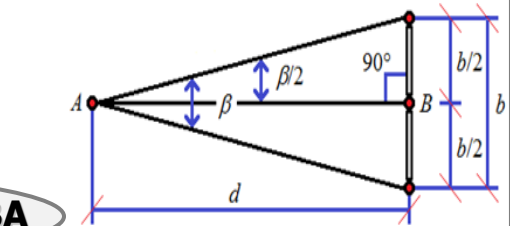
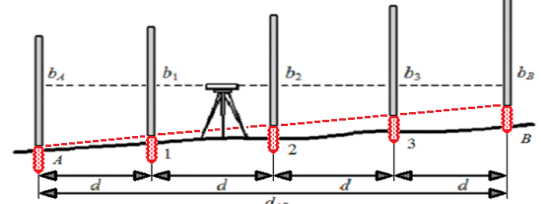
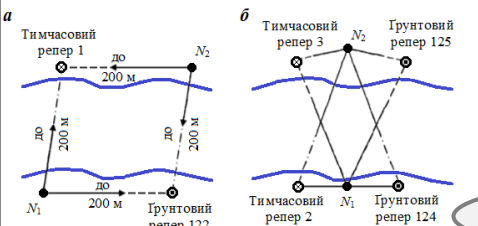
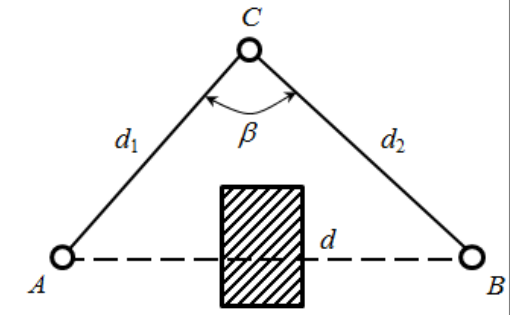
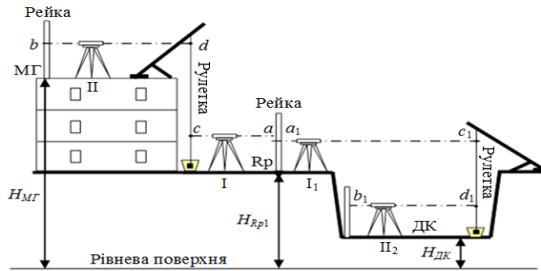
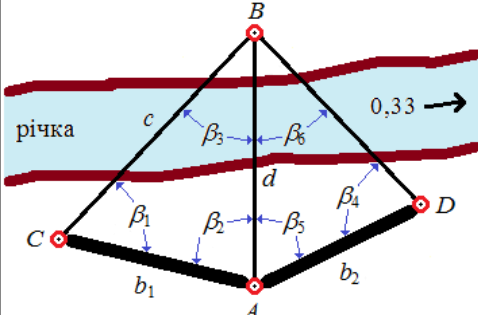


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**О. М. ГРИБ, Т. В. ГРАЩЕНКОВА**

1	2	3	4	5	6
0185	0795	1336	0214	0437	1025
0734	1545	1994	0435	0975	1506
7	8	9	2305	10	11
1286	2044	2535	0507	1484	2085
13	14	15	16	17	18
1935	2295	2876	1474	1976	2517
19	20	21	3345	22	23
2365	2793	3325	2046	2537	2964
25	26	27	28	29	30

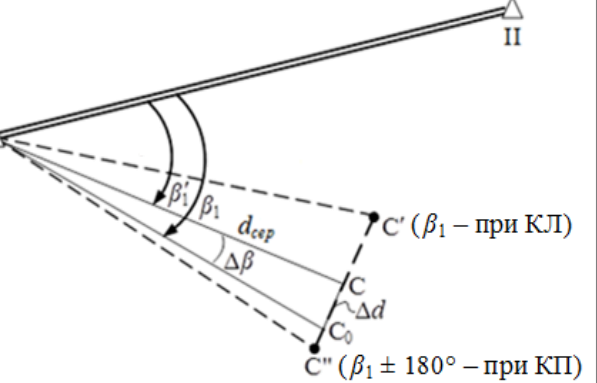
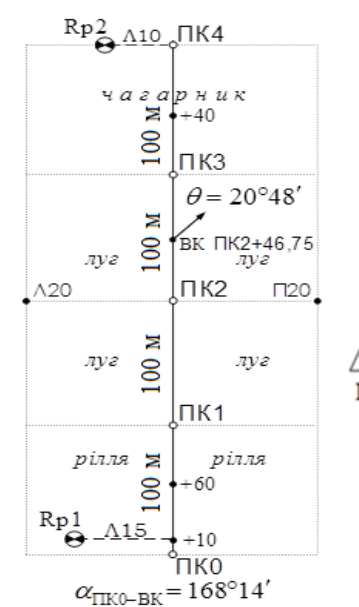
$a_1 = 2921 \text{ мм}$     $a_2 = 1052 \text{ мм}$   
 $H_{Рп} = 37.046 \text{ м}$

