

Загальні відомості про оптичні теодоліти, їх класифікацію та особливості будови

План

1. Загальні відомості про оптичні теодоліти. Класифікація оптичних теодолітів по конструкції та точності.
2. Особливості конструкцій теодолітів геодезичних та в маркшейдерському виконанні.

1. Загальні відомості про оптичні теодоліти. Класифікація оптичних теодолітів по конструкції та точності.

Теодоліти – прилади, призначені для вимірювання горизонтальних кутів та кутів нахилу (або зенітних відстаней).

Згідно ГОСТ 23543-79 “Приборы геодезические. Общие технические требования” теодоліти віднесені до групи кутомірних приладів і поділяються на наступні типи:

- за конструкцією на:
 - механічні (верньєрні);
 - оптичні;
 - кодові.
- за призначенням на:
 - геодезичні;
 - астрономічні;
 - маркшейдерські;
 - автоколімаційні;
 - повторювальні.

В окрему групу, згідно даного ГОСТ, виділені гіртеодоліти.

Згідно ГОСТ 10529-79 промисловість виготовляє теодоліти наступних типів Т1, Т2, Т5, Т15, Т30 і Т60 а також їх модифікації. В *табл. 1* наведені основні технічні характеристики даних теодолітів. В залежності від модифікації теодоліти можуть бути в наступному виконанні: Т15М, Т30М – в маркшейдерському виконанні; Т5К, Т15К і Т30К з компенсатором кутів нахилу замість рівня при вертикальному крузі; Т1А, Т2А і Т5А – з автоколімаційним окуляром. Деякі моделі теодолітів можуть випускатися з зоровою трубою прямого зображення. При випуску теодолітів – с прямим і оберненим зображенням оптики зорової труби – в марку теодоліта з прямим зображенням приписується літера П, наприклад Т5КП. Для позначення модифікації теодоліта перед позначенням типу теодоліта вказується порядковий номер моделі, наприклад: 2Т2, 4Т30П.

Всі теодоліти, що випускаються, згідно ГОСТ 10529-79 можна поділити на:

- високоточні $m_{\beta} \leq 1''$ (Т1, ОТ02, Т05);
- точні $m_{\beta} \leq 10''$ (Т2, Т5);
- технічні $m_{\beta} > 10''$ (Т15, Т30, Т60).

Таблиця 1

№	Назва параметру	Норми по типам					
		T1	T2	T5	T15	T30	T60
1.	Середня квадратична помилка вимірювання кута одним прийомом, сек., не більше: горизонтального вертикального	1	2	5	15	30	60
		1,5	3	12	25	45	-
2.	Повні помилки діаметрів лімбів горизонтального круга, сек., не більше	1,2	1,5	2,5	-	-	-
3.	Збільшення зорової труби	30, 40	25			18	15
4.	Кут поля зору, градус	1	1,5			2	
5.	Діаметр вільного отвору об'єктиву труби, мм	50	35			25	20
6.	Найменша відстань візування, м., не більше	5	2		1,5	1,2	1
7.	Границя вимірювання кутів, градус: горизонтального вертикального	360					
		+60			-55		
8.	Маса, кг., не більше: теодоліта теодоліти і приладді в упаковці	11	5	4,5	3,5	2,5	2
		16	9	8,5	6,5	3,5	3,5

2. Особливості конструкцій теодолітів геодезичних та в маркшейдерському виконанні.

Загальні особливості будови теодолітів

Зорові труби усіх теодолітів мають оптичні візир, в теодолітах серії Т60 допускаються прості.

Теодоліти серій Т2, Т5, Т15, Т15М, Т30, Т30М мають нитковий далекомір, коефіцієнт якого складає $100 \pm 0,5\%$, асиметрія далекомірних штрихів складає не більше $0,2\%$.

Теодоліти Т1 і Т2 виконанні з двостороннім (по діаметрально протилежним штрихам), а теодоліти Т5, Т15, Т30 і Т60 з одностороннім відліком по лімбу. Всі теодоліти, окрім, Т60, мають пристрій електроосвітлення. Оптичні центрири Т1, Т2, Т5 і Т15 вбудовані в аліададу, для теодолітів Т30 і Т60 допускається оптичне центрування через порожнисту вертикальну вісь за допомогою зорової труби.

