

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА  
ТА АРХІТЕКТУРИ

КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ГЕОДЕЗІЇ ТА  
ЗЕМЛЕУСТРОЮ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання практичних робіт з дисципліни «Метрологія та**  
**стандартизація» для здобувачів першого (бакалаврського)**  
**рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та**  
**цивільна інженерія» ОПП «Автомобільні дороги і аеродроми»**  
**денної, заочної та дистанційної форм навчання**

Дніпро  
2022

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Метрологія та стандартизація» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Автомобільні дороги і аеродроми» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Укладачі: Ландо Є.О., Кочан С.М. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2022. – 40 с.

У методичних вказівках подані рекомендації щодо виконання практичних робіт, наведені основні формули, приклади розрахунків, основний довідковий матеріал, що не замінює підручник та іншу технічну літературу, поглиблене самостійне вивчення якої є обов'язковим.

Укладачі: Ландо Є.О., к.т.н., доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА;  
Кочан С.М., асистент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА.

Відповідальний за випуск: Ландо Є.О., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА

Рецензент: Бегічев С. В., к.т.н., доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА

Затверджено на засіданні кафедри  
автомобільних доріг, геодезії та  
землеустрою ДВНЗ ПДАБА  
Протокол № 1 від 22.08.2022 р.

Рекомендовано до друку  
навчально-методичною  
радою ДВНЗ ПДАБА  
Протокол № № 1(7) від 20.09.2022 р

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	4
<b>Тематичний план практичних занять</b>	4
<b>Тема 1. «Теодоліти»</b>	5
Практична робота № 1. Огляд, перевірка перпендикулярності осі циліндричного рівня до основної осі теодоліту, перевірка сітки ниток, визначення колімаційної похибки	5
Практична робота № 2. Перевірка перпендикулярності осі оберту зорової труби до осі обертання приладу, визначення місця нуля	12
Практична робота №3. Перевірка візирної осі оптичного центриру, визначення ціни поділки рівня	13
Практична робота № 4. Дослідження правильності роботи вертикальної осі	15
Практична робота № 5. Визначення рену оптичного мікрометра	15
Практична робота № 6. Дослідження точності роботи оптичних мікрометрів	17
Практична робота № 7. Дослідження похибок поділок (діаметрів) лімба	18
Практична робота № 8. Дослідження ексцентриситету алідади	18
Практична робота № 9. Дослідження ексцентриситету горизонтального та вертикального кола, компенсатора при вертикальному колі теодоліта	20
<b>Тема 2. «Компарування»</b>	21
Практична робота №10 Компарування металевих рулеток та вимірювання довжин сторін в полігонометрії	21
<b>Тема 3. «Метрологічні роботи в геодезії»</b>	25
Практична робота № 11 Метрологічні роботи при виносі у натуру проектної точки у спосіб полярних координат	25
<b>Тема 4. «Нівеліри, геометричне нівелювання»</b>	28
Практична робота № 12. Нівеліри. Перевірка паралельності осі циліндричного рівня до візирної осі зорової труби (з кінцевих пунктів)	28
Практична робота № 13. Перевірка паралельності осі циліндричного рівня до візирної осі зорової труби (з середини)	33
Практична робота № 14. Перевірка паралельності роботи осі циліндричного рівня та геометричної осі зорової труби, перевірка паралельності осі круглого рівня та осі обертання нівеліру, перевірка сітки ниток	34
Практична робота № 15. Дослідження ціни поділки циліндричного рівня, дослідження похибки в установці лінії візування	35
Практична робота № 16. Дослідження похибки недокомпенсації	36
Практична робота № 17. Перевірка високоточних нівелірів	36
Практична робота № 18. Перевірки та дослідження рейок	37
<b>Перелік питань для самоперевірки</b>	39
<b>Список літератури</b>	40

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Метрологія та стандартизація» є нормативною і входить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки.

Практичні заняття сприяють закріпленню та поглибленню теоретичних знань, а також набуттю практичних навичок при роботі з приладами, подальшому розвитку навичок роботи зі спеціальною та довідковою літературою, нормативними документами, підготовці до виконання польових робіт.

Дані методичні вказівки охоплюють наступні розділи: класифікаційні показники теодолітів та нівелірів, характеристики, огляд повірки та дослідження, праця з приладами та винос у натуру проектної точки, компарування рулеток.

**Цілі занять** - ознайомитися з приладами, призначенням, прийомами практичного дослідження та перевірки, навчитися виконувати геодезичні роботи високої точності.

Кожна практична робота містить короткі теоретичні дані із розглянутого питання, опис підготовчих заходів, приладів і устаткування, порядок проведення роботи й обробки експериментальних даних, а також вказівки з оформлення. Питання для самоперевірки наведено наприкінці.

Перед початком роботи необхідно вивчити відповідний теоретичний матеріал за конспектом лекцій та підручнику, законспектувати потрібну практичну роботу. При виконанні практичних робіт потрібно дотримуватись правил техніки безпеки. Результати виконаних робіт, оформлені відповідно до методичних вказівок, представляють викладачеві до захисту, прилади й устаткування здають черговому лаборантові.

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1	Теодоліти
2	Компарування
3	Метрологічні роботи в геодезії
4	Нівеліри, геометричне нівелювання

## Тема 1. «Теодоліти»

### Практична робота № 1. Огляд, перевірка перпендикулярності осі циліндричного рівня до основної осі теодоліту, перевірка сітки ниток, визначення колімаційної похибки

*Теодоліт* - геодезичний прилад, який використовується для виміру горизонтальних і вертикальних кутів, а також для виміру відстані.

Основними частинами сучасного теодоліта є: зорова труба, рівні, робочі міри, відлікові системи й установчі пристосування.

Геометричними параметрами зорової труби є: довжина труби, діаметр об'єктива, фокусна відстань об'єктива, збільшення, найменша відстань візування, ширина бісектора мікрометра.

*Рівні* служать для установки всього приладу або його частин у горизонтальне положення. Для приведення вертикальної осі теодоліта в робоче положення використовується рівень при алідаді горизонтального кола.

*Робочими мірами* в теодолітах є горизонтальні й вертикальні кола (лімби), що мають поділки, нанесені з високим ступенем точності.

В оптичних теодолітах *відліковими системами* є: оптичний мікрометр, шкаловий мікроскоп і мікроскоп з індексом.

До *основних пристосувань* теодоліта відносяться: закріпні й навідні пристрої, піднімальні гвинти підставок, установчі гвинти рівнів та ін.

Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 10529-70 «Теодоліти. Типи. Основні параметри й технічні вимоги» теодоліти підрозділяються на високоточні, що забезпечують вимір горизонтальних кутів із середньою квадратичною помилкою не більше 1", точні 2-7" і технічні 10-30".

*Високоточні теодоліти.* Теодоліт Т5 призначений для виміру горизонтальних і вертикальних кутів у геодезичних мережах 1 класу. Має оптичний клиновий мікрометр, окулярний мікрометр із ціною ділення голівки 1".

Теодоліт ОТ-02 призначений для виміру горизонтальних і вертикальних кутів у геодезичних мережах 2 класу. Має оптичний мікрометр із ціною поділки шкали 0,2".

Теодоліт Т1 призначений для виміру горизонтальних і вертикальних кутів у геодезичних мережах 2 класу, а також у важкодоступних районах і в мережах 1 класу.

*Точні теодоліти.* Теодоліт Т2 призначений для виміру горизонтальних кутів і зенітних відстаней у геодезичних мережах 3 і 4 класів. Горизонтальне й вертикальне кола розділені через 20', ціна поділки оптичного мікрометра 1".

*Технічні теодоліти.* Теодоліт Т15 призначений для виміру

горизонтальних і вертикальних кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних мережах, при виконанні інженерно-геодезичних вишукувань. Відлік по лімбі одnobічний.

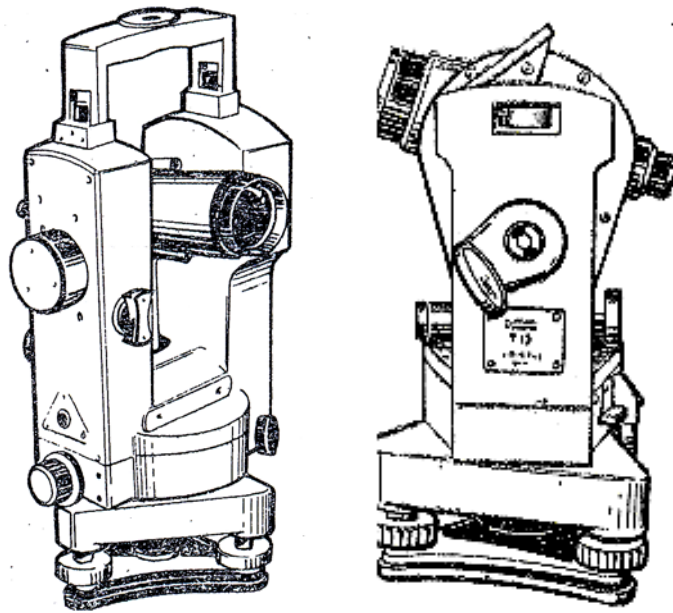


Рис. 1.1. Загальний вид теодолітів. 1. Т2; 2. Т15

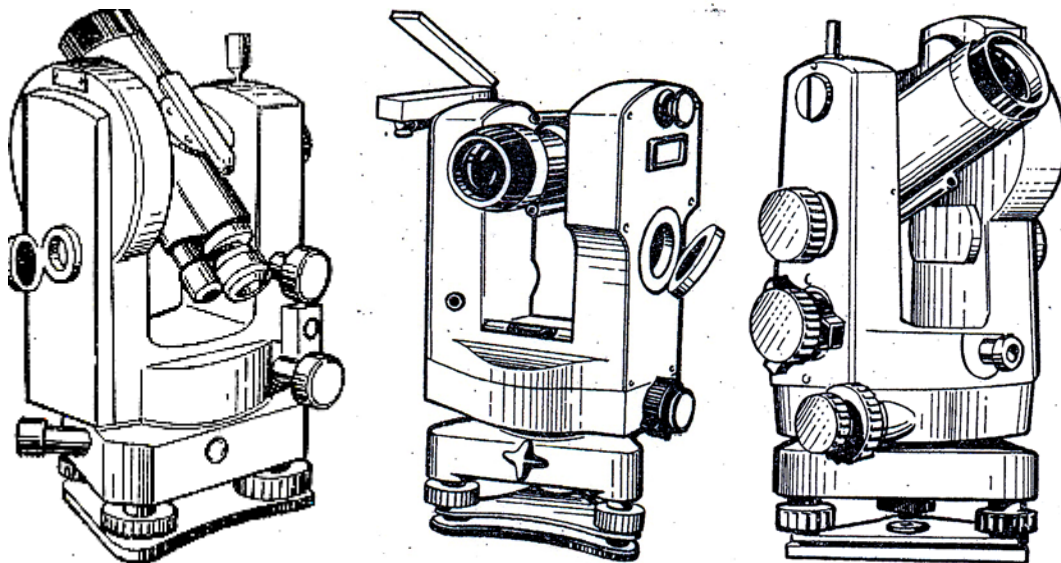


Рис. 1.2. Загальний вид теодолітів. 1. Т30; 2. Т5; 3. Theo 010А.

Порівняльні характеристики теодолітів представлені в таблиці 1.