**ГЕОДЕЗИЯ**  
**(частина 1)**  
**Конспект лекцій**

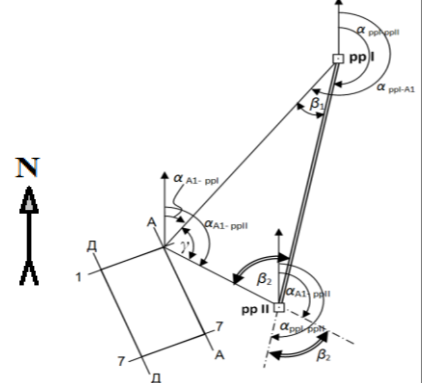
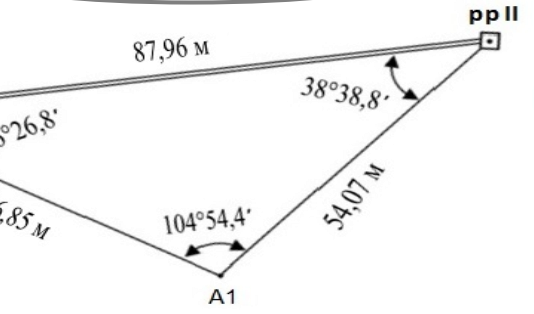
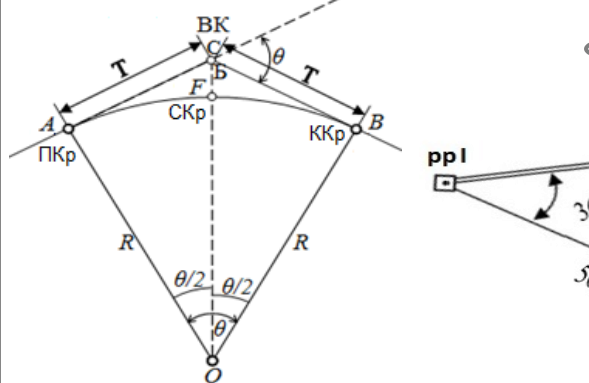
1	2	3	4	5
43,0	42,23	41,15	39,5	38,27
6	7	8	9	10
41,55	40,5	39,36	38,18	37,0
11	12	13	14	15
39,85	38,82	37,83	36,79	35,77
16	17	18	19	20
38,59	37,69	36,73	35,6	34,54
21	22	23	24	25
37,42	36,54	35,5	34,32	33,18

1:1000  
Висота перерізу рельєфу 1 м

Умовний горизонт	130	132	134	136	138	140
Планівні висоти	130,00	131,99	133,98	135,97	137,96	139,95
Проекційні висоти	130,00	131,99	133,98	135,97	137,96	139,95
Фактичні висоти	130,00	131,99	133,98	135,97	137,96	139,95
Відстані, м	60	40	100	100	40	60
ПІКЕТИ	0	+60	2	2	3	4
Планіметричні кривих		228,60	114,30	114,30	114,30	228,60
Масштаби	Горизонтальний 1:2000;	Вертикальний 1:200;	Поперецький 1:500			



**Одеса – 2022**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О. М. ГРИБ, Т. В. ГРАЩЕНКОВА

ГЕОДЕЗІЯ  
(частина 1)

Конспект лекцій

Одеса  
Одеський державний екологічний університет  
2022

УДК 528  
Г 82

**Гриб О. М., Гращенко Т. В.**

Г 82 Геодезія (частина 1): конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2022. 221 с.

ISBN 978-966-186-207-3

Конспект лекцій з дисципліни «Геодезія» (частина 1) включає матеріал наступних десяти тем теоретичної підготовки студентів: 1 – історія розвитку геодезії та поділ сучасної геодезії на ряд наукових і науково-технічних дисциплін; 2 – огляд, перевірка, юстування, компарування та дослідження геодезичних приладів; 3 – вимірювання ліній на місцевості механічними мірними приладами та визначення недоступних віддалей; 4 – проектування горизонтальної та похилої площини з балансом земляних робіт за даними нівелювання поверхні місцевості за квадратами; 5 – винос в натуру проектного положення геодезичного об'єкта та передача і контроль проектних позначок під час виконання будівельних робіт; 6 – побудова та проектування повздовжніх профілів і поперечників трас та інших об'єктів за даними технічного нівелювання; 7 – виконання та обробка результатів нівелювання III та IV класів; 8 – геодезичне забезпечення моніторингу водних об'єктів та досліджень стану земель водного фонду; 9 – застосування електронних (цифрових) приладів для автоматизації геодезичних вимірювань; 10 – техніка безпеки і охорона праці та довкілля під час проведення геодезичних робіт.