Теодоліти мають рівні при аліададній частині з ціною поділки Т1 – $\tau=10''$, Т2 – $\tau=15''$, Т5 – $\tau=30''$, Т15 – $\tau=45''$, Т30 і Т60 – $\tau=60''$, у теодоліта Т1 рівень при вертикальному крузі з ціною поділки $\tau=10''$, а у Т2 і Т5 – $\tau=15''$. Теодоліти Т5К, Т15К і Т30М мають компенсатор при вертикальному крузі, діапазон роботи якого, відповідно, складає 3', 4' і 5'; помилка компенсації, відповідно, 3", 5" і 10".

Теодоліт типа Т60, оснащений зенітною насадкою, дозволяє виконувати вертикальне проектування, починаючи з 1 м – відстані найменшого візування.

Середній термін служби теодолітів повинен бути 8 років, а для теодолітів в маркшейдерському виконанні – 6 років.

Сучасні оптичні теодоліти є точними приладами; їх круги і відлікова система виготовлені з оптичного скла. Як правило, відлік виконують за допомогою одного загального для обох кругів відлікового мікроскопа, розташованого поряд із зоровою трубою. Як відлікові пристосування широко використовують оптичні мікрометри (в основному – клинові, рідше – з плоскопаралельними пластинками), шкаловий мікроскопи і мікроскопи з індексом (останні тільки в технічних теодолітах).

У теодолітах останніх випусків використовують високоякісні зорові труби відносно невеликої довжини з апохроматичною або ахроматичною корекцією, які можна переводити через zenit. Труби високоточних приладів забезпечують, як правило, обернене зображення. Останніми роками намітився перехід до труб з прямим зображенням (в приладах масового вживання).

Широко використовуються в теодолітах такі елементи, як компенсатор (замість рівня при вертикальному крузі), оптичний центрир в алідадній частині, оптичні візир при трубі, зйомна орієнтир бусоль, далекомірні насадки, призми для крутого візування.

Для зручності роботи у більшості теодолітів затискні і навідні пристрої розміщуються на одній механічній осі. Широкого використання отримали при виготовленні приладів полегшені і високоміцні антимагнітні матеріали і сплави.

У геодезичних приладах зорова труба служить для візування і відліку по шкалам рейок, а також для контролю стійкості геодезичних приладів в процесі вимірювань (перевірочні труби). Всі зорові труби як мінімум включають об'єктив (телеоб'єктив), окуляр, сітку ниток.

По конструкції зорові труби всіх теодолітів схожі між собою. Розрізняються лише конструкції фокусуєчого механізму. В одних моделях (Т30, Т15, Т15К, Т5К) фокусуєчи рукоятка – кремальєра – винесена на бічну кришку, в інших (Т5, Т2, 2Т2, 2Т5, 2Т5К) кремальєра виконана у вигляді кільця на трубі.

Особливості будови теодолітів в маркшейдерському виконанні.

Теодоліти в маркшейдерському виконанні в основному аналогічні геодезичним теодолітам технічної точності, але мають деякі особливості, які пов'язані з умовами виконання зйомок.

Так теодоліти в маркшейдерському виконанні мають верхній центр на поверхні зорової труби, що представляє собою заглиблення діаметром не більше 0,5 мм, для центрування теодоліта під точками, які закріплені в стелі виробки.

Не рідко в підземних гірничих виробках виникає необхідність у вимірюванні кутів нахилу близьких до 90°. Тому теодоліти в маркшейдерському виконанні мають, для таких цілей, дві зорові труби: головну – центральну і додаткову – ексцентренну. Центральна зорова труба жорстко з'єднана з горизонтальною віссю обертання таким чином, що її візирна вісь лежить в одній площині з вертикальною віссю інструмента. Ексцентренна труба теж з'єднана з горизонтальною віссю, але винесена на її кінець. При такому положенні ексцентренної труби горизонтальний круг теодоліта не заважає вимірюванню кутів в виробках крутого закладення.

Враховуючи стиснені умови виконання зйомок зорова труба теодоліту в маркшейдерському виконанні повинна допускати можливість виконання зйомки на невеликі відстані до 1-2 м.

Для підвищення продуктивності та якості виконання вимірювань в умовах шахти теодоліти в маркшейдерському виконанні повинні мати системи електричного підсвічування відлікових пристроїв, сітки ниток зорової труби, рівнів і верхнього центру, а також комплект приладдя для автоматичного центрування.

Оскільки умови вимірювання в шахті є несприятливими (запиленість, підвищена вологість, наявність агресивних середовищ і т.ін.) тому теодоліти в маркшейдерському виконанні виготовляються в пиле- та вологозахисному варіанті.

