розміру зазору – кутові величини, в межах яких допускаються колювання осі. Відхилення розмірів деталей осьової системи від ідеальних викликаються ще *зовнішніми впливами*.

Геодезичні прилади використовують для роботи в різних кліматичних умовах при значних перепадах температур від -40 до +50°C. Зміна температури викликає заклинювання осьових пар або затрудняє обертання окремих частин приладу. Щоб виключити ці явища, підбирають метали з гарною і приблизно однаковою теплопровідністю; коефіцієнт лінійного розширення в охоплюючій деталі повинен бути менше, ніж у охоплюваної.

Окрім зовнішніх чинників на осьові системи впливають причини, діючі в часі: *знос і деформації*.

Щоб виключити швидкий знос деталей і зберегти під час роботи розраховані допуски, необхідно забезпечити високу якість обробки поверхонь деталей і підібрати метали, стійкі проти зносу. Для цього їх піддають термічній і хіміко-термічній обробці, проводять “штучне старіння”. Останнє полягає в тому, що деталь нагрівають до 150 – 200°C і витримують при цій температурі до 24 год., а потім повільно охолоджують. Таку операцію повторюють два – чотири рази, чергуючи її з механічною обробкою.

Осьові системи в геодезичних приладах підрозділяють на *вертикальні* і *горизонтальні*.

Під *вертикальною* системою осей розуміється система, що сполучає верхню частину приладу, яке несе візирні пристосування, з підставкою і з горизонтальним кутомірним кругом, якщо такий є в приладі.

Під *горизонтальною* системою осей розуміють звичайно систему, що дозволяє обертати зорові труби приладів в прямовисній площині. Горизонтальна вісь обертання приладів встановлюється перпендикулярно до вертикальної.

З урахуванням викладеного вище вертикальні і горизонтальні осі повинні відповідати наступним основним вимогам:

- коливання геометричної осі деталі, що обертається, відносно геометричної осі нерухомої деталі повинне бути мінімальне;
- геометричні осі втулок і цапф повинні практично співпадати;
- при обертанні осі або втулки тертя між їх дотичними поверхнями повинно бути настільки мале, що обертання однієї з них не повинно захоплювати іншу;
- при обертанні зорової труби геометрична вісь горизонтальної осі не повинна змінювати свого положення;
- якщо конструкція приладу дозволяє перекладати зорову трубу в лагерах, то геометрична вісь горизонтальної осі після перекладання труби не повинна змінювати свого положення;
- рівномірне навантаження на обидві цапфи, а також правильне обертання горизонтальної осі і однакове зношування обох цапф повинно забезпечуватися симетричним розташуванням центру тяжіння горизонтальної осі відносно підставок, несучих вісь;
- забезпечення легкості і плавності обертання.

## 2. Вертикальні осьові системи

З всіх осьових конструкцій геодезичних приладів найскладнішими є осьові системи кутомірних приладів. До них пред'являють найжорсткіші вимоги. Це пояснюється складнощами конструктивного рішення осьових систем. В кутомірних приладах аліада повинна обертатися незалежно від лімба, не захоплюючи його, а в скріпленому положенні – сумісно. Крім того, на аліаді встановлюють підставки для горизонтальної осі, нахил якої щодо вертикальної має жорсткі допуски.

Для забезпечення стабільності, системи, необхідної легкості ходу осі повинні бути довгими. Їх довжина звичайно в 3-4 рази більше діаметру  $d$ , і вибирається приблизно рівною  $l = 2r$ , де  $r$  – радіус горизонтального круга (лімба).

Вертикальні осьові системи сучасних кутомірних приладів можна класифікувати по виду тертя, оскільки осьові системи це завжди декілька видів підшипників. По цьому признаку осьові системи можна класифікувати на осьові системи з:

- тертям ковзання;
- тертям коченням;
- комбіновані.

Серед осьових систем, заснованих на терті ковзання, раніше всього стали застосовувати конічні осьові системи (рис. 1). Вони прості у виготовленні і підгонці деталей. Основними деталями будь-якої осьової системи є втулка (лагер) і вісь (цапфа). Навіть при значній довжині  $l$  (наприклад, 140 мм) максимальний і мінімальний діаметри осі порівняно невеликі ( $d_{max} = 40$  мм), а кут між твірними  $2\alpha$  коливається в межах від 1 до 15°. Основними недоліками конічних осьових систем є значна величина нормального тиску на конічну поверхню тертя і залишкова невизначеність положення осі як деталі, що плаває в тонкому шарі масла. Остання обставина також відноситься і до циліндричних осьових систем з тертям ковзання. Принципові схеми конічних осьових систем показані на рис. 1 а, б, в.