Частина 1 даного конспекту лекцій призначена для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання (включно з іноземцями) за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» (освітньо-професійна програма «Землеустрій та кадастр»).

УДК 528

*Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету  
Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій  
(протокол № 10 від 30.06.2022 р.)*

ISBN 978-966-186-207-3

© О. М. Гриб, Т. В. Гращенко, 2022  
© Одеський державний екологічний університет, 2022

## ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ВСТУП.....	7
1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ГЕОДЕЗІЇ ТА ПОДІЛ СУЧАСНОЇ ГЕОДЕЗІЇ НА РЯД НАУКОВИХ І НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН.....	9
2 ОГЛЯД, ПЕРЕВІРКА, ЮСТУВАННЯ, КОМПАРУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ.....	13
2.1 Огляд і компарування стрічки землемірної.....	14
2.2 Перевірка і юстування теодоліта.....	17
2.3 Перевірка і юстування нівеліра.....	25
2.3.1 Перевірки та юстування нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубі (на прикладі нівеліра Н-3).....	26
2.3.2 Перевірки та юстування нівелірів з компенсатором (на прикладі нівеліра Н-10КЛ).....	34
2.4 Перевірки і дослідження нівелірних рейок.....	38
3 ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙ НА МІСЦЕВОСТІ МЕХАНІЧНИМИ МІРНИМИ ПРИЛАДАМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НЕДОСТУПНИХ ВІДДАЛЕЙ.....	48
3.1 Закріплення, провішування і вимірювання ліній на місцевості та обробка результатів лінійних вимірювань.....	48
3.1.1 Закріплення та провішування ліній на місцевості.....	48
3.1.2 Вимірювання ліній на місцевості.....	51
3.1.3 Обробка лінійних вимірювань, виконаних землемірною стрічкою.....	53
3.1.4 Попереднє опрацювання даних лінійних вимірів у мережах згущення та великомасштабних топографічних і кадастрових знімів.....	58
3.2 Опосередковані визначення відстаней між двома точками місцевості – недоступної відстані та при відсутності прямої видимості.....	60
3.2.1 Паралактичний спосіб визначення недоступної відстані.....	60
3.2.2 Визначення недоступної відстані за теоремою синусів.....	62
3.2.3 Визначення відстані при відсутності прямої видимості за теоремою косинусів.....	65

3.2.4	<i>Визначення недоступної відстані (точки знаходяться на значній висоті або відсутня пряма видимість між ними) за спрощеними формулами Юнга .....</i>	67
4	<b>ПРОЕКТУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ТА ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ З БАЛАНСОМ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ЗА ДАНИМИ НІВЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ МІСЦЕВОСТІ ЗА КВАДРАТАМИ.....</b>	71
4.1	Обробка журнал-схеми нівелювання поверхні місцевості за квадратами.....	71
4.1.1	<i>Нівелювання поверхні місцевості способом за квадратами .....</i>	71
4.1.2	<i>Камеральна обробка результатів нівелювання поверхні місцевості способом за квадратами .....</i>	74
4.2	Проектування горизонтальної площини з балансом земляних робіт.	77
4.3	Проектування похилої площини .....	82
5	<b>ВИНОС В НАТУРУ ПРОЕКТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБ'ЄКТА ТА ПЕРЕДАЧА І КОНТРОЛЬ ПРОЕКТНИХ ПОЗНАЧОК ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ .....</b>	88
5.1	Розрахунок виносу в натуру проектної позначки .....	88
5.2	Передача позначки на дно котловану та на монтажний горизонт .....	91
5.3	Розбивка на місцевості проектної похилої лінії .....	94
5.4	Розрахунок виносу в натуру геодезичного об'єкта.....	96
5.5	Розрахунок виносу на місцевість кутової точки будівельної сітки..	106
6	<b>ПОБУДОВА ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПОВЗДОВЖНІХ ПРОФІЛІВ І ПОПЕРЕЧНИКІВ ТРАС ТА ІНШИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ ТЕХНІЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ .....</b>	110
6.1	Проектування профілю траси автодороги.....	110
6.2	Проектування профілю пальово-рейкового водомірного поста .....	118
6.2.1	<i>Система відліків і позначок на водомірному посту .....</i>	118
6.2.2	<i>Обладнання простих водомірних постів .....</i>	119
6.2.3	<i>Дослідження для проектування водомірних постів.....</i>	121
6.2.4	<i>Проектування пальових та рейкових водомірних постів .....</i>	122
7	<b>ВИКОНАННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ НІВЕЛЮВАННЯ ІІІ ТА ІІІІ КЛАСІВ .....</b>	125
7.1	Обробка результатів нівелювання ІІІ та ІІІІ класів на прикладі вирівнювання одиночного нівелірного ходу та системи ходів прив'язки вузлового (контрольного) реперу до державної нівелірної мережі .....	136

