

Тема: КОМПЕНСАТОРИ НАХИЛУ

Сьогодні нівеліри з рівнями поступилися "самовстановивним" приладам, в яких використовується пристрій, який називають компенсатором або компенсатором нахилу, що автоматично змінює положення лінії візування, зокрема, установлює її горизонтально. У нівелірах з компенсаторами не потрібне встановлення бульбашки циліндричного рівня труби у нуль-пункт, а це дало змогу підвищити продуктивність та точність знімання. Прилад приводять у робочий стан за допомогою лише встановивного сферичного рівня, а лінія візування встановлюється горизонтально автоматично – компенсатором.

Принцип компенсації нахилу. Класифікація компенсаторів нахилу

Коли лінія візування нівеліра горизонтальна, промінь від цілі, наприклад, рейки, проходить через горизонтальну нитку сітки ниток. Якщо нахилити зорову трубу відносно горизонту на невеликий кут γ (рис. 1), промінь буде зміщений донизу або догори від горизонтальної нитки сітки ниток на величину Δ , яка дорівнює

$$\Delta = f \cdot \operatorname{tg} \gamma = f \gamma. \quad (1)$$

де f – фокусна віддаль об'єктива.

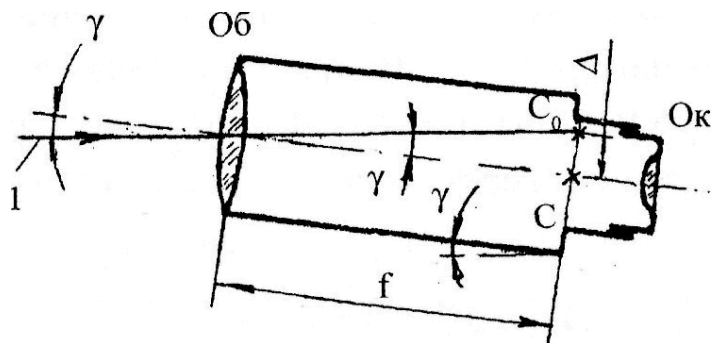


Рис. 1. Положення горизонтального променя у нахиленій зоровій трубі
1 – горизонтальний промінь

Для того, щоб горизонтальний промінь попри нахил зорової труби проходив через горизонтальну нитку сітки ниток, необхідно перемістити перехрестя сітки ниток з положення C у положення C_0 (рис. 2) або змінити напрямок візирного променя так, щоб він перетнув горизонтальну нитку сітки ниток (рис. 3).

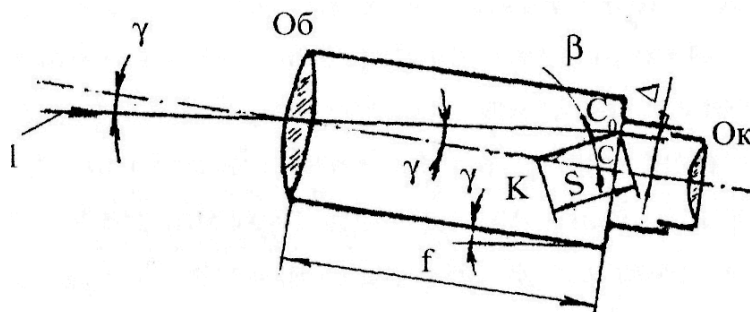


Рис. 2. Компенсація нахилу зорової труби переміщенням сітки ниток
1 – горизонтальний промінь

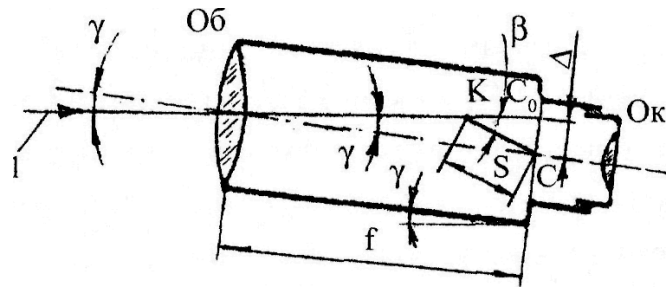


Рис. 3. Компенсація нахилу зорової труби відхиленнями візирної осі
1 – горизонтальний промінь