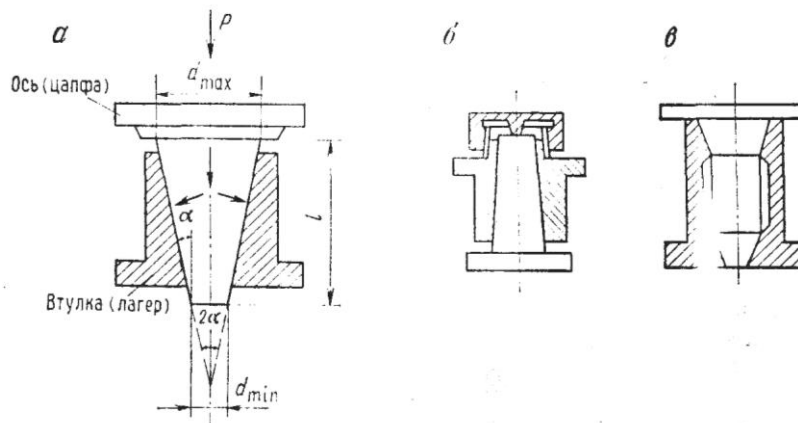


Рис. 1 Конічні осьові системи

З появою оптичних теодолітів виявилася непридатність конічної осі для точних приладів, викликана необхідністю перерегулювання положення упору осі через стан мастила і ступеня зносу, що приводить до необхідності переюстировки оптичної відлікової системи. Випуск промисловістю відповідного шліфувального устаткування дозволив перейти до циліндрових осьових систем з тертям ковзання. На рис. 2 показані деякі різновиди циліндрових осьових систем. В цих системах навантаження несуть торцеві деталі – заплечики осі (рис. 2, а), сферичні під'ятники (рис. 2, б) або підшипник кочення (рис. 2, в). Недоліком таких циліндричних систем також є невизначеність положення осі як деталі, плаваючої в шарі мастила товщиною до 1 мкм, чим обумовлена межа точності (близько 2"). Загальний допуск на нахили, що викликаються недосконалістю осьової системи, складає  $\Delta = 0,5\tau$  де  $\tau$  – ціна поділки рівня при алідаді кутомірного приладу. Окремі допуски, наприклад, точність виготовлення осі (цапфи) алідади визначаються як

$$\Delta_r = 0,1\tau'' \cdot \frac{2r}{\rho''},$$

де  $r$  – радіус горизонтального круга.

Так, при  $\tau = 20''$ ,  $r = 45$  мм одержимо  $\Delta_r = 0,9$  мкм.

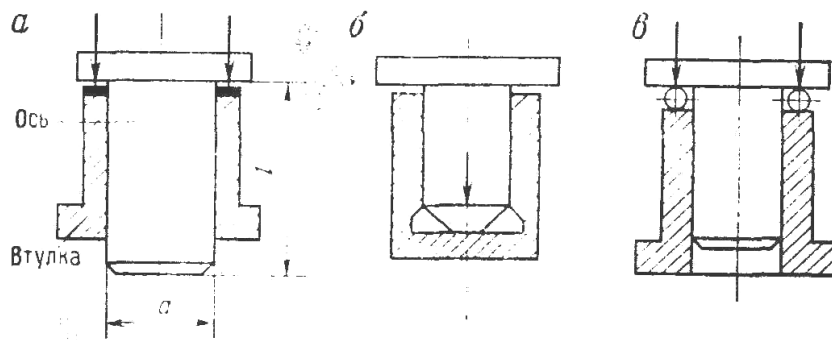


Рис. 2 Циліндричні осьові системи

Циліндричні осі мають такі переваги:

- відсутність трудомісткого регулювання плавності ходу;
- не потрібне часте змащування;
- гарна роботи протягом довгого часу без спеціального догляду;
- простіші у серійному виробництві.