7.1.1 Попередні обчислення .....	136
7.1.2 Вирівнювальні обчислення .....	138
7.1.3 Вирівнювання одиночного нівелірного ходу .....	139
7.1.4 Визначення врівноваженої висоти вузлової точки і точок одиночних ходів в системі нівелювання III класу та оцінка точності польових вимірів і обчислень.....	144
7.2 Передача висотної позначки через водні перешкоди шириною понад 100 м.....	150
<b>8 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ ...</b>	<b>155</b>
8.1 Побудова профілю поперечного перерізу річки та визначення основних морфометричних характеристик її русла .....	159
8.1.1 Виконання промірів глибин на водних об'єктах.....	159
8.1.2 Обробка результатів вимірювань .....	162
8.2 Визначення ширини та положення прибережних захисних смуг водних об'єктів.....	170
8.2.1 Терміни та законодавчі обмеження в межах прибережних захисних смуг як земель водного фонду .....	170
8.2.2 Обчислення ширини та меж прибережних захисних смуг річок, ставків і водосховищ.....	175
<b>9 ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ (ЦИФРОВИХ) ПРИЛАДІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ .....</b>	<b>179</b>
9.1 Загальні відомості про сучасні електронні віддалеміри .....	179
9.1.1 Принцип дії електромагнітних віддалемірів.....	179
9.1.2 Класифікація світловіддалемірів і точність вимірювань .....	180
9.1.3 Загальні відомості про підготовку до вимірювань і виконання вимірювання віддалей світловіддалемірами.....	183
9.1.4 Лазерні рулетки-віддалеміри .....	184
9.2 Цифрові (електронні) нівеліри .....	185
9.3 Застосування електронних тахеометрів для автоматизації геодезичних робіт .....	189
9.3.1 Будова електронного тахеометра.....	191
9.3.2 Перевірки електронного тахеометра .....	197
9.3.3 Виконання вимірювань електронним тахеометром.....	200
9.3.4 Обробка результатів вимірювань електронним тахеометром..	202

10 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ .....	205
10.1 Правила техніки безпеки і охорони праці під час проведення геодезичних робіт .....	205
10.1.1 Основні вимоги техніки безпеки під час виконання польових геодезичних робіт на суші .....	210
10.1.2 Вимоги безпеки при виконанні геодезичних робіт в акваторіях водних об'єктів .....	211
10.1.3 Умови забезпечення безпеки проведення польових геодезичних робіт на забруднених вибухонебезпечними предметами територіях...	214
10.2 Охорона довкілля при виконанні польових геодезичних робіт.....	215
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА .....	217
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....	219

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Геодезія» належить до обов'язкової фахової освітньої компоненти теоретичної і практичної підготовки студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання (включно з іноземцями) за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» (освітньо-професійна програма «Землеустрій та кадастр»). Загальна кількість годин на вивчення даної дисципліни становить 330 годин або 11 кредитів, а також 120 годин або 4 кредити – на навчальну практику. Дисципліна викладається у четвертому семестрі II курсу (210 годин або 7 кредитів) та у п'ятому семестрі III курсу (120 годин або 4 кредити). У зв'язку з цим, для кожного з двох семестрів підготовлені окремі частини конспекту лекцій: частина 1 – для вивчення даної дисципліни у четвертому семестрі II курсу; частина 2 – для вивчення даної дисципліни у п'ятому семестрі III курсу.