Переміщення сітки ниток або зміщення візирного променя здійснюють автоматично, за допомогою розташованого у точці K пристрою – компенсатора нахилу. В обох випадках сітка ниток або візирний промінь переміщуються на величину Δ , яка дорівнює

$$\Delta = \sin \beta S = s \beta. \quad (2)$$

На основі залежностей (1) і (2) можна записати

$$\frac{f}{s} = \frac{\beta}{\gamma} = n. \quad (3)$$

Вираз (3) називають кутовим збільшенням компенсатора. Точку K , власне компенсатор, найчастіше розташовують всередині зорової труби, тому він повинен мати невеликі розміри та масу. Як звичайно, $n \geq 1$. Загалом компенсатор – це пристрій, який змінює положення лінії візування, зокрема, встановлює її горизонтально. Компенсатор нахилу містить рухомий елемент, який займає певне положення під дією сили тяжіння, нерухомий оптичний елемент (наприклад, призму) і демпфувальний (гальмівний) пристрій повітряного, магнітоіндуктивного або рідинного способу дії. Залежно від типу рухомого елемента компенсатори, дещо умовно, можна поділити на механічні, оптично-механічні та рідинні.

В механічних компенсаторах рухомим елементом є сітка ниток, яка найчастіше підвішена на двох або трьох тонких металевих нитках (в них $f = s$, а $n = 1$).

Оптично-механічні компенсатори (їх називають маятниковими) мають вільно підвішені дзеркала, призми або лінзи і у геодезичних приладах застосовуються найчастіше.

В рідинних компенсаторах використовують властивість вільної поверхні рідини бути горизонтальною внаслідок дії сили тяжіння.

Оптично-механічні компенсатори

Порівняно простими, але доволі дієвими та поширеними, є компенсатори, в яких використовують вільно підвішені з можливістю погойдування плоскі дзеркала. Відомо, що під час повороту плоского дзеркала на кут γ , відбитий промінь повертається відносно початкового напрямку на кут 2γ . Якщо дзеркало як маятник має постійний кут нахилу до горизонту φ , воно, по суті, є компенсатором, в якого $f = 2s$, а $n = 2$ (рис. 4). Роботу дзеркального компенсатора показано на прикладі нівеліра НЗК–1 (рис. 5).

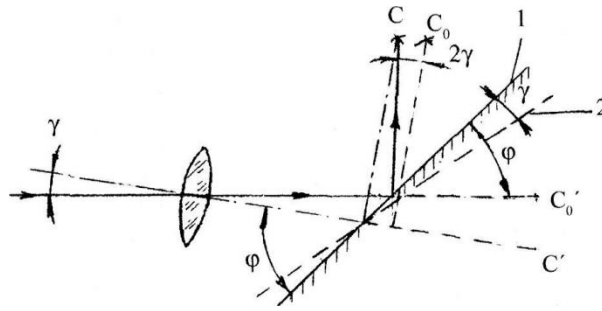


Рис. 4. Схема компенсатора із дзеркалом, що коливається
 1 – положення дзеркала, коли зорова труба горизонтальна;
 2 – положення дзеркала, коли візирна вісь зорової труби нахилена

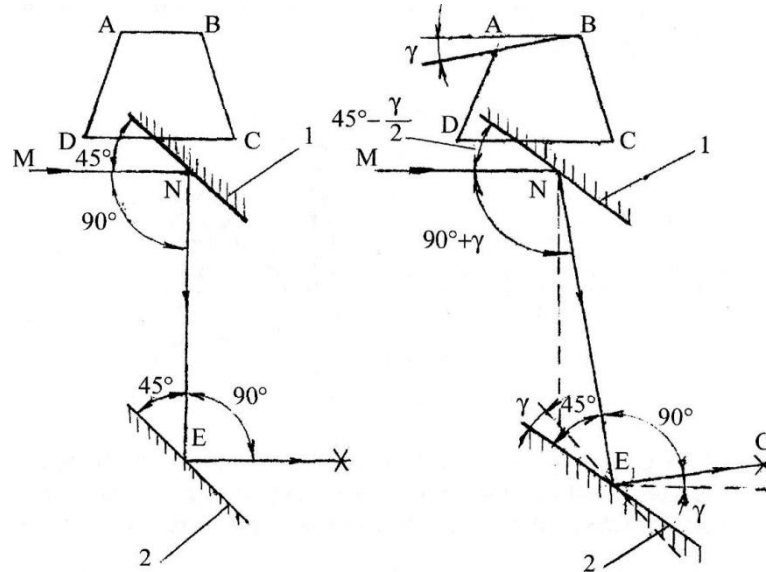


Рис. 5. Схема компенсатора нівеліра НЗК-1:
 а – вертикальна вісь приладу прямовисна; б – прилад нахилений на кут γ ,
 1 – рухоме дзеркало, 2 – нерухоме дзеркало