При виконанні зйомок в умовах шахти небезпечних по викидах метану та пилу теодоліти з електричними системами виконуються у вибухонебезпечному варіанті.

Крім того в комплект теодолітів в маркшейдерському виконанні входить комплект додаткового приладдя для полегшення умов зйомок та для підвищення продуктивності.

Теодоліти технічні

Теодоліти технічні призначені для кутових вимірювань при інженерних, геологічних і лінійних дослідженнях, при прокладці теодолітних і тахеометричних ходів, в зйомочних мережах, при перенесенні проектів в натуру, при геодезичному забезпеченні будівництва

споруд і т.п. Ці прилади зазвичай невеликих розмірів, мають малу масу і прості у використуванні. Діаметр горизонтального круга у них в межах 50-80 мм, а вертикального 40-70 мм, збільшення зорової труби 17-25х. Через відносно невисоку точність ці теодоліти звичайно мають прості відлікові пристрої – в старих конструкціях верньєри, а в сучасних односторонні штрихові і шкалові мікроскопи.

До цього класу теодолітів відносяться оптичні теодоліти Т15, Т30, Т60.

Оптична схема теодоліта Т30 має одноканальну відлікову систему з взяттям відліків по одній стороні кутомірних кругів. Оцінка долі поділки круга проводиться на око по нерухомому індексу.

Формули для обчислення кутів нахилу мають наступний вигляд:

$$\alpha = \frac{L - П - 180^\circ}{2}, \quad \alpha = L - MO = MO - П - 180^\circ, \quad (2.1)$$

де L і $П$ – відліки по вертикальному крузі при його положенні зліва і з права;

MO – місце нуля вертикального круга.

Теодоліт 2Т30 розроблений на базі теодоліта Т30. Зорова труба із збільшенням 20х має рівень для установки труби в горизонтальне положення.

Вертикальний круг має секторну оцифровку, як відліковий пристрій використовується шкаловий мікроскоп, ціна поділки шкали 5', точність відліку по кругах 0,5'.

У теодоліті Т15 також застосована одноканальна схема відлікової системи з відліком по одній стороні кутомірних кругів.

У полі зору відлікового мікроскопа зображення штрихів горизонтального круга відмічено літерою «Г», а вертикального – літерою «В». Кутмірні круги розділені через 1°, кожний штрих оцифрований. У верхній і нижній половині поля зору є дві шкали, що містять по 60 основних поділок і по 2 додаткових. Номінальне значення ціни однієї поділки шкали – 1'. Помилка взяття відліку за шкалами складає 0,1' (6").

У теодоліті Т15К застосований вертикальний круг з секторною оцифровкою. Секторна оцифровка дозволяє визначати кути нахилу, не застосовуючи додаткових обчислень. Вертикальний круг розбитий на 4 сектори, з яких два протилежних мають додатню оцифровку, а два інших – від'ємну. Відповідно верхня оцифровка шкали служить для зняття додатніх вертикальних кутів, нижня – від'ємних.

У теодоліті Т15К основне положення вертикального круга – зліва від спостерігача. Формули для обчислення кутів нахилу мають наступний вигляд.

$$\alpha = \frac{L - П}{2}, \quad \alpha = L - MO = MO - П. \quad (2.2)$$

Теодоліт Т15К розроблений на базі Т15. Основною відмінністю являється вузол компенсатора вертикального круга, дещо змінена конструкція зорової труби, а також оптична система об'єктивів вертикального і горизонтального кругів.

Зорова труба в Т15К прямого зображення і на відміну від Т15 містить поворотну призматичну систему Порро.

В якості автоматичного компенсуючого елемента в Т15К застосована призма з кришкою (Акр-90°) на маятниковому пружинному підвісі.

Погрішність компенсатора не перевищує 1 — 2".

Точні теодоліти

До точних теодолітів відносяться Т5, Т5К., 2Т5, 2Т5К, Т2, 2Т2.

Теодоліт Т5 має точно таке ж поле зору відлікового мікроскопа, що і Т15. В теодоліті Т5 за основне положення прийнятий вертикальний круг справа. Формули для обчислення кутів нахилу мають наступний вигляд:

$$\alpha = \frac{П - L - 180^\circ}{2}, \quad \alpha = П - MO = MO - L - 180^\circ. \quad (2.3)$$

де $П$ і L – відліки по вертикальному крузі при його положенні з права і зліва;

MO – місце нуля вертикального круга.

До відліків менших 90° , попередньо додають 360° . Перед взяттям відліку по вертикальному кругу необхідно переконатися в тому, що кінці пузирька рівня суміщені.