## Порівняльні характеристики теодолітів

Технічна характеристика	T2	2T2	ТБ-1	Theo 010	Theo 010A	Te-B1 (ВНР)	T5	T5K	2T5	2T5K	Theo 020	Theo 020	Te-D2 (ВНР)
	СССР			ГДР		7	СССР				ГДР		
1	2	3	4	5	6		8	9	10	11	12	13	14
Середня квадратична погрішність виміру горизонтального кута одним прийомом, с	2	2	3	2	2	2	5	10	5	5	4	4	6
Збільшення труби, крат	25	27,5	25,5	31	30	30	25	27,5	27,5	27,5	25	25	24
Діаметр вхідного отвору труби, мм	35	35	40	53	40	45	35	38	38	38	35	36	40
Довжина зорової труби L, мм	182	-	-	135	175	174	175	160	-	-	195	175	175
Фокусна відстань об'єктиву, мм	250	-	250	-	270	240	253	218,5	-	-	-	275	-
Мінімальна відстань візування, м	1,5	1,5	1,2	2	1,5	2	1,5	2	1,5	1,5	2,1	1,5	2

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ціна ділення лімба, хв	20	20	20	20	20	20	60	60	60	60	60	60	60
Ціна ділення оптичного мікроскопа, с	1	1	1	1	1	1	60	60	60	60	60	60	60
Ціна ділення рівня (на 2 мм), с: при алідаді горизонтального круга	15	15	10- 20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30
при алідаді вертикального круга	20	15	15- 25	20	-	20	15	-	30	-	-	-	30
Висота загальна	363		-	280	290	230	290	270	-	-	270	290	240
Висота до горизонтальної осі, мм	245	225	-	215	234	190	230	225	225	225	240	224	200
Маса теодоліта, кг	5	4,2	5,1	5,3	4,5	5,5	3,6	3,5	3,8	3,6	4,3	4,2	4,6
< футляра <	4,6	-	-	5	4,3	3,7	3,6	3	-	-	4,4	4,3	2,5
< штатива <	5,3	-	-	5,6	5,8	6,2	5,3	5,3	-	-	5,6	5,8	5,1



Таблиця 1.2.

Технічна характеристика	T15 (СССР)	Te-E5 (ВНР)	FTS (ФРГ)	T30 (СССР)	Theo 120 (ГДР)	Theo 080 (ГДР)	Te-E4 (ВНР)	Th5 (ФРГ)
Середня квадратична погрішність виміру горизонтального кута одним прийомом, с	15	-	-	30	20	20-25	20	-
Збільшення труби, крат	25	20	19	20	16	16	16	25
Діаметр вхідного отвору труби, мм	34	28	25	27	32	32	25	35
Фокусна відстань об'єктиву, мм	200	-	-	157	-	-	-	-
Довжина зорової труби L, мм	154	120	130	105	125	125	120	150
Мінімальна відстань візування, м	1,2	1,5	1,3	1,2	0,9	0,9	1,5	1,2
Ціна ділення лімба, хв	60	20	60	10	10	5	5	50
Ціна ділення відлікового мікроскопу, хв	1	0,5	1/2	-	-	-	-	-
Ціна ділення рівня (на 2 мм), с: при алідаді горизонтального круга при алідаді вертикального круга	45 30	50 -	60 60	45 -	120 -	120 -	- 30	30 -
Висота загальна >до горизонтальної осі	260 210	240 185	200 140	200 175	240 180	240 180	- 185	- -
Маса теодоліта, кг < футляра < < штатива <	3,1 3,4 5,3	2,9 1,1 4,6	3 3 5,2	2,2 1 3,8	2,8 3,6 5	1,9 2,2 5	3,4 1,1 4,6	3,2 3,3 5,3

## Огляд, перевірки та дослідження теодолітів

**Огляд теодолітів.** До початку польових робіт роблять ретельний огляд, повірки й дослідження правильності роботи окремих вузлів теодоліта. При огляді теодолітів виявляють наявність усіх пристроїв і приладдя, зовнішні дефектні ознаки - вм'ятини, тріщини, відколи й т.п., що визначають у цілому довіру до приладу. Особлива увага приділяється перевірці роботи окремих рухливих пристроїв.

1. Піднімальні й навідні гвинти повинні мати плавний хід, без стрибків, зривів і заїдань. Для перевірки роботи гвинтів трубу теодоліта наводять звичайно на віддалену точку й, обертаючи піднімальний або навідний гвинт, стежать за плавністю переміщення зображення точки щодо ниток сітки. Хід піднімальних гвинтів регулюють їх гвинтами, а навідних - їх пружинами й гайками.

2. Навідний пристрій лімба, засувка повторювального пристрою, механізм оптичного мікрометра повинні працювати плавно й стійко.

3. Обертання теодоліта навколо вертикальної осі (лімба або алідади) та зорової труби повинне бути легким і плавним.

4. Зображення в оптичних відлікових пристроях, зорових трубах повинні бути чіткими, не деформованими. При цьому звертають увагу, щоб нерухомий індекс відлікового мікроскопа при установці на його шкалі відліку «нуль» збігався зі сполученими зображеннями діаметрально протилежних штрихів лімба, освітленість поля зору була рівномірною, було відсутнє перекривлення зображень, зображення штрихів лімба й шкали мікрометра можна було побачити без перефокусування окуляра мікроскопа.

### Перевірки теодолітів

Перевірка № 1. *Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального кола повинна бути перпендикулярна до вертикальної осі обертання (основної осі) теодоліта.* Встановивши теодоліт у робоче положення, встановлюють рівень по напрямку двох піднімальних гвинтів підставки й, обертаючи їх у протилежні сторони, виводять пухирець рівня на середину. Потім повертають алідаду на  $180^{\circ}$  і спостерігають за положенням пухирця рівня. Якщо він відійшов від середини більш ніж на одне ділення, то виправними гвинтами рівня переганяють пухирець до середини на половину дуги його відхилення. На другу половину дуги відхилення пухирець переганяють до середини за допомогою піднімальних гвинтів.

По виправленому рівню уточнюють робоче положення теодоліта (при повороті рівня на  $90^{\circ}$ ) і стежать за положенням пухирця при повороті алідади навколо осі на  $360^{\circ}$ . Якщо при цьому відхилення пухирця не

перевищує одного ділення, то умова виконана. У протилежному випадку повірку повторюють (звичайно 3-4 рази). По вивіреному циліндричному рівні роблять юстировку круглого рівня.

Перевірка № 2. *Вертикальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути прямовисною.* Встановлюють по рівню вісь обертання теодоліта в прямовисне положення й наводять вертикальну нитку сітки труби на точку (звичайно на стіні будинку), віддалену від теодоліта на відстань 5-10 м. Діючи навідним гвинтом труби, спостерігають за положенням зображення точки на нитці сітки. Якщо це зображення сходить з нитки сітки, то відгвинчують ковпачок, що прикриває котирувальні гвинти сітки на окулярній частині труби, і послабивши їх на 1/6 - 1/8 обороту, повертають рукою корпус сітки так, щоб при обертанні аліадади зображення спостережуваної точки не сходило з нитки сітки.

Перевірку можна виконувати також і за допомогою нитки схилу.

Перевірка № 3. *Візна вісь труби повинна бути перпендикулярна до горизонтальної осі обертання труби (колімаційна погрішність повинна дорівнювати нулю).* Привівши вісь обертання приладу за рівнем у прямовисне положення й вибравши на місцевості добре видиму й віддалену (до 2-3 км) точку, наводять на неї перетин ниток сітки й роблять відлік  $M_1$  по горизонтальному колу. Перевівши трубу через zenit і повернувши аліададу на  $180^\circ$ , спостерігають ту ж точку при іншому положенні труби щодо вертикального кола, роблячи відлік  $M_2$  по горизонтальному колу. Різниця цих відліків  $2c = M_2 - M_1$  для теодолітів з металевими колами й  $2c = M_2 - M_1 \pm 180^\circ$  для оптичних теодолітів повинна бути близькою до нуля в межах:  $2c \approx \pm (5 \div 10)\mu$ , де  $\mu$  - ціна ділення шкали мікрометра;  $2c$  - одинарна колімаційна погрішність. Величина подвійної колімаційної погрішності ( $2c$ ) не повинна перевищувати:  $\pm 5''$  для теодолітів типу Т-1,  $\pm 20''$  - для Т2,  $0', 5-1', 0$  - для Т5, Т10 і  $2-3'$  для Т15, ТЗО.

При неприпустимій величині подвійної колімаційної погрішності роблять юстировку теодоліта в такий спосіб: залишаючи горизонтальне коло нерухомим, встановлюють його аліададу на відлік  $M'_2 = M_2 - c$ , при якому перетин ниток сітки зійде із зображення спостережувальної точки. Послабивши вертикальний гвинт (один або дві) сітки, горизонтальними юстировочними гвинтами сітки (угвинчуючи один і настільки ж угвинчуючи інший), повертають перетин сітки на спостережувану точку. В останніх моделях теодолітів (2Т2, Т5ДО) колімаційну погрішність виправляють поворотами оправи оптичного клина, розташованого перед об'єктивом зорової труби. (До комплекту додається 5-образний ключ).

Для контролю повірку повторюють, беручи до уваги можливість коливання колімаційної погрішності в процесі кутових вимірів. Для точних робіт величину  $c$  визначають на різних відстанях (25, 50, 100, 200, 400, 1000 м), з урахуванням ходу фокусууючої лінзи труби.

## Практична робота № 2. Перевірка перпендикулярності осі оберту зорової труби до осі обертання приладу, визначення місця нуля

Перевірка № 4. *Вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярна до осі обертання приладу.* Привівши за рівнем вісь обертання теодоліта в прямовисне положення й вибравши на відстані 10 - 20 м від приладу високу точку А, наприклад, на стіні будинку, наводять на неї перетин ниток сітки й, не повертаючи алідади, нахиляють трубу до горизонтального положення й відзначають олівцем на стіні точку А<sub>1</sub>, у якій проектується перетин ниток сітки. Потім, перевівши трубу через zenit і повернувши алідаду на 180°, знову наводять перетин сітки на точку А й, опустивши трубу до обрію, відзначають на стіні точку А<sub>2</sub> - нову проекцію перетину ниток сітки. Якщо точки А<sub>1</sub> і А<sub>2</sub>, відзначені на одній горизонтальній лінії збігаються, то перпендикулярність осей збережена. При відстані А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>, що перевищує 1/20000, 1/10000, 1/5000 висоти точки А над обрієм відповідно для теодолітів типу Т2, Т5 і Т30, прилади підлягають виправленню шляхом зміни висоти колонок труби підкладними з фольги. У сучасних теодолітах виконання зазначеної умови перпендикулярності гарантується заводом-виробником, а виправлення проводиться в оптико-механічних майстернях.

Перевірка № 5. *Місце нуля (зеніту) вертикального кола повинне бути близьким до нуля й зберігати сталість.* Місце нуля - це відлік по вертикальному колу теодоліта, при якому візирна вісь труби горизонтальна й пухирець рівня при алідаді вертикального кола перебуває на середині. Привівши за рівнем вісь обертання приладу в прямовисне положення, наводять горизонтальну середню нитку сітки на віддалену (до 1-2 км) чітко видимої точку, приводять пухирець рівня при алідаді вертикального кола на середину й беруть відлік по вертикальному колу, наприклад, при колі право (КП). Потім переводять трубу через zenit, повертають алідаду на 180°, наводять нитку сітки труби при колі ліво на ту ж точку, знову приводять пухирець рівня при алідаді вертикального кола на середину й беруть відлік по вертикальному колу (КЛ).

Місце нуля в більшості сучасних теодолітів визначається за формулою

$$МН = 1/2 (КП + КЛ \pm 180^\circ) \quad (2.1)$$

Якщо обчислене значення МН перевищує 0,5-1', то його тут же виправляють у такий спосіб: перевіривши положення пухирця рівня при алідаді вертикального кола, встановлюють на ньому відлік МН, приводячи візирну вісь труби в горизонтальне положення. Потім обертанням мікрометричного гвинта рівня при алідаді встановлюють на колі відлік 0°00/00'' і пухирець, що пішов із середини, приводять у нуль-пункт юстировочними гвинтами рівня.

У теодолітах із самовстановлювальним індексом вертикального кола, а також у теодолітах Т20, Т30, що не мають рівня при вертикальному колі

(його роль виконує рівень при алідаді горизонтального кола), МН виправляється зсувом сітки ниток за допомогою вертикальних юстировочних гвинтів. Для цього визначають кут нахилу

$$V = 1/2 (КП - КЛ \pm 180^\circ) \quad (2.2)$$

ї встановлюють його шляхом нахилу зорової труби за допомогою її навідного гвинта на точку, зі спостережень якої визначалось МН. Потім середню нитку сітки, що змістилася із точки, наводять на неї вертикальними юстировочними гвинтами сітки при ослаблених горизонтальних гвинтах. Щоб не порушити умову перпендикулярності осей (див, перевірку 3), визначення й виправлення колімаційної погрішності й місця нуля в теодолітв типу Т5До варто робити одночасно.