Дзеркало 1 висить на чотирьох металевих нитках, з яких на рис. 5 показано дві – АД і ВС. Дзеркало 2 прикріплене до корпусу труби. Коли труба нівеліра горизонтальна (рис. 5, а), площини дзеркал 1 і 2 паралельні між собою і нахилені до горизонту на кути 45° . Відрізки променя: MN – горизонтальний, NE – прямовисний, а EC, що проходить через горизонтальну нитку сітки ниток, також горизонтальний. Конструктивно $a = b/2$. Коли нівелір нахилити на кут γ (рис. 5, б), дзеркало 2 повернеться на кут γ сітка ниток підніметься і відрізок EC також нахилиться на кут γ . Дзеркало 1 повернеться на кут $\gamma/2$ (оскільки $a = b/2$). Кут між ним та променем MN становить $45^\circ - \gamma/2$.

Відбитий від дзеркала промінь повернеться на подвійний кут його повороту, тобто на кут γ . Внаслідок цього на дзеркало 2, яке повернулося на кут γ , промінь NE_1 потрапить під тим самим кутом, що й в першому випадку (рис. 5, а), відіб'ється від нього і потрапить на сітку ниток, ідентично, як і у першому випадку, хоча положення сітки у нахиленому нівелірі змінилося. Отже, відлік рейки, видимий у нівелірі, не зміниться, незважаючи на нахил нівеліра.

Дзеркальні компенсатори застосовують у самовстановивних нівелірах багатьох відомих фірм, що випускають геодезичні прилади: "УОМЗ", "SLOM", "Sokkia", "Kern", "Trimble-Zeiss" та інші.

Дзеркальні компенсатори застосовують і в сучасних цифрових (електронних) нівелірах. На рис. 6 подано оптичну схему електронного нівеліра DiNi 10 (Trimble-Zeiss) із дзеркальним

компенсатором. Зображення штрих-кової рейки об'єктивом 1 формується у площині сітки ниток 7 та площині сенсорного приймача 10 одночасно. Цьому слугує світлорозподільна куб-призма 6. Під час юстування приладу за допомогою коліматора досягають однакової чіткості зображень сітки ниток і приймача випромінювання.

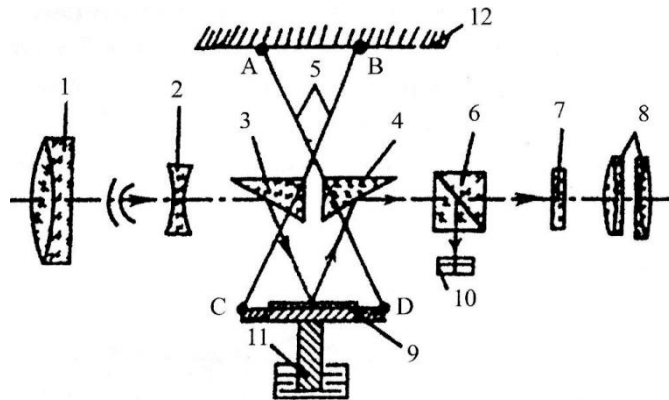


Рис. 6. Оптично-механічна схема електронного нівеліра DiNi 10:

- 1 – об'єктив, 2 – фокусувальний компонент; 3, 4 – призми; 5 – нитки підвішування;
 6 – світлорозподільна куб-призма; 7 – сітка ниток; 8 - окуляр; 9 – дзеркало-компенсатор;
 10 – сенсорний приймач випромінювання; 11 – повітряний демпфер;
 12 – корпус зорової труби

Щоб розмістити компенсатор якомога ближче до площини зображення, вдаються до механічного збільшення коефіцієнта компенсації n за допомогою шарнірного чотирикутника, сторонами якого є нитки підвішування рухомого елемента компенсатора (рис. 7). Схему, зображену на рис. 7, а, називають прямим, а на рис. 7, в – зворотним шарнірним чотирикутником.