Відхилення осьової пари від круглоциліндричної форми, як правило, не перевищують 1 мкм. Для забезпечення достатньо легкого ходу осі між нею і втулкою вводиться шар мастила товщиною близько 0,5 мкм, тому кожний з кінців осі може відхилитися на величину близько 0,5 мкм, що при довжині осі 90 мм (Т2) дасть величину нахилу до 1,3".

Поліпшити умови тертя можна зменшенням площі поверхні дотику осі і втулки (рис. 3, а) і використанням високоточних шарикопідшипників (Т2, Т5).

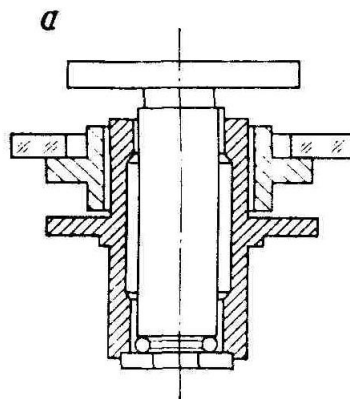


Рис. 3 Осьова система теодолітів Т2 і Т5

В залежності від пристрою системи вертикальних осей розрізняють теодоліти прості, повторювальні і з лімбом, що переставляється, які можуть використовуватися відповідно для різних методів вимірювання кутів. При простому вимірюванні кут між двома напрямками виходить як різниця двох відліків по лімбу – для таких теодолітів достатньо лімб нерухомо укріпити на нижній частині – втулці осьової системи.

При вимірюванні кутів способом повторень вимірюваний кут багато разів послідовно відкладається на лімбі; для цього використовується осьова система, що дозволяє обертати верхню частину приладу як самостійно (при закріпленій середній частині з лімбом), так і разом з середньою частиною, тобто разом з лімбом. Для цього осьова система містить спеціальний так званий повторювальний пристрій, що дозволяє легко скріпляти лімб з верхньою алідадною частиною.

Теодоліти з лімбом, що переставляється, мають пристрій у вигляді системи шестерень, що дозволяє незалежно від решти частин приладу повертати лімб в межах 360°. Це дозволяє вести вимірювання способом прийомів, кругових прийомів, а також у всіх комбінаціях з використанням кожного разу різних ділянок лімба (теодоліти Т2, 2Т2, Т1 і ним подібні).

Прикладом повторювальної системи є схема Рейхенбаха (рис. 4, а). В таких теодолітах вісь середньої частини приладу вставляється у втулку нижньої частини, а в порожнисту вісь середньої частини, як у втулку, вставляється вісь верхньої частини. Причому обидві осі – середньої і верхньої частин теодоліта – знаходяться на розвантажувальних пружинах. В цій системі недоліком є те, що осі середньої і верхньої частин не роз'єднані повністю, внаслідок чого лімб може захоплюватися при обертанні верхньої алідадної частини.

У системі Борда (рис. 4, б) порожниста вісь середньої частини надягає на порожнисту вісь нижньої частини, в яку, у свою чергу, вставляється вісь верхнього алідадного пристрою. Таким чином, верхня алідадна частина, не стикається з середньою частиною, що включає лімб, Така конструкція вертикальної осьової системи широке поширення в теодолітах середньої точності (Т5) і в точних теодолітах типу Т2 (див. рис. 3, а).

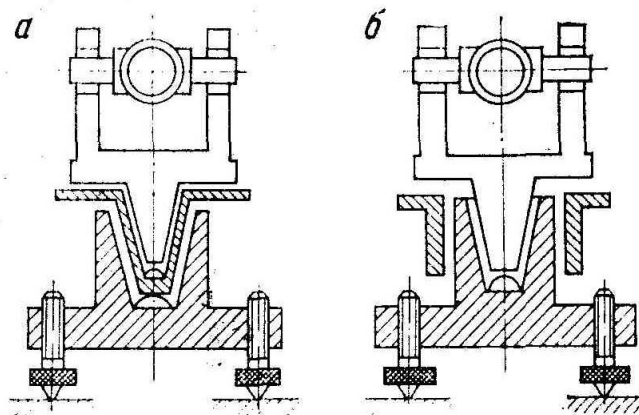


Рис. 4 Повторювальні осьові системи

### 3. Горизонтальні осьові системи

У геодезичних приладах горизонтальні осі сполучають зорову трубу з підставками.