Для контролю повірку повторюють. Аналогічно місцю нуля визначають і виправляють місце зеніту (МЗ). Місце зеніту - це той відлік по вертикальному колу теодоліта, при якому візирна вісь труби перебуває в прямовисному (зенітному) положенні й пухирець рівня при алідаді вертикального кола в нуль-пункті. Місце зеніту, яким звичайно користуються при вимірі вертикальних кутів у триангуляційних і астрономічних спостереженнях, визначають за формулою

$$MZ = 1/2 (КП + КЛ \pm 360^\circ) \quad (2.3)$$

### **Практична робота №3. Перевірка візирної осі оптичного центриру, визначення ціни поділки рівня**

Перевірка № 6. *Візирна вісь оптичного центриру повинна збігатися з віссю обертання теодоліта.* Спосіб повірки залежить від місця розташування оптичного центриру в теодоліті (на колі алідади або в підставці теодоліта).

У першому випадку під теодолітом, установленим на штативі, закріплюють горизонтальний планшет, на якому відзначають олівцем проекцію центра сітки ниток оптичного центриру. Потім повертають алідаду горизонтального кола (із центриром) на  $180^\circ$  і відзначають на планшеті другу точку проекції центра сітки ниток. При розбіжності першої й другої точки на планшеті намічають між ними середню точку, на яку зміщують центр сітки ниток, діючи юстировочними гвинтами сітки або центральної (заломлюючої) призми центриру (нахилом або розворотом).

У другому випадку, тобто для оптичного центриру, розміщеного в підставці теодоліта, вісь обертання теодоліта приводять точно в прямовисне положення й, максимально нахиливши зорову трубу вниз, відзначають на землі поблизу теодоліта точку а'1, а потім, повернувши трубу через зеніт, - протилежну їй точку а'2. Далі, відкладаючи теодолітом кут близько  $120^\circ$ , відзначають по різні сторони від теодоліта точки в'1 і в'2, потім знову через  $120^\circ$  - точки с'1 і с'2.

Також побудови роблять при другому положенні кола, відзначаючи поруч відповідно контрольні точки а1", а2", в1", в2", з1", з2". Приймавши з

них середні точки  $a_1$  і  $a_2$ ,  $b_1$  і  $b_2$ ,  $z_1$  і  $z_2$ , з'єднують їх трьома лісочками, що перетинаються в одній точки, що відповідає проєкції осі обертання теодоліта на рівень землі. Якщо знайдена точка перебуває поза проєкцією центра сітки ниток оптичного центриру, то центрир підлягає юстировці. Виправлення роблять юстировочними гвинтами окулярного коліна центриру шляхом наведення центра сітки на центр ваги трикутника, отриманого за трьома точками планшета.

Для одержання високої точності перестановок плановий контур підставки теодоліта викреслюють олівцем на опорній плиті голівки штатива. При кожній перестановці рівень теодоліта приводять у нуль-пункт і на планшеті точкою відзначають проєкцію центра сітки ниток оптичного центриру. При справному оптичному центриру всі три точки планшета збігаються. У протилежному випадку за ними одержують трикутник, у центр ваги якого проєктується вісь обертання теодоліту. У цю ж точку за допомогою юстировочних гвинтів повинен бути наведений центр сітки ниток.

Перевірка 7. *Визначення ціни ділення рівня.* Ціну ділення рівня теодолітів визначають на екзаменаторі, по рейці й способом повороту алідади (для рівня горизонтального кола, розташованого між колонками зорової труби).

В останньому випадку трубу теодоліта встановлюють за напрямом одного з піднімальних гвинтів, закріплюють її й по рівню приводять прилад у робоче положення. Потім, не змінюючи положення алідади, наводять трубу на точку, розміщену в колімаційній площині труби, і роблять відлік  $V_1$  по вертикальному колу. Далі, діючи піднімальним гвинтом, нахиляють вісь обертання теодоліта на кут  $1-2^\circ$  і, знову навівши трубу за допомогою її навідного гвинта на точку, роблять відлік  $V_2$  по вертикальному колу. Різниця відліку дасть точне значення кута  $\varepsilon$  відхилення осі обертання теодоліта  $\varepsilon$  від вертикалі. Тепер повертають алідаду горизонтального кола так, щоб пухирець рівня виявився в нуль-пункті, і беруть відлік  $\varphi_0$  по горизонтальному колу. Потім, виконуючи повороти алідади на ціле число хвилин  $\delta\varphi = 20-30'$  (спочатку за ходом, а потім проти ходу годинникової стрілки), беруть відлік  $L$  і  $P$  по кінцях пухирця рівня й  $\varphi_1$  - по алідаді горизонтального кола. Визначивши за показниками пухирця рівня його відхилення  $n_i$  від нуль-пункту, що відповідає повороту алідади на горизонтальний кут  $\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_0$ , обчислюють ціну поділки рівня за формулою

$$\tau'' = \frac{\Delta\varphi_i \varepsilon''}{\rho n_i} \quad (3.1)$$

де  $\rho$  - радіан;  $n_i$  - відхилення пухирця рівня від нуль-пункту в поділках.

Для контролю спостереження повторюють при іншому нахилі осі обертання приладу.

#### **Практична робота № 4. Дослідження правильності роботи вертикальної осі**

При кутових вимірах велика увага приділяється виявленню й методам ослаблення або виключення впливу інструментальних похибок. Причиною інструментальних похибок є: похибки виготовлення деталей і вузлів приладу, а також їх неправильне геометричне розташування при збірці (ексцентриситети лімба або алідади), неточне нанесення поділок на шкалах лімбів і відлікових пристосувань і ін.

*Дослідження правильності роботи вертикальної осі.* Дослідження дозволяє виявити порушення правильності обертання осей і встановити ступінь спряження елементів осьової системи. Для дослідження використовуються визначення ретельно виправленого (до 0,5 ділення) рівня при алідаді горизонтального кола.

Виміри роблять на різних установках алідади (від 0 до 360°) з інтервалом через 30-45°, виконуючи відліки Л і П по кінцях пухирця рівня.

Для кожної установки алідади обчислюють зміни  $v_i$  нахилу вертикальної осі за допомогою формул:

$$v_i = \left[ (Л + П)_i - (Л + П)_0 \right] \frac{\tau}{2}; \quad (4.1)$$

$$(Л + П)_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Л + П)_i, \quad (4.2)$$

де  $\tau$  - ціна поділки рівня;  $n$  — число установок алідади (окремо для обертання за ходом й проти ходу годинникової стрілки). По величинах  $v_i$  будують графік, відкладаючи їх на осі ординат, а значення кутових установок алідади — на осі абсцис. Максимальна різниця відхилень  $v_i$  по ходах характеризує колювання осі, викликані зазором в осьовій парі теодоліта. Для двох кривих змін нахилу, які звичайно носять синусоїдальний характер, підбирають криву, що вирівнює (також у вигляді синусоїди). Якість осьової пари теодоліта оцінюють за величиною амплітуди синусоїди, що не повинна перевищувати ціни поділки рівня. При високоточних вимірах вплив нахилу осі обертання теодоліта вираховують за графіком або застосовують накладний рівень.

#### **Практична робота № 5. Визначення рену оптичного мікрометра**

*Визначення рену оптичного мікрометра.* Рен мікрометра – це різниця між номінальним значенням інтервалу лімба й значенням цього інтервалу, який виміряний по шкалі мікрометра. Для точного визначення рена вимір виконують на різних установках алідади, рівномірно розподілених по всій окружності лімба (через 30, 45 або 60° по ходу прямо й обернено). Цим

послабляється вплив похибок вироблення лімба. Перестановку лімба для вертикальних кіл роблять частіше, наприклад через 2 — 3°.

Програма й порядок досліджень рена залежать від типу оптичного мікрометра. В оптичних теодолітах типу Т2 рен визначають у такий спосіб. Установлюють на шкалі мікрометра відлік, близький до нуля, наприклад  $a$ , і навідним гвинтом алідади сполучають протилежні штрихи лімба, наприклад  $A$  і  $A + 180^\circ$ . Потім обертанням голівки мікрометра сполучають штрихи лімба  $(A-i)$  і  $(A + 180^\circ)$ , роблячи відлік  $b$  наприкінці шкали мікрометра. Також за допомогою тієї ж голівки мікрометра сполучають штрихи лімба  $A$  і  $(A+180^\circ - i)$ , роблячи відлік  $c$  по шкалі мікрометра.

Рен для верхнього й нижнього зображень шкали обчислюють за допомогою формул:

$$r''_b = \frac{i}{2} - (b - a)\mu; \quad (5.1)$$

$$r''_n = \frac{i}{2} - (c - a)\mu \quad (5.2)$$

де  $i$  - ціна поділки лімба;  $\mu$  - номінальна ціна поділки шкали оптичного мікрометра.

Якщо різниці  $r_b - r_n$  не перевищують  $0''$ ,  $5$  для теодоліта типу Т1 і  $1''$  для Т2, то користуються середнім значенням рена. У протилежному випадку рен або виправляють шляхом зсуву двох лінз оптичної системи мікроскопа, або вводять у відлік поправку з мікрометру

$$\Delta d_r = \frac{2r}{i} d, \quad (5.3)$$

де  $d$  - відлік по шкалі мікрометра;  $r$  - середнє значення рена.

У теодолітів типу Т5, що мають шкалові мікроскопи, рен визначають за допомогою формули

$$r = i - a\mu, \quad (5.4)$$

де  $i$  - ціна поділки лімба;  $\mu$  - номінальна ціна поділки шкали мікрометра;  $a$  - відлік наприкінці шкали мікрометра при сполученні нуля шкали зі штрихом лімба.

Припустима величина рена становить  $0,1$  ціни поділки шкали мікрометра (для Т5 -  $0',1$ ). При неприпустимій величині рена його або виправляють шляхом зсуву лінз мікроскопа, розміщених звичайно в його трубочці, або в відліки за шкалою вводять виправлення

$$\Delta d_r = \frac{r}{i} d \quad (5.5)$$

де  $i$  - ціна поділки лімба;  $d$  - відлік по шкалі мікрометра.



## **Практична робота № 6. Дослідження точності роботи оптичних мікрометрів**

*Дослідження точності роботи оптичних мікрометрів.* Точність кутових вимірів істотно залежить від якості роботи оптичного мікрометра. Розрізняють випадкові й систематичні погрішності мікрометрів. Випадкові погрішності характеризуються точністю сполучення штрихів, а систематичні – різними масштабами частин шкали й наявністю мертвого ходу при обертанні голівки мікрометра за ходом й проти ходу годинникової стрілки.

При дослідженні випадкових погрішностей мікрометра роблять два сполучення зображення штрихів, обертаючи голівку мікрометра в одному напрямку, і виводять різниці відліків за мікрометром. Дослідження роблять на різних установках аліадади (за ходом прямо й обернено) і за різницею подвійних вимірів виводять середню квадратичну похибку одного сполучення. Допустима величина цієї похибки не повинна перевищувати  $0''{,}3$  і  $0''{,}6$  відповідно для горизонтальних й вертикальних кіл теодоліта типу Т1;  $0''{,}5$  і  $0''{,}6$  - типу Т2;  $0''{,}05$  і  $0''{,}08$  - типи Т5.

Дослідження похибок виконується окремо для сполучень при вгвинчуванні голівки мікрометра й окремо при вигвинчуванні. Ступінь збігу значень похибок характеризує й рівень досвідченості спостерігача.

Для дослідження систематичних похибок мікрометра виконують вимір теодолітом малого кута ( $\beta = 0{,}5 - 2'$ ), що укладає ціле число раз у межах шкали мікрометра. Звичайно кут закріплюють штриховими марками на стіні.

При вимірі кута сполучають ті самі штрихи лімба. Спочатку на шкалі мікрометра встановлюють відлік  $a$ , близький до нуля, наводять трубу на ліву марку кута й сполучають штрихи лімба. Потім наводять трубу на праву марку, обертанням голівки мікрометра сполучають штрихи лімба й роблять відлік  $b$  по шкалі мікрометра. По різниці  $b-a$  одержують значення кута  $\beta$ . Далі, не змінюючи відліку  $b$  на шкалі мікрометра, роблять новий вимір кута  $\beta$ , що укладається на сусідній частині шкали мікрометра, і т.д. до її кінця. При відсутності систематичних похибок в оптичному мікрометрі значення виміряного кута буде перебувати в межах подвоєної ціни поділки мікрометра для теодолітів типу Т2 і  $0{,}2$  - для типу Т5.