Якщо ребро AB прямого чотирикутника нахилити на кут γ ребро CD із закріпленою на ньому оптичною деталлю – призмою або дзеркалом, нахилиється на кут $\beta = n \gamma$. Значення кутового збільшення компенсатора залежить від розмірів сторін чотирикутника. Можна записати $AB \cdot \sin \gamma + BD \cdot \cos \alpha = AC \cdot \cos \delta + CD \cdot \sin \beta$. Оскільки $AC = BD$, а $\alpha \approx \delta$, $AB \cdot \sin \gamma = CD \cdot \sin \beta$. Зважаючи на те, що кути γ і β малі за величиною, $AB : CD = \beta : \gamma$. Отже, якщо $AB : CD = 3 : 1$, $\beta = 3 \gamma$, а якщо $AB : CD = 1 : 2$, $\beta = 0,5 \gamma$ (див. рис. 4).

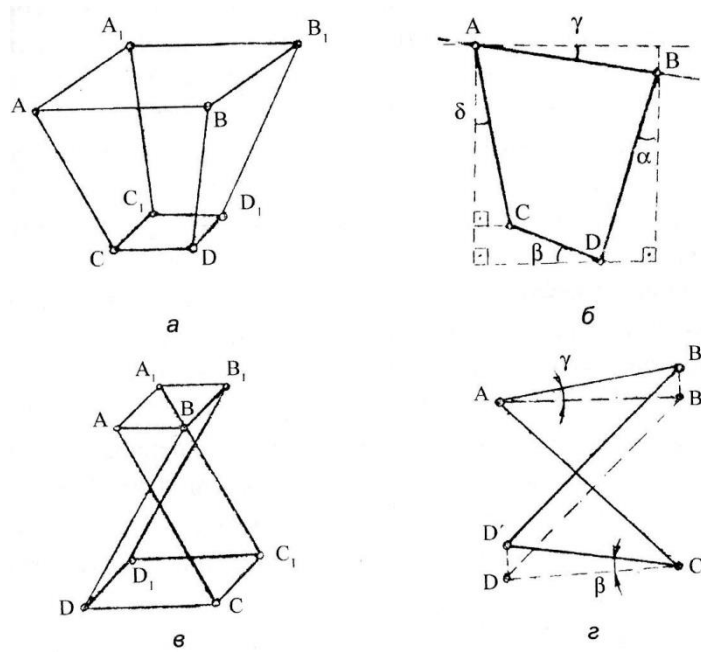


Рис. 7. Схеми шарнірних чотирикутників підвішування рухомого елемента компенсаторів:
 а – прямий шарнірний чотирикутник; б – нахилена грань прямого чотирикутника;
 в – зворотний шарнірний чотирикутник; г – нахилена грань зворотного чотирикутника

Величина куткового відхилення підвішеного елемента у зворотному шарнірному чотирикутнику (рис. 7 в, г), тобто коли нитки підвісу перехрещуються, така сама, як і у прямому (рис. 7, а, б), з тією лише відмінністю, що кутове відхилення підвішеного елемента зворотного чотирикутника (рис. 7, г) має протилежний напрямок порівняно із прямим чотирикутником (рис. 7, б).

Звичайно нитки підвішування виготовляють із тонких стрічок з берилію або легованої сталі прямокутного перерізу, наприклад, завширшки 0,5 мм, а завтовшки 0,03 мм. До матеріалу стрічок ставляться жорсткі вимоги збереження механічних сталих тривалий час і за будь-яких умов. Наприклад, вплив гістерезису та незворотних деформацій має становити не більше за 0,05...0,2% точності приведення лінії візування у горизонтальне положення.

Доволі часто у самовстановивних нівелірах застосовують оптично-механічні компенсатори, в яких підвішеними елементами є призма або призми відбиття.

На нитках, що перехрещуються, підвішена призма у нівелірі Н-ЗК. Оптичну схему його зорової труби подано на рис. 8.