При розрахунку на точність горизонтальних осей виходять із заданої точності, збереження в просторі положення осі обертанні зорової труби. Помилка у вимірюваному напрямі

$$\Delta_i = i \cdot \operatorname{tg} \nu,$$

де  $\nu$  – кут нахилу зорової труби;  $i$  – нахил горизонтальної осі.

Горизонтальна осьова система (рис. 5, а) складається з двох, як правило, циліндричних півосей – цапф, що обертаються в лагерах, встановлених на вертикальних колонках теодоліта або іншого геодезичного приладу. З цапфами жорстко скріпляється зорова труба і вертикальний круг. Сучасне устаткування дозволяє виготовляти цапфи горизонтальної осі з високою точністю (наприклад, овальність не перевищує 0,001 – 0,002 мм).

Лагери можуть бути круглими, циліндричними (рис. 5, б) і V-подібними з виправними гвинтами. Відстань  $l$  між центрами лагер вибирається приблизно рівною діаметру вертикального круга ( $l \approx 2r$ ).

Конструкція круглоциліндричного лагера (див. рис. 5, а, б), виконаного за кінематичним принципом, дозволяє виконувати зазор між цапфою і лагером досить великим (0,01 – 0,03 мм). Для того, щоб вісь лежала стійко, в нижній частині лагера робиться вибірка глибиною 0,01 – 0,15 мм, обмежена центральним кутом 90°. Вісь отвору лагера зміщена відносно зовнішнього діаметру на величину  $\Delta$ . Це дає можливість поворотом лагера встановлювати вісь обертання зорової труби перпендикулярно до вертикальної осі приладу.

Навідний пристрій виконують так, щоб вплив на вісь сил, здатних зсунути її по азимуту або по висоті, був мінімальним. Конструкція V – подібного лагера (рис. 5, в) дозволяє переміщати опорні площини по висоті за допомогою виправних гвинтів.

Матеріалом для цапф і лагера служить бронза БрАЖ9-4 і легкі сплави В95Т1 і Ал27. В Т2 вся горизонтальна осьова система виготовлена з бронзи, в Т5 з бронзи виготовлені тільки цапфи, в Т15 і Т30 осьова система виготовлена цілком з легких сплавів, частини, що при цьому труть, покриті твердою оксидною плівкою.

Сумарна помилка дотримання геометричних параметрів горизонтальної осьової системи (відхилення від циліндрової форми, дотримання діаметру цапфи, якість шліфовки і т. п.) визначаються як  $\Delta = 0,1\tau \frac{l}{\rho}$ , де  $\tau$  – ціна поділки рівня.

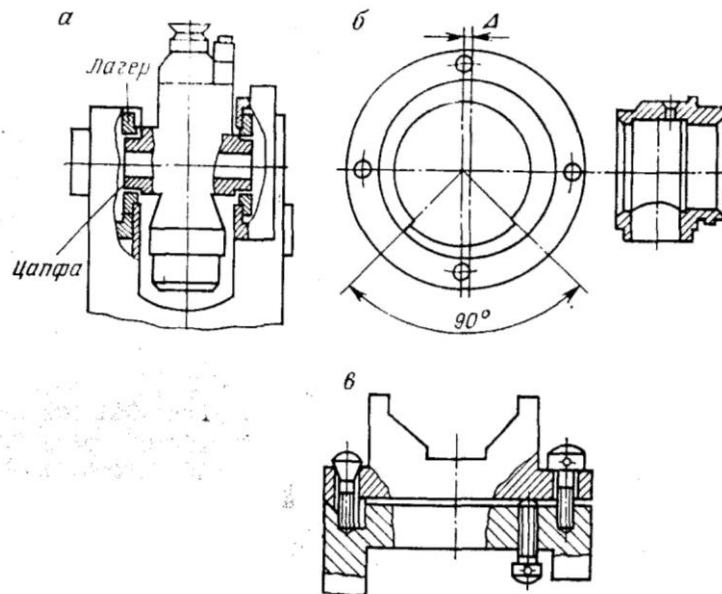


Рис. 5 Горизонтальна осьова система зорової труби

#### 4. Дослідження правильності роботи вертикальної осьової системи

Дослідження правильності роботи вертикальної осьової системи. Дослідження вертикальної осьової системи дозволяє виявити коливання осі обертання, визначити нахил осі і величину зазору між елементами осьової системи, що сполучаються.