Виміри роблять на різних частинах лімба, обертаючи аліададу за ходом й проти ходу годинникової стрілки.

При визначенні мертвого ходу сполучення штрихів роблять двічі: один раз обертають голівку за ходом, а другий раз проти ходу годинникової стрілки. Середня величина різниці відліків характеризує систематичну частину мертвого ходу. За відхиленням різниць від середнього значення визначають середню квадратичну похибку однієї різниці похибки мертвого ходу. Мертвий хід оптичного мікрометра не

повинен перевищувати 1 - 1,5 ціни поділки мікрометра для теодолітів Т2 і 0,2 - для Т5.

### **Практична робота №7. Дослідження похибок поділок (діаметрів) лімба**

*Дослідження похибок поділок (діаметрів) лімба.* Нанесення поділок на лімбах теодолітів за допомогою ділильних машин супроводжується випадковими й систематичними похибками процесу. Особливо небезпечні систематичні похибки, нагромадження яких часто відбувається за періодичним законом. Для ослаблення впливу цих похибок шляхом виміру кутів на відповідних (точних) частинах лімба або введення виправлень у результати спостережень роблять спеціальні дослідження.

Дослідження виконується головним чином для високоточних і точних теодолітів. В основу дослідження покладений багаторазовий вимір теодолітом малого кута (3-5°) на різних частинах лімбу симетрично розташованого по всій його окружності.

При вимірі напрямків лімб між прийомами переставляють на кут

$$\varphi = \frac{180^{\circ}}{n}, \quad (7.1)$$

де  $n$  - число прийомів.

При широких дослідженнях застосовують спосіб розетт (сполучень перестановок), що полягає у вимірі двох контрольних кутів. Виміри кута роблять при одному положенні кола на заданих установках лімба в прямому й зворотному напрямках. Із двох значень кута, отриманих у прямому та зворотному ході, якщо різниця між ними перебуває в межах допуску, знаходять середнє значення. За результатами великої кількості вимірів кута роблять оцінку точності й будують графік похибок.

### **Практична робота № 8. Дослідження ексцентриситету алідади**

*Дослідження ексцентриситету алідади.* Ексцентриситет алідади - це розбіжність центра алідади із центром лімба. Величина ексцентриситету характеризується значенням лінійного  $\varepsilon$  і кутового  $P$  елементів (мал.), Лінійний елемент визначає величину зсуву центра алідади з осі лімба, а кутовий — величину кута між напрямком нульового діаметра лімба й напрямком лінійного ексцентриситету  $\varepsilon$ .

Зазвичай  $\varepsilon$  переводять в кутову міру вираженням

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon}{R} \rho, \quad (8.1)$$

де  $R$  – радіус лімба. Для визначення  $\varepsilon''$  і  $P$  алідаду переставляють через 30° (45°), встановлюючи її на відлік 0, 30, 60°, ..., 330°. При кожному встановленні алідади сполучають спочатку зображення штрихів лімба, що

відрізняються один від іншого на  $180^\circ$  (відлік а), а потім сполучають зображення верхнього штриха з нерухомим індексом у поле зору відлікового мікроскопа (відлік b).

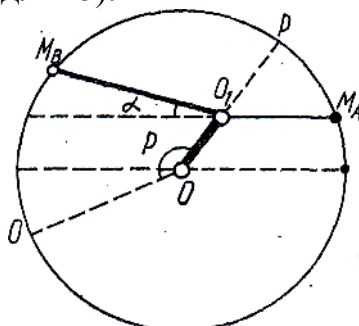


Рис. 8.1. Ексцентриситет алідади:  $O, O_1$  - центри лімба й алідади;  $M_A, M_B$  - відліки по лімбі, спотворені ексцентриситетом алідади.

У теодолітах, що не мають нерухомого індексу, наприклад Т2, Theo 010, замість індексу штрихи лімба сполучають із границею поля зору мікроскопа. На кожній установці такі сполучення роблять двічі за ходом прямо й обернено. Потім утворюють різниці  $v = b - a$ , які характеризують зміну ексцентриситету алідади, і будують за ними графік. На осі абсцис графіка відкладають поділки лімба ( $0, 30', 60, \dots, 330^\circ$ ), а на осі ординат величини  $v$  зі своїми знаками: позитивне нагору, негативне вниз. З'єднавши отримані точки прямими лініями для ходу прямо й обернено, одержують два графіки зміни ексцентриситету. По ступені наближення двох графіків судять і про якість спостережень. Припустиме коливання різниці відліків  $v = b - a$  в теодолітах типу Т2 не повинне перевищувати  $40''$ . Потім на графіку від руки будують плавну вирівнюючу криву типу синусоїди й знаходять її вісь симетрії (мал.). Остання відтинає на осі ординат значення  $\alpha$  - кут зламу діаметра алідади, на кінцях якого розміщені відлікові мікроскопи,  $\epsilon''$  - ексцентриситет алідади в кутовій мірі (щодо осі симетрії синусоїди) і  $P$  - ділення лімба, у діаметрі якого перебуває лінійний ексцентриситет (у двох точках перетинання синусоїди з її віссю симетрії). Відхилення кривої від лінії графіка - не більше  $15''$ .

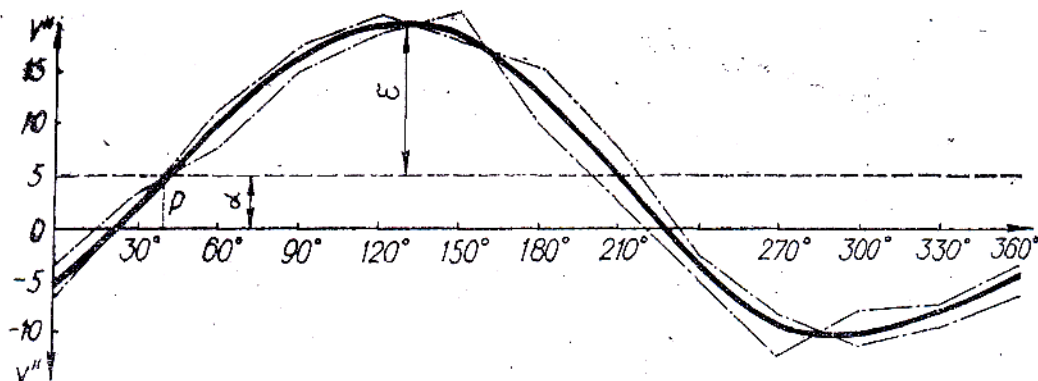


Рис. 8.2. Графік ексцентриситету алідади:  
1 - прямий хід; 2 - зворотний хід.

У теодолітах з однобічним відліком ексцентриситет визначають тільки шляхом наведення візирної осі на ту саму точку при двох положеннях вертикального кола. Для дослідження теодоліт розміщують на рівній площадці, на якій по радіальних напрямках через  $46^\circ$  ( $60^\circ$ ) на однаковій відстані від приладу (з метою виключення похибки фокусування труби) встановлюють марки. Потім при нерухомому лімбі способом кругових прийомів вимірюють напрямки на марки при двох положеннях кола за ходом й проти ходу годинникової стрілки. Обробка результатів вимірів складається у визначенні подвійної колімаційної погрішності  $2c = \text{КП-КЛ} + 180^\circ$  для кожного напрямку, середньої величини  $2c_0$  для прийому й різниці  $v = 2c - 2c_0$ . Далі аналогічно - попередній по величинах  $v$  будують графік, викреслюють вирівнюючу синусоїду, за якою визначають величини  $\varepsilon''$  і  $P$ . Для теодолітів типу Т5, Т10 коливання  $v$  не повинне перевищувати  $1'$ , а відхилення від плавної кривої  $0', 2-0', 3$

### **Практична робота № 9. Дослідження ексцентриситету горизонтального та вертикального кола, компенсатора при вертикальному колі теодоліта**

*Дослідження ексцентриситету горизонтального кола.*  
Ексцентриситет лімба - це лінійний зсув центра кільця ділень лімба з осі його обертання.

Дослідження ексцентриситету горизонтального кола виконується аналогічно дослідженню ексцентриситету алідади з тією лише різницею, що тепер алідада стає нерухомою, а переставляють лімб. За графіком визначають  $\alpha_1$ ,  $\varepsilon''_1$  і  $P_1$ . Максимальний вплив ексцентриситету алідади й лімба визначається за допомогою формули

$$\varepsilon_{12} = \sqrt{\varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 - 2\varepsilon\varepsilon_1 \cos(P - P_1)} \quad (9.1)$$

*Дослідження ексцентриситету вертикального кола.*  
Ексцентриситет вертикального кола можна визначити тільки еталонним способом, використовуючи більш точний теодоліт для виміру вертикального кута-еталона. Звичайно досліджуваний та еталонний теодоліт встановлюють один проти іншого, взаємно орієнтують візирні осі їх труб та вимірюють кути нахилу. Для взаємного орієнтування візирних осей зорових труб використовують коліматорний метод, висвітлюючи лампочкою сітку ниток спостережуваного приладу. До початку досліджень визначають МН й ступінь його сталості. За результатами вимірів визначають відхилення

$$\vartheta_n = v_3 - (\text{КП} - \text{МН}); \quad (9.2)$$

$$\vartheta_n = v_3 - (\text{МН} - \text{КЛ}) \quad (9.3)$$

де  $v_3$  - значення кута-еталона; КП, КЛ, МН – відліки при двох колах і

місце нуля досліджуваного приладу. Потім будують графік величин  $\varphi_n$  і  $\varphi_{\Delta}$ , відкладаючи їх на осі ординат, а на осі абсцис - значення вимірних кутів нахилу. За графіком судять про величину ексцентриситету або вводять виправлення у вимірювані кути за ексцентриситет вертикального кола.

*Дослідження компенсатора при вертикальному колі теодоліта.* При дослідженні визначають діапазон роботи компенсатора, точність стабілізації відлікового індексу й час заспокоєння коливань.

Діапазон роботи компенсатора визначається по нівелірній рейці. Для визначення точності стабілізації відлікового індексу вимірюють кут нахилу однієї й тієї ж лінії при невеликих нахилах приладу, здійснюваного за допомогою одного піднімального гвинта підставки, розташованого в колімаційній площині труби. За результатами вимірів виводять середній кут нахилу, а за відхиленнями від нього - середню квадратичну погрішність стабілізації індексу компенсації. Час заспокоєння коливань звичайно визначають при практичних випробуваннях приладу.

## **Тема 2. «Компарування»**

### **Практична робота №10. Компарування металевих рулеток та вимірювання довжин сторін в полігонометрії**

Завдання. Прокомпарувати металеву рулетку та отримати дійсну довжину кожного метрового інтервалу.

Мета: Навчитися робити компарування мірних приладів і вносити виправлення за компарування в довжини, які вимірюються.

Обладнання: металева рулетка, метр штриховий 1 розряду —МШ1Р (еталон).

#### **Загальні відомості**

Перед вимірюванням довжин ліній рулеткою або мірною стрічкою необхідно визначити їх фактичну довжину. Для цього мірний прилад (робочу міру) порівнюють з іншим приладом, довжина якого точно відома, його називають нормальною або зразковою мірою. Нормальні міри використовують лише для порівняння з ними робочих мір. Їх ретельно зберігають, щоб вони не змінили свою довжину. Довжина нормальної міри є в паспорті у вигляді «рівняння стрічки», яке визначає його довжину при даній температурі.

Процес порівняння робочої стрічки з нормальною називається компаруванням. При компаруванні на рівну поверхню вкладаються нормальна та робоча міри таким чином, щоб нульові штрихи їх знаходились один проти одного. До кінців стрічок прикріплюють динамометри, за допомогою яких стрічки натягують з однаковою силою. В практичній роботі за нормальну (зразкову) міру приймають метр штриховий 1 розряду - МШ1Р. Метр штриховий 1-го розряду МШ1Р

представляє собою вимірювальну лінійку з відліковими лупами. Лінійка має дві шкали з різною ціною розподілів і призначена для вимірів прямолінійних відстаней, а також для дослідження прямолінійних шкал. Основні характеристики приладу МШ1Р представлені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1.