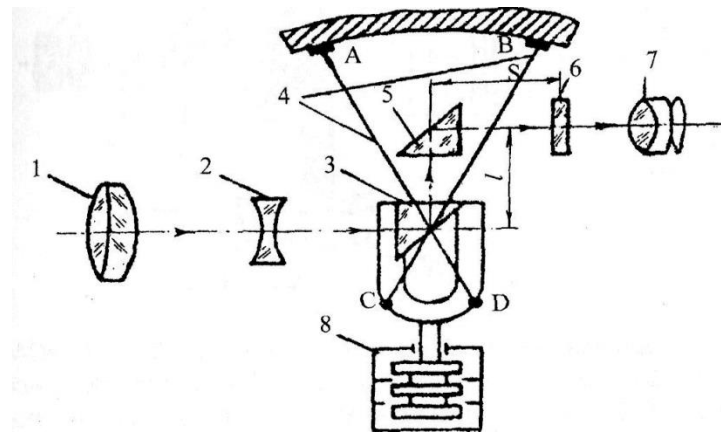


Рис. 8. Оптично-механічна схема нівеліра Н-ЗК з призовим компенсатором:
 1 – об'єктив, 2 – фокусувальний компонент; 3 – призма компенсатор; 4 – берилійові нитки підвішування; 5 – призма; 6 – сітка ниток; 7 – окуляр; 8 – демпфер повітряного способу дії

В точках А і В нитки підвішування закріплені у корпусі труби. Іншими кінцями у точках С і D вони прикріплені до тримача рухомої прямокутної призми. Кутове збільшення компенсатора $n = 3$. Повної компенсації досягають, підбираючи віддалі l і s , враховуючи еквівалентну фокусну віддаль f . Коливання підвішеної призми гальмує демпфер повітряного способу дії.

У нівелірі ЗН-ЗКЛ коливання призми-компенсатора гальмуються магніто-індуктивним демпфером (рис. 9). Принцип роботи компенсатора такий самий, як в нівелірі Н-ЗК.

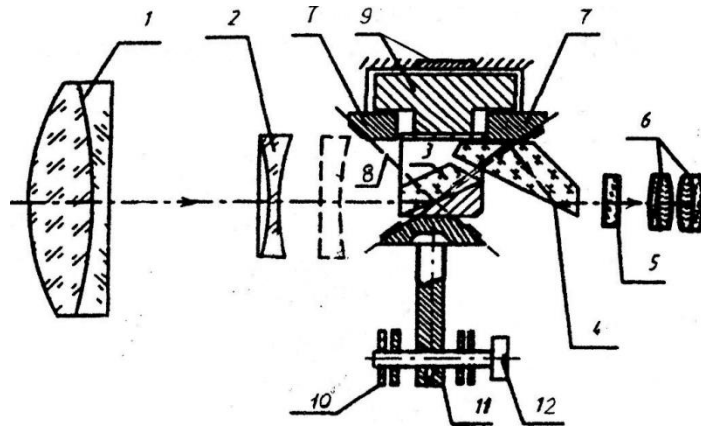


Рис. 9. Оптично-механічна схема нівеліра 3Н-3КЛ:

1 – об'єктив; 2 – фокусувальний компонент; 3 – призма-компенсатор; 4 – призма БкУ-60°;
 5 – сітка ниток; 6 – окуляр; 7 – рухомі опори; 8 – берилійові нитки підвішування;
 9 – магнітоіндуктивний демпфер; 10 – вантажі; 11 – маятник; 12 – гвинт

У нівелірі 2Н10КЛ призмий компенсатор виконує одночасно функції фокусувального компонента (рис. 10). Компенсатор цього нівеліра містить дві склеєні між собою і закріплені нерухомо у корпусі приладу пентапризми 2 і 4 і рухому прямокутну призму 3, яка встановлена у рамці, підвішеній на двох шарикопідшипниках. Місце підвішування вибирають так, щоб оптична віддаль від головної задньої площини об'єктива 1 до призми компенсатора 3 дорівнювала оптичній віддалі від призми 3 до сітки ниток 5, яку розглядають через окуляр 6. Рухомий елемент компенсатора розташовується на віддалі $f/2$ від задньої головної площини об'єктива. Коефіцієнт кутового збільшення компенсатора $n = \frac{\beta}{\gamma} = \frac{f}{f/2} = 2$. Рамка з чутливим

елементом призмою 3 може переміщуватися вертикально у напрямних 7. Під час перефокусування віддалі від об'єктива та від сітки ниток до фокусувального компонента залишаються однаковими і умова компенсації не порушується.