Якість роботи осьової системи можна визначити за допомогою точного рівня ( $\tau \leq 10''$ ), який встановлюється на верхній (алідадній) частині теодоліта. Перед дослідженням добиваються перпендикулярності осі рівня до осі обертання алідади в межах 0,5 поділки.

Вимірювання проводяться при перестановці алідади через 30° шляхом взяття відліків  $u_L$  і  $u_H$  по кінцях бульбашки рівня в межах двох оборотів при обертанні алідади за годинниковою стрілкою і двох оборотів – проти годинникової стрілки.

Для кожної установки алідади обчислюють вимірювання нахилу осі рівня

$$v' = [(u_L + u_H)_i - (u_L + u_H)_0] \cdot \frac{\tau}{2},$$

де  $\tau$  – ціна поділки контрольного рівня

$$(u_L + u_H)_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (u_L + u_H)$$

Будують графік (рис. б), на якому по осі ординат відкладають  $v'$  а по осі абсцис  $\varphi$ . Максимальна різниця однойменних координат характеризує коливання осі, яке викликане зазором в осьовій парі.

Якщо обчислити середині значення  $v'$  для кожної установки алідади

$$\bar{v} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 v'_i,$$

по них можна побудувати синусоїду і визначити по її амплітуді нахил осі при дослідженні.

Середнє квадратичне коливання осі буде

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (v' - \bar{v})^2}{4n}},$$

де  $v'$  – ордината синусоїди,  $\bar{v}$  – число установок алідади.

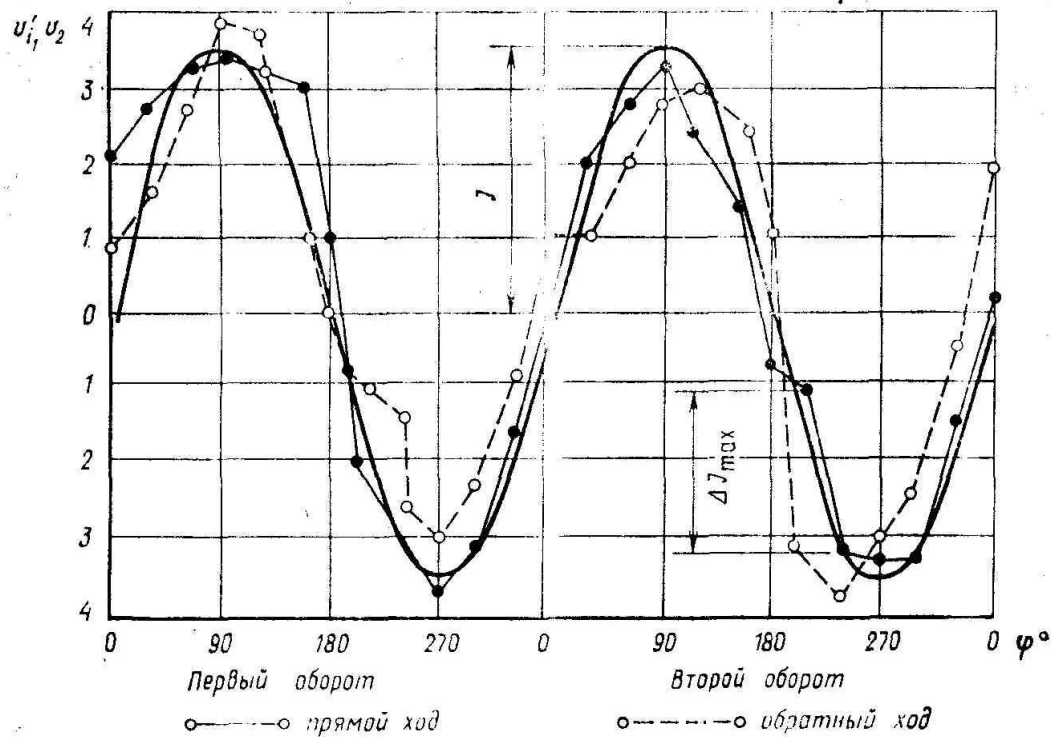


Рис. б Графік результатів дослідження вертикальної осьової системи