Габарити приладу	1050x63x38 мм.
Вага приладу	3,203 кг.
Точність приладу	0,05 мм.
Довжина шкал	1020 мм
Ціна розподілу шкал	0,2 і 1 мм
Збільшення луп	7 <sup>x</sup>
Припустимі похибки шкал	0,05 мм
Межі показання термометра від	-30°С до +45°С
Ціна розподілу шкал термометра	0,5°С

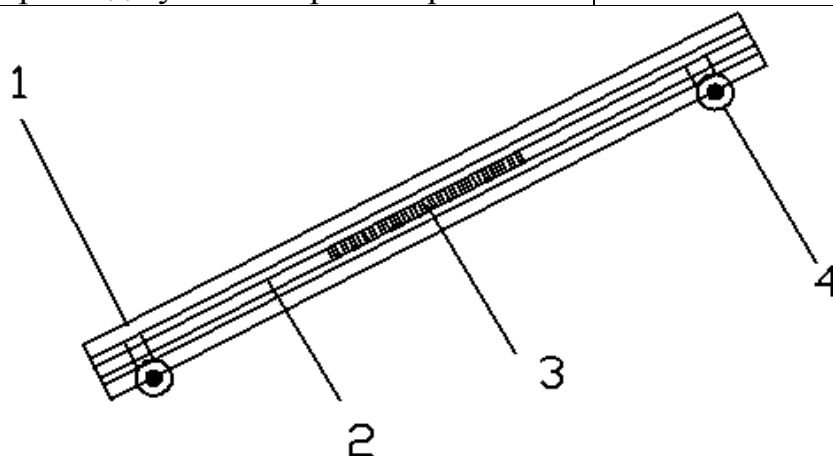


Рис. 10.1. Метр штриховий 1 розряду.

1-латунна лінійка; 2-напрямна штанга; 3-термометр; 4-лупа.

Метр штриховий 1 розряду - МШ1Р (рис. 1) складається з наступних основних частин:

1) Латунної лінійки, бічні грані якої скошені й складають із площиною основи кути рівні 45°. На одній скошеній грані нанесена шкала із ціною найменшого розподілу 0,2 мм, а на іншій із ціною найменшого розподілу 1 мм. Довжина шкал 1020 мм. Оцифровка шкал через кожні 10 мм. Точність нанесення штрихів розподілів на шкалах лінійки залежить від розмірів інтервалу; у межах половини довжини шкал вона дорівнює 0,025 мм, а в межах всієї довжини шкал - 0,05 мм.

2) Латунної прямої штанги, скріпленої з лінійкою за допомогою гвинтів.

3) Термометра, призначеного для виміру температури приладу. Діапазон виміру температур від -30° до +50°С. Термометр має шкалу із ціною розподілів 0,5°С. Оцифровка через кожні 0,5°С.

4) Двох луп 7<sup>x</sup> збільшення, призначених для підвищення точності відліку. Луни закріплені в обоймах утримувачів, які за допомогою

напрямних стрижнів вставляються в розрізні стійки движків. Лупи разом із движками переміщуються уздовж штанги й можуть повертатися щодо осей стійок. Ці рухи дозволяють установлювати їх проти кожного з розподілів тієї або іншої шкали лінійки. Фокусування луп виконується позовжніми переміщеннями їх в обіймах утримувачів.

### Виконання роботи

Вимір довжини за допомогою МШ1Р виконується прикладанням або накладанням на вимірюваний відрізок довжини. Кожен студент повинен самостійно прокомпарувати не менше одного метра робочої рулетки п'ятьма прийомами. Величину вимірюваної довжини отримуємо як різницю відліків за шкалою метра. Перед зняттям відліків треба записати температуру  $t_1^0$ . Відліки знімаються за допомогою луп. При накладанні МШ1Р на вимірюваний відрізок необхідно, щоб скошені грані метра були паралельні осі відрізка або вісі перевіряємої шкали (під віссю шкали мається на увазі пряма, що проходить через середину або кінці однакових штрихів шкали). Якщо вимірюваний відрізок обмежений двома штрихами (див. рис. 4), то його довжина являє собою відстань між осями цих штрихів і визначається за формулою:

$$L = \frac{c+d}{2} - \frac{a+b}{2} \quad (10.1)$$

де  $a, b, c, d$  – відлік по лівому та правому краю I та II штрихів.

Ці відліки потрібно знімати двома спостерігачами одночасно. При точних вимірах варто користуватися шкалою із ціною розподілу 0,2 мм.

Виконавши один такий прийом, тобто знявши чотири відліки, лінійку трохи зміщують у позовжньому напрямку й знімають другу серію відліків. Кількість прийомів визначається бажаним ступенем точності результатів виміру (в практичній роботі потрібно виконати 5 прийомів). Результати вимірювань та обчислень заносять до таблиці 2.

Таблиця 10.2.

Таблиця результатів виміру

№ прийому	$t_1^0$ и $t_n^0$	Штрих 1 Відлік			Штрих 2 Відлік			L = $\frac{c+d}{2} - \frac{a+b}{2}$	V = L - L <sub>сп</sub>	V <sup>2</sup>
		по лівому краю а	по правому краю б	$\frac{a+b}{2}$	по лівому краю с	по правому краю d	$\frac{c+d}{2}$			
1										
2	-									
3	-									
4	-									
5	-									
t <sub>сп</sub>								L <sub>сп</sub>	ΣV	ΣV <sup>2</sup>

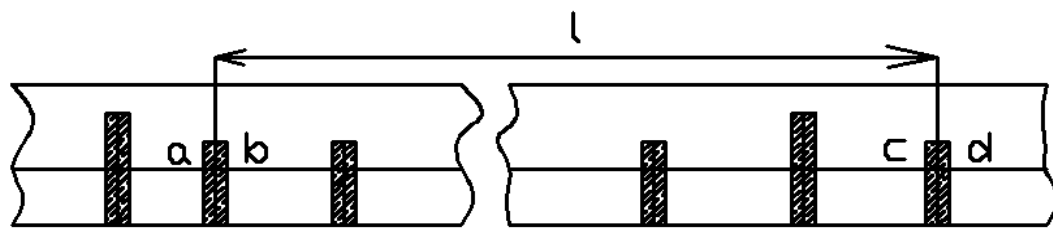


Рис. 10.2. Вимірювана довжина

Середнє арифметичне значення вимірюваної відстані визначається за формулою:

$$L_{cp} = \frac{\sum L}{n} \quad (10.2)$$

де  $\sum L$  - сума результатів кожного прийому;  $n$  - число прийомів.

При обліку теплового впливу на прилад необхідно фіксувати його температуру після першого й кінцевого прийомів виміру ( $t_1^0$  і  $t_n^0$  С) і знайти середню температуру

$$t_{cp} = \frac{t_1^0 + t_n^0}{2} \quad (10.3)$$

Потрібно знайти відхилення кожного значення  $l$  від середнього арифметичного значення вимірюваної довжини.

Оцінка точності вимірів визначається на основі теорії помилок. Середня квадратична помилка ( $m$ ) одного виміру (прийому) даного ряду

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}} \quad (10.4)$$

де  $V$  - відхилення кожного значення і від середнього арифметичного значення вимірюваної величини;  $n$  - число вимірів (прийомів).

Середня квадратична помилка ( $M$ ) результату виміру (середнього арифметичного) дорівнює:

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (10.5)$$

Потім довжину метра при  $t=20^\circ\text{C}$  приводять до середньої температури й одержують довжину метра  $L_{cp}(t)$ . Довжина метра при температурі  $t=20^\circ\text{C}$  і рівняння для перерахування його довжини на середню температуру зазначені в атестаті.

Середнє арифметичне  $L_{cp}(t)$  вимірюваного відрізка з урахуванням теплового впливу визначається за формулою:

$$L_{cp}(t) = \frac{L_{cp}(t)}{1000} L_{cp} \quad (10.6)$$

Рівняння для шкали з ціною поділки 0,2мм з атестата

$$L(1596)t = 1000,01 + 0,0185(t-20^0), \text{ мм}$$

Сумарна вимірювальна похибка, що визначає точність приладу, складається із двох основних помилок - помилки в нанесенні шкал лінійки



й помилки відліку.

При достатніх навичках у роботі з точними вимірювальними приладами відлік по МШ1Р може бути взятий з точністю 0,02 мм. У цьому випадку сумарна вимірювальна помилка при вимірі, довжин близьких до метра, не буде перевищувати 0,05 мм, якщо вимір виконаний у кілька прийомів (3-5).

У цих же умовах для вимірів довжин до 0,5 м сумарна вимірювальна помилка не буде перевищувати 0,03 мм.

При визначенні відстані між сторонами кінцевої міри (наприклад відстані між сторонами чорного прямокутника на білому) взяті по шкалах відліки являють собою значення вимірюваної величини. У цих випадках обчислювальна робота зводиться до визначення середнього арифметичного вимірюваної величини (з урахуванням температурного впливу) і сумарної вимірювальної помилки.

При більш грубому визначенні відстані доцільно користуватися шкалою із ціною розподілу 1 мм. Штриховий метр при цьому прикладається або накладається на вимірюваний відрізок довжини так, щоб початковий (нульовий) штрих шкали МШ1Р і кінець відрізка були продовженням один іншого. Довжиною вимірюваного відрізка буде відлік по Шкалі МШ1Р.

Щоб уникнути перекручування вимірюваної величини за рахунок паралакса при всіх методах виміру візирні осі відлікових луп повинні бути перпендикулярні площині, у якій лежить вимірюваний відрізок.

### Тема 3. «Метрологічні роботи у геодезії»

#### Практична робота № 11. Метрологічні роботи при виносі у натуру проектної точки у спосіб полярних координат

Завдання: оцінить точність та розрахувати похибки при виносі у натуру проектної точку у спосіб полярних координат.

Обладнання: металева рулетка, теодоліт.

Приклад.

Винести в натуру точку С способом полярних координат маючи наступні вихідні дані.

$$\beta_{\text{проект}} = 45^{\circ}10'$$

$$d_{\text{проект}} = 42,76 \text{ м}$$

$t_{\text{комп}}^0 = 20^{\circ}$  (температура мірного приладу при компаруванні)

$t_{\text{изм}}^0 = 33^{\circ}$  (температура мірного приладу при вимірі)

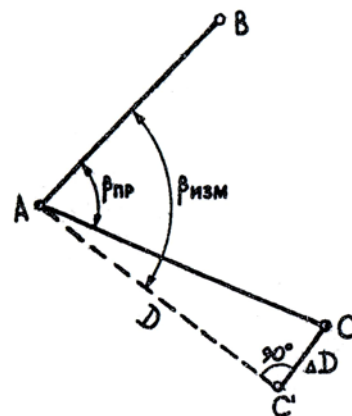


Рис. 11.1. Схема виносів проектної точки

$\ell = 20$  м. (довжина мірного приладу при компаруванні)  
 $\ell_0 = 19,985$  м. (довжина мірного приладу при вимірі)

### Рішення.

Довжина вимірюваної лінії.

$$D = d_{\text{проект}} + \Delta d_v + \Delta d_t + \Delta d_k, \quad (11.1)$$

де  $d_{\text{проект}}$  – проектна довжина;  $\Delta d_v$  – виправлення за приведення ліній до обрію;  $\Delta d_t$  – виправлення за температурою;  $\Delta d_k$  – виправлення за компаруванням.

Довжину вимірюваної лінії  $D$  визначають за формулою

$$D = \ell n + r$$

де  $\ell$  – номінальна довжина стрічки;  $n$  – число відкладень стрічки (визначається по кількості шпильок заднього обмірника);  $r$  – довжина залишку.

Результати вимірів записуємо в таблицю 11.1.

Таблиця 11.1.

### Результати вимірів

Напрямок виміру	Результати вимірів	V	V <sup>2</sup>
А - З'	42,76	- 0,008	0,000064
З' - А	42,78	+ 0,012	0,000144
А - З'	42,76	- 0,008	0,000064
З' - А	42,77	+ 0,002	0,000004
Середнє ( $D_{\text{ср}}$ )	42,768	$[V] = - 0,002$	$\Sigma[V^2] = - 0,000276$

де  $V$  – відхилення кожного значення від середньоарифметичного значення вимірюваної величини.

Оцінка точності.

Середньо квадратична помилка результатів виміру

$$M_d = \frac{m_d}{\sqrt{n}}, \text{ м.}, \quad (11.2)$$

де  $m_d$  середня квадратична помилка одного виміру,  $n$  – кількість вимірів.