Відліковий пристрій теодоліта 2Т5, що є представником групи уніфікованих теодолітів серії 2Т, аналогічний відліковому мікроскопу теодоліта Т15К. В теодоліті 2Т5, як і в інших теодолітах уніфікованої серії, за основне положення прийнятий вертикальний круг зліва.

Для обчислення кутів нахилу використовують формули (2.2) – ті ж, що і при обчисленні кутів, виміряних теодолітом Т15К.

Перед вимірюванням кутів нахилу слід сумістити кінці пузирька рівня установочним гвинтом.

Принцип дії оптичного компенсатора теодоліта Т5К оснований на тому, що оптична деталь або ціла оптична система, закріплена на пружині або проволочках, стає маятником і під дією власної маси прагне зайняти прямовисне положення, компенсуючи цим помилку установки теодоліта.

Теодоліт Т15К відрізняється від теодоліта Т5К лише напрямом оцифровки шкали вертикального круга. За основне положення, як і у всіх інших теодолітах уніфікованої групи 2Т, прийнятий вертикальний круг зліва.

Теодоліт Т5К може бути використаний як нівелір. Для приведення візирної осі зорової труби в горизонтальне положення достатньо шляхом її нахилу встановити відлік по відліковому мікроскопу, рівний місцю нуля (МО), тому до точності визначення МО вертикального круга пред'являються підвищені вимоги. Висоту приладу вимірюють до червоної крапки, розташованої в центрі кремальєр.

Теодоліт Т2 має ряд вузлів, уніфікованих з іншими теодолітами. Основними відмінними особливостями теодоліта Т2 є кутомірні круги, розділені з високою точністю, складніша оптична схема відлікової системи. Остання дозволяє використовувати при взятті відліків принцип суміщеного відліку по двом протилежним сторонам кутомірних кругів оптичних мікрометрів.

Рівномірність шкали мікрометра забезпечується на точних повздовжніх ділільних машинах з помилкою не більше $0,002$ мм, що відповідає помилці відліку в $0,03''$.

Зображення штрихів горизонтального і вертикального кругів формуються в системі мікрометра роздільно по двох оптичних каналах. Перемикання каналів здійснюється за допомогою призми, яку під час відліку по горизонтальному кругу відводять убік шляхом обертання спеціальної рукоятки перемикача, а при відліку по вертикальному кругу вводять в систему.

У верхній половині поля зору відлікового мікроскопа-мікрометра великого вікна видно зображення штрихів основної сторони круга, а в нижній – протилежної їй – контрольної сторони. В малому вікні видно горизонтальний штрих – індекс і зображення штрихів шкали мікрометра.

Горизонтальний круг має подвійні (біфілярні) штрихи, а вертикальний – одинарні; при спостереженні вертикального круга фон поля набуває жовтого відтінку.

Щоб взяти відлік по кругу, необхідно обертанням маховичка мікрометра сумістити зображення верхніх і нижніх штрихів круга. Відлік числа градусів проводять по верхньому зображенню зліва від центру або безпосередньо в центрі вікна. Потім беруть відлік числа десятків хвилин, який рівний числу інтервалів, укладених між відліченим верхнім оцифрованим штрихом і нижнім оцифрованим штрихом, відмінним від верхнього на 180° . При цьому слід мати на увазі, що нижній оцифрований штрих завжди розташовуватиметься управо від верхнього або, як окремий випадок, може бути суміщений з ним. Одиниці хвилин відлічують в малому віконці по лівому ряду цифр. Десятки секунд відлічують там же, але по правому ряду цифр. Секунди і їх частки відлічують по нерухомому індексу, маючи на увазі, що кожна мала поділка шкали відповідає $1''$.

$$z = \frac{L - \Pi + 360^\circ}{2}, \quad z = L - MZ = MZ - \Pi, \quad (2.3)$$

де z – зенітна відстань;

MZ – місце зеніта;

Л і П – відліки по вертикальному крузі при його положенні зліва і з права;

При необхідності до *MZ* необхідно прибавити 360° .

Основними конструктивними особливостями моделі теодоліта 2Т2 є: нова система відліку по мікроскопу оптичного мікрометра; нерухоме закріплення сітки ниток – виправлення колімаційної помилки виконується шляхом повороту всієї зорової труби; уніфікація ряду вузлів з теодоліта 2Т5, 2Т15; наявність круга-шукача для установки початкового відліку; застосовані закріпні пристрої куркового типу.