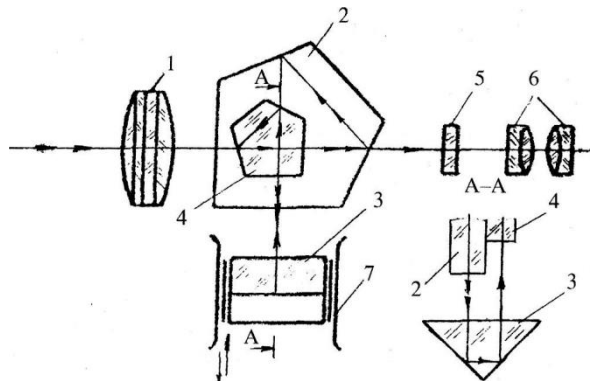


Рис. 10. Оптична схема нівеліра 2Н10КЛ:

1 – об'єктив; 2, 4 – пентапризми компенсатора; 3 – рухома прямокутна призма компенсатора; 5 – сітка ниток; 6 – окуляр; 7 – напрямні

Компенсатори вертикальних кругів

Сьогодні, подібно до того як нівеліри з рівнями поступилися нівелірам з компенсаторами, так і теодоліти, обладнані рівнем вертикального круга, поступилися теодолітам з компенсатором вертикального круга. Переваги останніх очевидні. Спостерігачеві не потрібно встановлювати бульбашку рівня на середину, щоб відлічити вертикальний круг. Принцип дії компенсаторів вертикальних кругів загалом такий самий, як і компенсаторів нівелірів.

Елемент підвішування оптичної деталі або системи займає прямовисне положення, компенсуючи невеликі кути відхилення від нього вертикальної осі приладу. Компенсатор автоматично приводить місце нуля вертикального круга до нуля.

На *рис. 11* наведено принципову схему одного з варіантів компенсатора вертикального круга теодоліта. Коли вертикальна вісь приладу прямовисна, а візирна вісь зорової труби горизонтальна (*рис. 11, а*), нульовий штрих вертикального круга за допомогою лінз L_1 і L_2 та відбивних поверхонь Π_1 і Π_2 проектується у точку O' шкали відлікового мікроскопа.

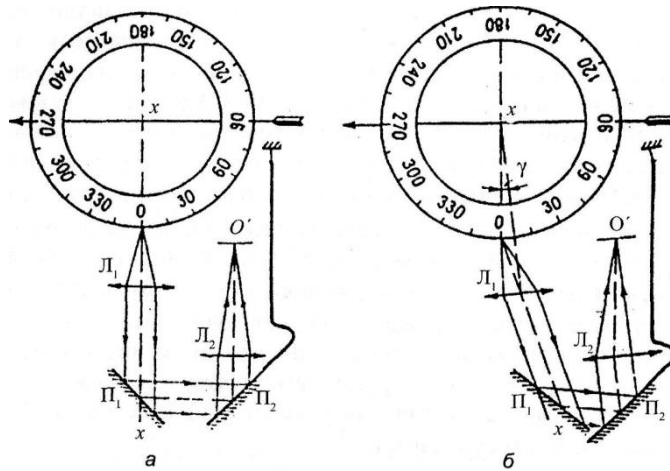


Рис. 11. Схема дії компенсатора теодоліта 2Т5К:

а – вертикальна вісь приладу прямовисна;

б – вертикальна вісь приладу нахилена на кут γ

На *рис. 11, б* показано положення цієї самої системи, коли вертикальна вісь приладу xx нахилена на кут γ . Усі елементи оптичної системи нахилилися на цей самий кут, окрім відбивної поверхні Π_2 , яка під дією власної ваги та внаслідок наявності гнучкого елемента підвішування зберегла початкове (до нахилу приладу) положення. Якщо візирну вісь зорової труби встановити горизонтально, штрих круга O знову спроектується у точку O' шкали мікроскопа. Отже, незалежно від кута нахилу приладу, якщо зорова труба наведена на ту саму ціль, відлік вертикального круга залишається незмінним. Для того, щоб зберегти незмінність відліку, параметри оптичної системи підбирають відповідно до певних умов. Зокрема, не повинна порушуватися паралельність пучка променів між лінзами L_1 і L_2 , а лінзи підбирають такими, щоб нульовий штрих круга був у фокусі лінзи L_1 , а точка O' у фокусі лінзи L_2 . Щоб врахувати зміщення положення зображення нульового штриха та забезпечити паралельність пучка променів, фокусна віддаль f_1 лінзи L_1 повинна дорівнювати половині радіуса r вертикального круга