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,000276}{4-1}} = \pm 0,0096 \text{ м.},$$

$$M_d = \frac{m_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,0096}{\sqrt{4}} = \pm 0,0048$$

Таблиця 11.2.

## Журнал виміру горизонтального кута

Станція	Крапки виміру	Відліки по лімбах верньєри			Середнє з відліків		Кут		Середні кути	
		I		II	0	'	0	'	0	'
		0	'	'						
А		Коло право								
	С	3	15	15'30"	3	15'15"				
	В	318	04	04	318	04	45	11'15"		
		Коло ліво							45	11'08"
	С	88	29	29	88	29				
	В	43	18	18	43	18	45	11'00"		
		Коло право								
	С	49	56	56'30"	49	56'15"				
	В	4	46	45	4	45'30"	45	10'45"		
		Коло ліво							45	10'38"
	С	130	25	25	130	25				
	В	85	14'30"	14'30"	85	14'30"	45	10'30"		
		Коло право								
	С	90	56	56	90	56				
	В	45	45'30"	45'30"	45	45'30"	45	10'30"		
		Коло ліво							45	10'30"
	С	180	10'30"	10'30"	180	10'30"				
	В	135	00	00	135	00	45	10'30"		
		Коло право								
	С	138	36	36	138	36				
	В	93	25	24'30"	93	24'40"	45	11'15"		
		Коло ліво							45	11'00"
	С	226	12	12	226	12				
	В	181	01	01'30"	181	01'15"	45	10'45"		

Обчислення кута нахилу.

КП = 2°58'; КЛ = 357°06';

$$v = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2} = \frac{2^{\circ}58' + 360^{\circ} - 357^{\circ}06'}{2} = 2^{\circ}56'$$

$$\Delta d_v = \frac{2d_{\text{проектн}} \sin^2 \frac{v}{2}}{\cos v} = \frac{2 \times 42.76 \times \sin^2 1^{\circ}28'}{\cos 2^{\circ}56'} = +0.056 \text{ м.}$$

$$\Delta d_t = kd_{\text{проектн}} (t_{\text{изм}}^0 - t_{\text{гомп}}^0) = 12.5 \times 10^{-6} \times 42.76 (33^{\circ} - 20^{\circ}) = +0.007 \text{ м,}$$

де  $k$  – лінійний коефіцієнт розширення матеріалу рулетки  $12,5 \times 10^{-6}$ .

$$\Delta d_k = \frac{d_{\text{проект}}}{\ell_0} (\ell - \ell_0) = \frac{42.76}{20} (19.985 - 20) = -0.032 \text{ м}$$

$$\Delta d_{\text{сум}} = +0,057 - 0,007 + 0,032 - 0,008 = 0,074,$$

де 0,008 – різниця між ( $d_{\text{проект}}$  и  $d_{\text{ср}}$ )

$$D = d_{\text{проект}} + \Delta d_v + \Delta d_t + \Delta d_k = d_{\text{ср}} + \Delta d_{\text{сум}} = 42,768 + 0,074 = 42,842 \text{ м}$$

Таблиця 11.3.

### Оцінка точності вимірюваного кута

№№ прийомів	Значення $\beta$	V	V <sup>2</sup>
1	45°11'08"	+19	361
2	45°10'38"	-11	121
3	45°10'30"	-19	361
4	45°11'00"	+11	121
$\beta_{\text{ср}}$	45°10'49"	0	$\Sigma = 962$

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{962}{4-1}} = \pm 18''.$$

$$M_\beta = \frac{m_\beta}{\sqrt{n}} = \frac{18''}{\sqrt{4}} = \pm 9''.$$

Середня квадратична погрішність виносу в натуру точки С

$$M_c = \sqrt{M_d^2 + \frac{M_\beta^2}{\rho^2} \times D^2} = \sqrt{0.0048^2 + \frac{9^2}{206265^2} \times 42.842^2} \approx 0.0051 \text{ м, де } \rho = 206265 \text{ ( - постійна константа (число секунд в 1 рад.) )}$$

$$M_c = \pm 0,0051 \text{ м.}$$

Обчислюємо помилку обмірюваного кута

$$\Delta\beta = \beta_{\text{изм}} - \beta_{\text{пр}}.$$

Обчислюємо виправлення  $\Delta D$ , на яку треба перемістити точку С, щоб побудований кут відповідав проектному.

$$\Delta D = \frac{\Delta\beta'' \times D}{\rho''}.$$

Відклавши  $\Delta D$  від точки С по перпендикулярі до лінії АС', одержимо точку С, що зафіксує кут  $\beta_{\text{ін}}$ .

## Тема 4. «Нівеліри, геометричне нівелювання»

### Практична робота № 12. Нівеліри. Перевірка паралельності осі циліндричного рівня до візирної осі зорової труби (з кінцевих пунктів)

Нівеліри призначаються для визначення перевищення (висоти) однієї точки місцевості (або спорудження) над іншою за допомогою

горизонтального променя й нівелірних рейок, установлених вертикально в цих точках.

Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 10528-76, нівеліри підрозділяються на три типи.

1. Нівелір високоточний з оптичним мікрометром для визначення перевищень із середньою квадратичною погрішністю не більше 0,5 мм на 1 км подвійного ходу.

2. Нівелір точний – для визначення перевищень із середньою квадратичною погрішністю не більше 3 мм на 1 км подвійного ходу.

3. Нівелір технічний – для визначення перевищень із середньою квадратичною погрішністю не більше 10 мм на 1 км подвійного ходу.

Окремі типи точних і технічних нівелірів виготовляються з лімбом для виміру горизонтальних кутів. До шифру таких нівелірів додається буква «Л».

Залежно від пристрою, застосованого для приведення візирної осі в горизонтальне положення, розрізняють нівеліри з рівнем при зоровій трубці й з компенсатором. Для нівелірів з компенсатором до шифру додається букви «ДО». Випускаються також нівеліри з похилим променем візування.

Вибір типу приладу залежить від вимог, пропонованих до точності виміру перевищень, і регламентується «Інструкцією з нівелювання I, II, III і IV класів» (М., Надра, 197Ф).

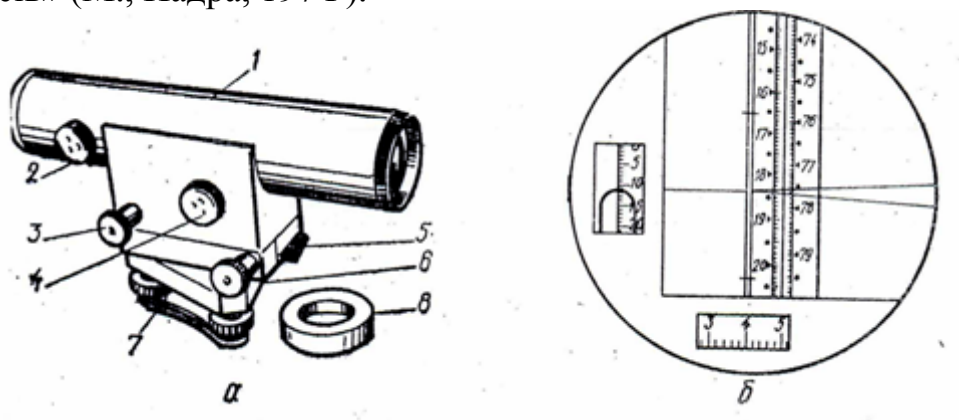


Рис. 12.1. Нівелір Н2:

*a* - загальний вигляд: 1 - кожух труби; 2 - кремальєра; 3 - елеваційний гвинт; 4 - маховичок оптичного мікрометра; 5 - закріпний пристрій; 6 - навідний пристрій; 7 - підставка; 8 - додаткова лінза; *б* - поле зору труби.

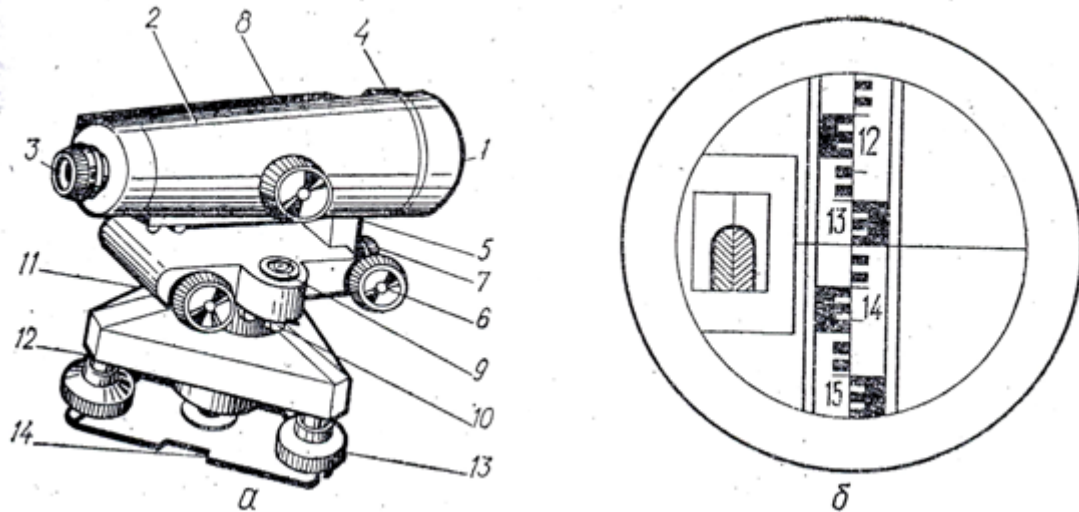


Рис. 12.2. Нівелір НЗ:

*a* - загальний вигляд: *1* - об'єктив; *2* - корпус труби; *3* - окуляр; *4* - мушка; *5* - ручка для фокусування; *6* - навідний пристрій; *7* - закріпний пристрій; *8* - коробка циліндричного рівня; *9* - круглий рівень; *10* - виправний гвинт круглого рівня; *11* - елеваційний гвинт; *12* - підставка; *13* - підйомний гвинт; *14* - пружинна пластинка з втулкою; *б* - поле зору труби.

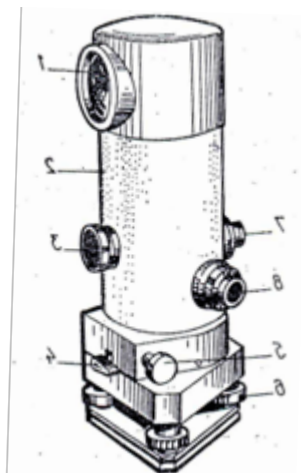


Рис. 12.3. Нівелір Ні 007:

*1* - кришка об'єктиву; *2* - зорова труба; *3* - кремальєра; *4* - закріпний пристрій; *5* - навідний пристрій; *6* - підйомний гвинт; *7* - окуляр; *8* - гвинт обертання пентапризми.

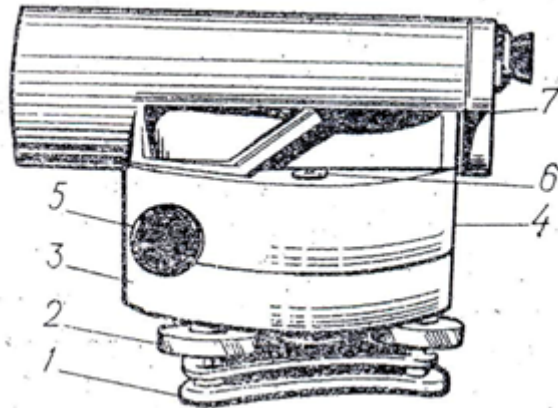


Рис. 12.4. Нівелір НС4:

*1* - пружиняча пластина; *2* - підйомний гвинт; *3* - підставка; *4* - основа зорової труби; *5* - навідний пристрій; *6* - виправні гвинти круглого рівня; *7* - відбивач.