У відліковій системі теодоліта 2Т2 застосована додаткова шкала десятків хвилин. У зв'язку з цим вид поля зору відлікового мікроскопа дещо змінений. В центральному малому віконці, розділеному горизонтальною лінією, проводиться поєднання зображень штрихів кутомірного круга. У верхньому великому віконці відлічують число градусів і десятків хвилин, в бічному віконці – одиниці хвилин і секунди.

Цифра, розташована під числом градусів, показує кількість десятків хвилин. Одиниці хвилин і секунди відраховуються таким же чином як і в Т2 по індексу в малому правому вікні.

Вимірювання і обчислення кутів виконується таким же чином як і в теодоліті Т2. за основне положення прийнятий круг зліва.

Високоточні теодоліти

Високоточні теодоліти призначені для побудови державних геодезичних мереж 1, 2 і 3 класів, точної полігонометрії, створення високоточних інженерно-геодезичних мереж при будівництві унікальних споруд, рішення наукових задач і т.п. Діаметр горизонтального круга у високоточних теодолітів цієї групи складає 140-200 мм, а вертикального круга – 90-130 мм. Застосовуються високоточні двосторонні оптичні мікрометри на базі плоскопаралельних пластин. Точність вимірювань високоточними теодолітами може бути підвищена шляхом використання допоміжних пристроїв: окулярного мікрометра, накладного рівня, додаткової перевіркової (контрольної) труби у підставці.

До високоточних теодолітів слід віднести Т05 і Т1, а також попередні теодоліти ОТ02, ТТ2/6.

Теодоліт Т05 складається з двох основних частин. Верхня зйомна частина включає зорову трубу, горизонтальну вісь і вертикальний круг; нижня частина – незйомну підставку з підйомними гвинтами, вертикальну осьову систему, горизонтальний круг, алідаду з колонками, несучими лагерами, оптичну відлікову систему горизонтального круга.

Вертикальна вісь циліндрична, порожниста, саморегульована, жорстко сполучена з алідадною частиною і опирається через шарики на конічну вісь бакси. В нижній частині приладу знаходиться розвантажувальне пристосування, що оберігає робочі частини приладу при транспортуванні.

Горизонтальна вісь має сталеві циліндрові цапфи відкритого типу, які лягають на несучі лагери нижньої частини, одна з яких має виправні гвинти для виключення нерівності підставок. Зорова труба центральна, астрономічна. Плоскопаралельна пластинка (ППП) окулярного мікрометра поміщена перед сіткою ниток. ППП повертається навкруги вертикальної осі на $\pm 5^\circ$, що викликає зсув візирного променя на $30''$, ціна поділки барабана окулярного мікрометра $1''$. Сітка ниток складається з бісектора з кутовою відстанню $36''$ і одиночного вертикального і горизонтального штрихів.

Горизонтальний і вертикальний круги мають роздільне електроосвітлення і різний кольорний фон. На кругах нанесені біфілярні штрихи через десятихвилинні інтервали, оцифровані через градус від 0 до 359° . Горизонтальний круг може переміщатися для установки необхідного відліку.

При роботі з приладом можуть використовуватися три рівні: циліндричний накладний з ціною поділки $\tau=4''$, що встановлений на цапфі горизонтальної осі; циліндричний рівень при алідаді горизонтального круга з $\tau=6-7''$ і циліндричний контактний рівень при алідаді вертикального круга з $\tau=10-12''$.

Теодоліт Т1 має незйомну підставку, алідадну частину, зв'язану конструктивно з колонками, несучими горизонтальну осьову систему, і відліковий пристрій.

Осі – циліндричні, порожнисті, жорстко сполучені: вертикальна – з алідадною частиною приладу, горизонтальна – з трубою, Зорова труба центральна, астрономічна з змінними окулярами на різне збільшення. Сітка складається з бісектора з кутовою відстанню 40", штрихи сітки нанесені на плоскопаралельну пластинку. Труба має окулярний мікрометр з ціною поділки 1" і границею вимірювань 30", зображення шкали мікрометра передається в полі зору труби.

Найменша ціна поділки круга 10', горизонтальний круг може переміщатися за допомогою пристрою для перестановки, вертикальний круг жорстко сполучений з горизонтальною віссю приладу. У відліковій системі використаний клиновий мікрометр з ціною поділки шкали 1", нанесеною на склі. В конструкції теодоліта використано три рівні: накладний, при алідаді горизонтального круга і при алідаді вертикального круга.