$$f_1 = \frac{r}{2}. \quad (4)$$

Залежність (4) справедлива, якщо положення підвішених деталей під час нахилу приладу залишається незмінним, тобто коли пружним моментом гнучкого елемента підвішування можна знехтувати порівняно з моментом маятника підвішених деталей. Потрібних меж дії компенсатора досягають, регулюючи довжини елемента підвішування, а також змінюючи момент маятника підвішених деталей переміщенням спеціального тягарця. Так, наприклад, регулюють межі дії компенсатора теодоліта 2Т5К, в якого відбивними поверхнями слугує прямокутна призма.

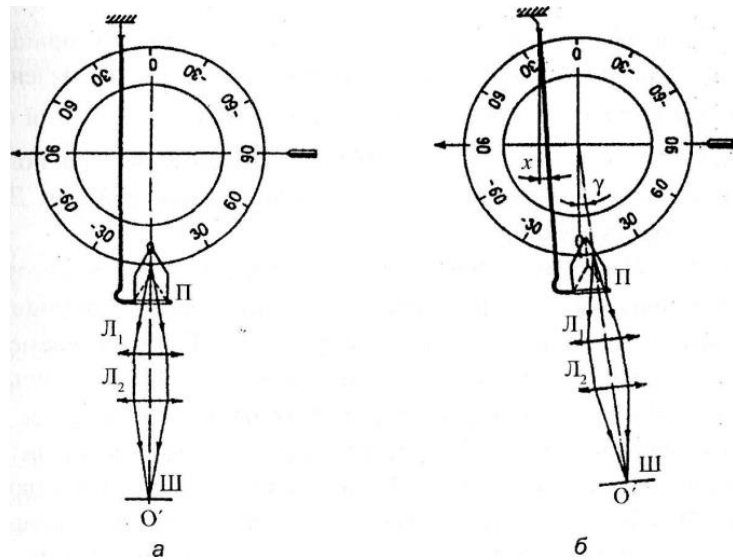


Рис. 12. Схема дії компенсатора теодолітів типу ЗТ2К, ЗТ5К:

а – вертикальна вісь приладу прямовисна;

б – вертикальна вісь приладу нахилена на кут γ

На рис. 12 подано принципову схему дії компенсатора вертикального круга теодолітів ЗТ2КП, ЗТ2КА і ЗТ5КП.

Головним елементом компенсатора є призма П з дахом $\text{АкР}-90^\circ$. Така призма зміщує зображення у бік, протилежний до напрямку її руху на величину, удвічі більшу від зміщення самої призми. Цю властивість призми використовують для компенсації відхилення вертикальної осі теодоліта від прямовисного положення. Для теодолітів з одностороннім відрахуванням (ЗТ5КП) умова компенсації виражається співвідношенням

$$l = \frac{r}{2(1-k)}, \quad (5)$$

а з двостороннім відрахуванням (ЗТ2КП, ЗТ2КА)

$$l = \frac{r}{1-k}. \quad (6)$$

У залежностях (5) і (6) l – довжина деталей підвішування (віддалі від точки підвішування до місця заломлення променів призмою); χ/γ , де γ – кут нахилу вертикальної осі приладу; χ – кут відхилення маятника від прямовисного положення внаслідок пружності гнучкого елемента підвішування. Для малих кутів χ і γ величина k є сталою.

Похибка компенсації обох описаних типів компенсаторів не перевищує $2...1''$ (у компенсаторів сучасних електронних теодолітів ця похибка не перевищує $0,5''$). Гнучкий елемент підвішування є бронзовою платівкою завтовшки $0,07$ мм. Вільна довжина його між точками закріплення не більше за 2 мм. У компенсаторі теодоліта ЗТ5К маятником є платівковий важіль. У компенсаторі теодолітів типу ЗТ використано маятник рамкового типу. В обох випадках застосовують демпфери повітряного способу дії (у теодолітах ЗТ подвійний). Час гасіння коливань не більший від 2 секунд.