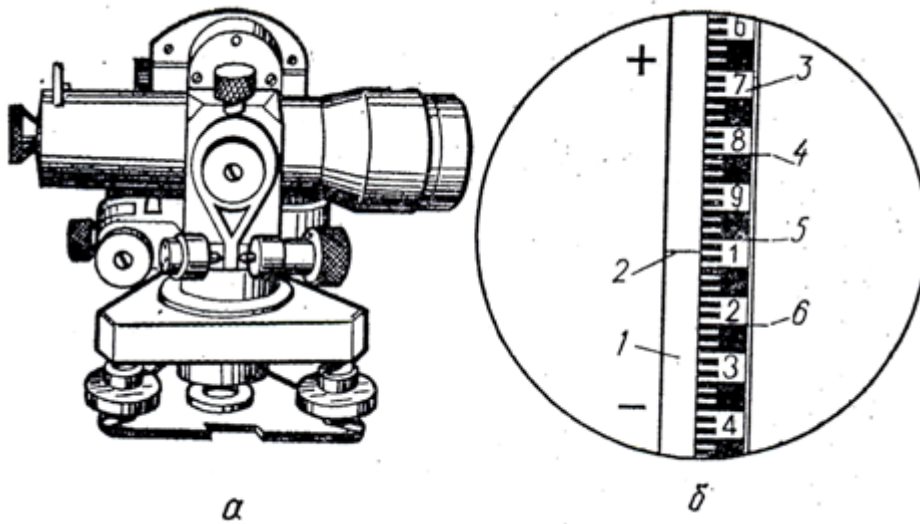


Рис. 12.5. Нівелір НЛ-3:

*a* - загальний вигляд; *б* - поле зору труби : *1* - посріблена пластинка; *2* - висотний штрих; *3* - зображення рейки; *4, 5, 6* - штрихи сітки ниток.

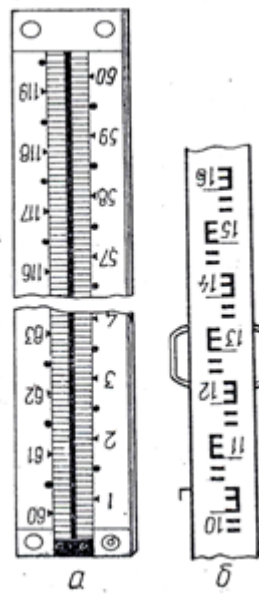


Рис. 12.6. Шкали нівелірних рейок:  
*а* - з інварною смужкою; *б* - двостороння шашкова.

При нівелюванні застосовують рейки різної конструкції (ДЕРЖСТАНДАРТ 11158-76). Рейки довжиною 4000 мм складні, а рейки типу РН-3 довжиною 3000 мм виготовляються у двох варіантах - складні й цільні. У позначенні складних рейок після вказівки довжини додається буква «С».

Основна й додаткова шкали на рейках РН-05 наносяться на смугу з інвару шириною 24 мм, закріплену із натягненням 20 кг у дерев'яному корпусі. Шашкові ділення на рейках РН-3 і РН-10 наносяться на поверхню дерев'яного бруска (мал.). Відстані між осями штрихів основної й додаткової шкал рейок РН-05 рівні 5 мм, а величина шашок на рейках РН-3 і РН-10 10 мм.

*Основні повірки й дослідження високоточних нівелірів.* Виконують лабораторні й польові повірки й дослідження нівелірів. Перед польовими роботами роблять огляд нівеліра, повірку й регулювання ходу піднімальних гвинтів і перевірку плавності обертання верхньої частини нівеліра навколо вертикальної осі.

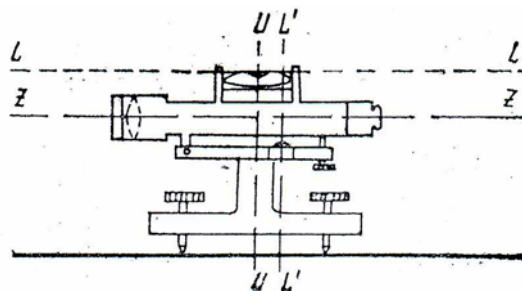


Рис. 12.7. Геометрична схема нівелірів.



По конструктивній, або геометричній схемі нівелірів (мал.) в них повинні бути дотримані ряд умов, згідно яким виконуються наступні повірки:

Вісь циліндричного рівня  $LL$  повинна бути паралельна до візирної осі зорової труби  $ZZ$  (головна умова), тобто  $LL // ZZ$ . У практиці широко користуються двома способами перевірки головної умови. Повірка нівеліра з кінцевих пунктів та повірка з середини.

**I.** На відстані десь 40-50 м один від іншого на рівній місцевості в точках А і Б забивають милиці з цвяхами, що мають капелюшка з сферичною поверхнею. Потім поруч із точках А встановлюють нівелір (окуляр зорової труби повинен відстояти від рейки, встановленої на точці А, не більше ніж на 3-5см.), приводять прилад у робоче положення й беруть відлік  $b$  по рейці, встановленої в точці В. Вимірюють висоту нівеліра  $i_a$  по чорній стороні рейки, встановленої в точці А. Потім прилад встановлюють поруч із точкою В.

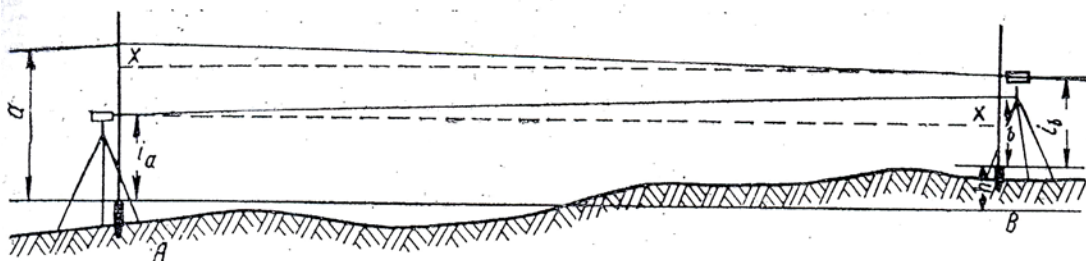


Рис. 12.8. Повірка нівеліра з кінцевих пунктів.

Роблять відлік  $a$  по рейці, встановленої в точці А, і вимірюють висоту приладу  $i_b$ . Величину  $x$  (різниця між віссю рівня й візирною віссю труби) знаходять за допомогою формули

$$x = \frac{i_A + i_B}{2} - \frac{a + b}{2} \quad (12.1)$$

Величина кута  $i$  дорівнює:

$$i = \frac{x\rho''}{S} \quad (12.2)$$

де  $S$  - відстань між точками А і В.

### Практична робота № 13. Перевірка паралельності осі циліндричного рівня до візирної осі зорової труби (з середини)

**II.** На відстані 50 - 75 м один від іншого забивають дві милиці. Встановлюють нівелір чітко посередині між ними й вимірюють перевищення  $h_0$  по чорній стороні рейок. Це перевищення буде вільно від впливу похибок  $x$ . Потім інструмент встановлюють на відстані найменшого візування за одним з милиць  $i$ , зробивши відліки по рейках у точках А і В, знову вимірюють перевищення  $L$  між ними. Значення  $x$

визначають за допомогою формули  $x = h - h_0$

Величина кута  $i$ , відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 10528—76, не повинна перевищувати  $10''$  при температурі  $\pm 20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ . У випадку перевищення цієї величини похибку виправляють. Для цього за допомогою елеваційного гвинта наводять середню нитку нівеліра на правильний відлік, що дорівнює  $a_0 = a + x$ . При цьому зображення кінців циліндричного рівня розійдуться. Виправними гвинтами рівня точно сполучають зображення кінців пухирця рівня.

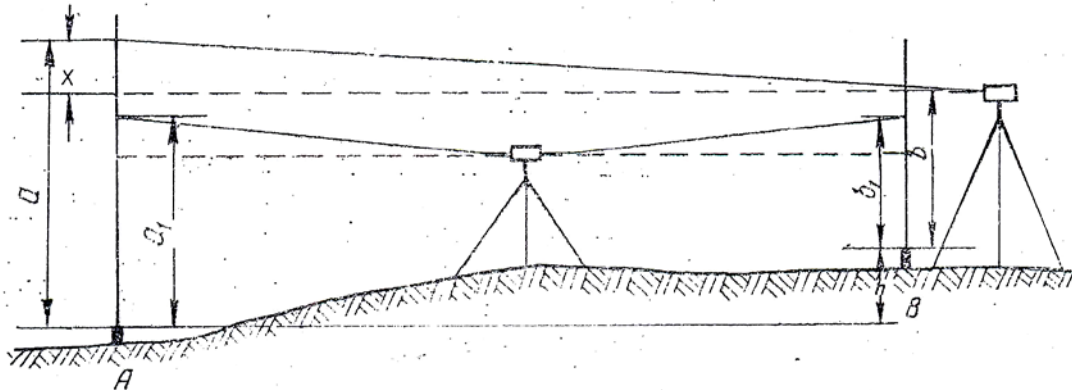


Рис. 13.1. Повірка нівеліра з середини.

Після цього повірку повторюють. Виправлення залежно від конструкції нівелірів можна також робити поворотом оптичного клину, розташованого перед об'єктивом (у нівеліра Н2).

#### **Практична робота № 14. Перевірка паралельності роботи осі циліндричного рівня та геометричної осі зорової труби, перевірка паралельності осі круглого рівня та осі обертання нівеліру, перевірка сітки ниток**

Перевірка № 2. *Вісь циліндричного рівня та геометрична вісь зорової труби повинні перебувати в паралельних стрімких площинах.* Для виконання цієї повірки на відстані порядку 50 м від рейки встановлюють нівелір таким чином, щоб один з піднімальних гвинтів виявився розташованим у напрямку до рейки. По круглому рівні приводять інструмент у горизонтальне положення. Зображення кінців пухирця циліндричного рівня сполучають елеваційним гвинтом і беруть відлік по рейці. Діючи двома іншими піднімальними гвинтами, нахиляють нівелір, стежачи, щоб відлік по рейці не змінився. Зауважують, у яку сторону й наскільки відхилився пухирець циліндричного рівня. Потім нахиляють інструмент у протилежний бік. Якщо пухирець відхилився на ту ж величину й у той же бік, умову виконано. У протилежному випадку положення осі рівня виправляють його бічними виправними гвинтами.

Перевірка № 3. *Вісь круглого рівня  $L^1L^1$  повинна бути паралельна осі*

обертання нівеліра, тобто  $L^1L^1 || UU$ . Встановлюють пухирець круглого рівня на середину. Повертають верхню частину нівеліра на  $180^\circ$ . Якщо пухирець залишився на середині, то умова вважається виконаною. У протилежному випадку виправними гвинтами круглого рівня переміщують пухирець до середини на половину дуги відхилення. Потім знову повторюють перевірку.

Перевірка 4. Одна з ниток сітки повинна бути перпендикулярна осі обертання нівеліра. Перевірку здійснюють наведенням середньої нитки сітки на чітко видиму точку. Після цього повертають прилад по горизонталі. Якщо нитка сітки сходиться з точки, то виправними гвинтами сітки ниток виправляють її положення.

### Практична робота № 15. Дослідження ціни поділки циліндричного рівня, дослідження похибки в установці лінії візування

До досліджень нівелірів відносяться: дослідження оптичних і вимірювальних якостей зорової труби, визначення ціни поділки циліндричного рівня, середньої квадратичної похибки сполучення зображень кінців пухирця рівня, ціни поділки шкали відлікової голівки, дослідження роботи механізму, що нахиляє плоскопаралельну пластинку, дослідження правильності ходу фокусуючої лінзи, визначення коефіцієнта далекоміра й асиметрії ниток, ціни обертання елеваційного гвинта.

Дослідження № 1. Ціну поділки циліндричного рівня визначають на екзаменаторі (ціна поділки шкали вимірювального гвинта не повинна перевищувати 1" для нівелірів типів Н-05 і Н-3 і 5" для нівелірів типу Н-10) і по вертикальній рейці або шкалі з міліметровими діленнями. В останньому випадку рейку встановлюють в 40 м від нівеліра й вимірюють відстань  $S$  від приладу до рейки з похибкою, що не перевищує 0,2 м. У випадку використання шкали з міліметровими діленнями її встановлюють на відстані, що не перевищує 15 м від нівеліра. Потім, привівши нівелір і рейку в робоче положення елеваційним гвинтом, встановлюють пухирець рівня на краю ампули у середині й на протилежному краю ампули. При цьому беруть відліки по рейці й рівню. Таких прийомів виконують не менш 6. Між прийомами змінюють горизонт приладу. Ціну поділки рівня визначають за допомогою формули, що аналогічна формулі  $\tau'' = \frac{\ell_1 \rho''}{nS}$ , де  $\ell_1$

— різниця відліків по рейці;  $n$  — різниця відліків за рівнем.

У нівелір з компенсатором крім перевірок настановного (круглого) рівня (пухирець рівня при повороті на  $180^\circ$  не повинен відхилятися більш ніж на 0,2—0,3 мм) і сітки ниток, які виконуються так, як і для глухих нівелірів, додатково визначають і усувають похибку в установці лінії візування, визначають похибки недокомпенсації, діапазон роботи компенсатора, його чутливість і час загасання коливань.

Дослідження № 2. *Похибку в установці лінії візування* визначають, встановлюючи нівелір точно на середині й у створі між рейками, що перебувають на відстані 50 - 80 м один від іншого. Роблять відліки по задній  $a_1$  і по передній  $b_1$  рейкам. Потім, установивши нівелір на відстані 3-5 м за передньою рейкою, роблять відліки по далекій  $a_2$  і по ближній  $b_2$  рейкам. Різниця між відліком  $a_2$  і обчисленим відліком  $a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2$  не повинна перевищувати 4 мм. У протилежному випадку виправними гвинтами сітку ниток встановлюють на відлік  $a'_2$  і повторюють перевірку.

### Практична робота № 16. Дослідження похибки недокомпенсації

Дослідження № 3. *Похибку недокомпенсації* визначають у такий спосіб. Встановлюють нівелір чітко у створі й посередині між рейками (припустима нерівність відстаней - не більше 1 м), розташованими один від іншого на відстані 5, 25, 50, 75 м. При п'ятьох положеннях пухирця круглого рівня (мал. I. 35) вимірюють перевищення. Це складе один прийом. Таких прийомів для кожної відстані повинне бути зроблено не менше п'яти. Якщо значення перевищень, отриманих при положенні пухирця рівня II, III, IV, V, відрізняються від значення перевищення, отриманого при положенні пухирця рівня I, більш ніж на 1 мм, інструмент направляють у майстерню для ремонту.



Рис. 16.1. Положення круглого рівня при дослідженні нівелірів з компенсаторами.

Перевірки діапазону роботи компенсатора і його чутливості визначають на екзаменаторі. Час загасання коливань маятника компенсатора визначають по секундоміру.

### Практична робота № 17. Перевірка високоточних нівелірів

Перевірка 1. Особливості повірок і досліджень точних і технічних нівелірів. Для нівелірів без елеваційних гвинтів виконується *повірка перпендикулярності осі циліндричного рівня до осі обертання нівеліра, тобто  $LL \perp UU$*  (див. мал.). Цю повірку виконують у такий спосіб. Спочатку приводять прилад у горизонтальне положення. Потім встановлюють рівень по напрямку двох піднімальних гвинтів і пухирець рівня приводять на середину. Повертають нівелір на  $180^\circ$ . Якщо пухирець

рівня відійшов з середини, то його повертають на половину дуги відхилення виправними гвинтами рівня, а на другу половину — піднімальними. Повторюють перевірку доти, поки пухирець рівня перестане відхилятися більш ніж на 0,5 поділку рівня.

Перевірка 2. *Повірку круглого рівня* в нівелірах без елеваційного гвинта здійснюють, приводячи прилад у горизонтальне положення, за допомогою вивіреного циліндричного рівня. Виправлення роблять виправними гвинтами оправи круглого рівня.

Перевірка 3. *Повірку головної умови* виконують подвійним нівелюванням двох точок, відстань між якими близько 75 м. Установивши нівелір на одній точок, а рейку на іншій, елеваційним гвинтом сполучають зображення кінців пухирця рівня й роблять відлік по рейці. Вимірюють висоту інструмента з точністю до 1 мм. Потім ті ж дії повторюють, помінявши місцями нівелір і рейку. Величину  $x$  обчислюють за допомогою формули. Якщо  $x > 4$  мм, за допомогою елеваційного гвинта (для нівелірів без елеваційного гвинта за допомогою піднімального гвинта) наводять середню нитку сітки на відлік по рейці, що дорівнює  $a_0 = a + x$ , і виправними гвинтами рівня точно сполучають кінці пухирця рівня. Для нівелірів без елеваційного гвинта виправними гвинтами сітку ниток наводять на відлік  $a_0$ . Цю перевірку можна також виконувати способами, зазначеними для високоточних нівелірів.

Перевірки й виправлення точних і технічних нівелірів з компенсаторами здійснюють аналогічно високоточним. Похибку недокомпенсації визначають при відстанях між рейками 5, 25, 50 і 100 м. Ця похибка не повинна перевищувати 3 і 5 мм у приладів Н-3 і Н-10 відповідно.

Крім перерахованих перевірок і досліджень для *нівелірів з похилим променем* здійснюють ще дві перевірки: перевірку коефіцієнта висотоміра, що для НЛ-3 повинен дорівнювати 5, і перевірку збігу висотного штриха з візирним штрихом при паралельних положеннях візирної осі труби й осі контактного рівня .

## **Практична робота № 18. Перевірки та дослідження рейок**

*До основних повірок і досліджень рейок відносяться:*

Перевірка правильності нанесення дециметрових ділень шкал рейок. Дециметрові ділення шкал рейок перевіряють за допомогою контрольної лінійки по інтервалах 02-10, 10-30, 30-58 основної шкали й 60-70, 70-90, 90-110, 110-118 додаткової або 1-29 по чорній стороні й 47-76 по червоній стороні шашкових рейок. Виміри роблять двічі. Перед другим виміром контрольну лінійку зрушують. Перед початком виміру кожного метрового інтервалу записують температуру контрольної лінійки. Для нівелювання I класу допускають похибки дециметрових ділень шкал рейок  $\pm 0,10$  мм, для

нівелювання II класу  $\pm 0,20$ , для III класу  $\pm 0,50$ , для IV класу  $\pm 0,70$ , для технічного нівелювання  $\pm 1,0$  мм.

Визначення довжини метрових інтервалів шкал рейки. Перевірку виконують контрольною лінійкою. Метрові інтервали 2-20, 20- 40, 40-58 основної шкали й 62-80, 80-100, 100-118 - додаткової або 1-10, 10-20, 20-29 - по чорній стороні й 48-57, 57-67 і 67-76 - по червоній стороні шашкових рейок вимірюють у прямому й зворотному напрямках. Як і для попередньої перевірки, перед другим виміром контрольную лінійку зрушують. Перед початком вимірів кожного інтервалу вимірюють також температуру. В обмірювані довжини вводять виправлення за температуру:

$$\Delta L = \Delta_{\text{комп}} + \alpha(t - t_0) \quad (18.1)$$

де  $\Delta_{\text{комп}}$  — відмінність довжини метрового інтервалу контрольної лінійки від 1000 мм при температурі еталонування на компараторі (виписують із паспорта лінійки);  $\alpha$  - коефіцієнт розширення контрольної лінійки;  $t$  і  $t_0$  — температура контрольної лінійки в момент компарування і її еталонування на компараторі.

Похибки нанесення метрових інтервалів на рейках не повинні перевищувати:  $\pm 0,10$  мм для I класу;  $\pm 0,20$  мм - II класу;  $\pm 0,50$  мм - III класу й  $\pm 1,00$  мм для IV класу.

*Визначення прогину рейки.* Величину стріли прогину рейки визначають у такий спосіб. Рейку укладають горизонтально на бічне ребро й за допомогою натягнутої між її кінцями тонкої нитки лінійкою з міліметровими діленнями вимірюють відстані  $a_1$ ,  $a_2$  і  $a_3$  від нитки до інварної смуги або до поверхні рейки. Виміри роблять біля ділень 02, 30, 58 для інварних рейок і 1, 15 і 29 або 48, 63 і 77 - для шашкових. Прогин обчислюють за допомогою формули

$$f = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2} \quad (18.2)$$

Для інварних і шашкових рейок величина  $f$  не повинна перевищувати 5 і 10 мм відповідно.

*Перевірка перпендикулярності площини п'яти рейки до осі рейки.* На відстані 10-30 м від нівеліра забивають три милиці й послідовно встановлюють на них рейку спочатку центром п'яти  $a_1$  потім її переднім  $a_2$ , заднім  $a_3$ , лівим  $a_4$  і правим  $a_5$  краями. При цьому щораз беруть по три відліки по основній шкалі. Такі спостереження повторюють двічі. Різниці  $a_1 - a_2$ ,  $a_1 - a_3$ ,  $a_1 - a_4$  і  $a_1 - a_5$  не повинні перевищувати 0,1 мм.

*Визначення різниці висот нулів шкал рейок.* На відстані 20 - 30 м від нівеліра, як і в попередньому випадку, забивають три милиці, на які по черзі ставлять інварні рейки. Потім роблять по три відліки по основній шкалі рейки. Це складе один прийом. Таких прийомів роблять не менш двох, змінюючи висоту приладу на 3 - 5 см. Різниця між середніми відліками по рейках складе величину різниці висот нулів шкал рейок. Для

шашкових рейок перевірку виконують аналогічно, тільки рейки ставлять на 4 милиці й відліки роблять по червоній і чорній сторонах рейок.

*Повірка правильності установки круглого рівня на рейці.* За допомогою схилу або вертикальної нитки сітки нівеліра рейку встановлюють у вертикальне положення. Потім виводять пухирець круглого рівня на середину за допомогою виправних гвинтів.

## **ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

При підготовці до захисту студент повинен вміти відповісти на запитання, які розкривають зміст кожної практичної роботи.

### **Тема «Теодоліти».**

1. Будова теодоліту.
2. Класифікація теодолітів.
3. Призначення рівнів у геодезичних інструментах.
4. Які рівні бувають?
5. Скільки осей має теодоліт?
6. Що є робочою мірою в теодолітах?
7. Відлікові системи в теодоліті.
8. Повірки теодоліта.
9. Юстировки теодоліта.
10. Дослідження теодоліта.
11. Що таке колімаційна помилка.
12. Місце нуля.
13. Місце zenіту.
14. Рен мікрометра.
15. Ексцентриситет лімба й алідади.
16. Лінійний елемент ексцентриситету алідади.
17. Кутовий елемент ексцентриситету алідади.
18. Ексцентриситет лімба.
19. Компенсатор.
20. Діапазон роботи компенсатора.

### **Тема «Компарування».**

1. Метр штриховий 1 розряду МШ1Р.
2. Будова метра штрихового.
3. Нормальною або еталонною мірою називають.
4. Еталонні міри використовують.
5. Компарування.
6. Середня квадратична помилка одного виміру.
7. Середня квадратична помилка результату виміру.
8. Рівняння для шкали з ціною поділки 0,2мм.
9. Сумарна вимірювальна похибка.

**Тема «Винос у натуру».**

1. Винос горизонтального кута способом підвищеної точності.
2. Спосіб полярних координат.
3. Довжина вимірюваної лінії.
4. Виправлення за приведенням ліній до обр'ю.
5. Виправлення за температурою.
6. Виправлення за компаруванням.
7. Номінальна довжина стрічки.
8. Середня квадратична помилка результатів виміру.
9. Середня квадратична помилка одного виміру.
10. Середня квадратична похибка виносу в натуру точки.
11. Помилка обмірюваного кута.

**Тема «Нівеліри, геометричне нівелювання».**

1. Будова нівеліру.
2. Класифікація нівелірів.
3. Призначення рівнів у нівелірі.
4. Які рівні бувають?
5. Скільки осей має нівелір?
6. Що є робочою мірою в нівелірі?
7. Відлікові системи в нівелірі.
8. Повірки нівеліру.
9. Юстировки нівеліру.
10. Дослідження нівеліру.
11. Рейки.
12. Класифікація рейок.
13. Повірки й дослідження рейок.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Метрологія і стандартизація: підручник .-К.: Либідь, 1997.-192с
2. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник /Є.Є Поліщук, М.М, Дорожовець та ін. за ред. проф.. Е.С, Поліщука . – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с
3. Стандартизація і сертифікація товарів та послуг: Підручник / Л.С. Кириченко, А.А. Самійленко. – Х.: Вид-во «Ранок», 2008. – 240с.
4. Метрологія: Учебник .-М.:Логос, 2005.-272с. Сергеев А.Г.