У даному виданні наведений навчальний матеріал до тем частини 1 конспекту лекцій. Частина 1 конспекту лекцій з дисципліни «Геодезія» включає навчальний матеріал наступних десяти тем:

- 1 – історія розвитку геодезії та поділ сучасної геодезії на ряд наукових і науково-технічних дисциплін;
- 2 – огляд, перевірка, юстування, компарування та дослідження геодезичних приладів;
- 3 – вимірювання ліній на місцевості механічними мірними приладами та визначення недоступних віддалей;
- 4 – проектування горизонтальної та похилої площини з балансом земляних робіт за даними нівелювання поверхні місцевості за квадратами;
- 5 – винос в натуру проектного положення геодезичного об'єкта та передача і контроль проектних позначок під час виконання будівельних робіт;
- 6 – побудова та проектування повздовжніх профілів і поперечників трас та інших об'єктів за даними технічного нівелювання;
- 7 – виконання та обробка результатів нівелювання III та IV класів;
- 8 – геодезичне забезпечення моніторингу водних об'єктів та досліджень стану земель водного фонду;
- 9 – застосування електронних (цифрових) приладів для автоматизації геодезичних вимірювань;
- 10 – техніка безпеки і охорона праці та довкілля під час проведення геодезичних робіт.



В кінці кожного розділу та важливих підпунктів частини 1 конспекту лекцій є запитання для перевірки засвоєння змісту (базових знань) тем.

При підготовці частини 1 конспекту лекцій використано наукові та навчально-методичні здобутки відомих в Україні вчених та нормативні документи у галузі геодезії [1-21].

Частина 1 конспекту лекцій з навчальної дисципліни «Геодезія» складено з урахуванням особистого багаторічного досвіду виконання експедиційних геодезичних досліджень, викладання навчальних дисциплін і проведення практик геодезичного спрямування в Одеському державному екологічному університеті (ОДЕКУ).

# 1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ГЕОДЕЗІЇ ТА ПОДІЛ СУЧАСНОЇ ГЕОДЕЗІЇ НА РЯД НАУКОВИХ І НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

Термін *геодезія* в перекладі з грецької мови означає *землеподілення*, що в давнину достатньо точно визначало круг вирішуваних практичних задач при вимірюваннях на земній поверхні.

Сучасні археологічні розкопки свідчать, що геодезія виникла в глибокій старовині у зв'язку з:

- визначенням меж земельних ділянок і їх розділенням між власниками;

- будівництвом міст-фортець та іригаційних споруд.

Цивілізації, що існували за декілька тисяч років до нашої ери в Єгипті, Середній Азії, країнах Близького Сходу і Південній Америці, використовуючи знання в області геодезії, будували піраміди, храми, фортеці, античні будівлі, гідротехнічні споруди, тунелі, дороги великої протяжності, водопровідні і каналізаційні мережі і т. п.

Стародавні будівники вміли з достатньо високою точністю виносити на місцевість осі споруд, розмічати кругові криві, будувати прямі кути, передавати висотні позначки, задавати ухили, забезпечувати вертикальність висотних споруд і збійки підземних виробок. Дослідження показують, що лінійні вимірювання в той час виконувалися з відносною похибкою 1/2000-1/3000, кутові – 2'-4', висотні – 10-20 мм. Ця точність вимірювань зберіглася майже до кінця **XVIII** століття.

Історія свідчить, що за минулі три останні століття в області геодезії було зроблено більше, ніж за весь попередній період існування людства:

- так за цей період були виконані дуже великі геодезичні роботи по вимірюванню дуг меридіанів земної кулі, що дало можливість отримати міжнародну міру довжини – метр і експериментально підтвердити те, що Земля, хоча і має кулясту форму, але стиснена з боку полюсів уздовж своєї осі обертання;

- промислова революція, що почалася у **XVIII** столітті, коли різко зросла кількість заводів, фабрик, залізниць, мостів і тунелів, судноплавних каналів і навіть цілих населених пунктів з їх комунікаційними мережами, що будувалися, викликала подальший розвиток інженерно-геодезичних робіт у розвинених країнах, у тому числі і на території України;

- до цього ж періоду відноситься і становлення геодезії як самостійної науки. Її задачі ускладнювалися і ставали все більш різноманітнішими, масштабнішими і відповідальнішими.

Сучасна геодезія – це багатогранна наука, яка:

– вивчає фігуру і гравітаційне поле **Землі** і планет **Сонячної системи**;

– займається вимірюваннями на земній поверхні з метою складання різних карт, планів і профілів;

– займається розв’язанням наукових і науково-технічних задач;

– забезпечує потреби оборони країни.

Різноманітність вирішуваних задач привела до того, що геодезія розділилася на ряд наукових і науково-технічних дисциплін: вищу геодезію, геодезію (топографію, гідрографію), картографію, фотограмметрію, космічну геодезію, морську геодезію, маркшейдерську справу та інженерну (прикладну) геодезію.

**Вища геодезія** займається вивченням фігури Землі і її гравітаційного поля, а також визначенням координат окремих точок земної поверхні, що становлять єдину державну геодезичну мережу, використовувану потім у різних цілях.

**Геодезія** розглядає способи вивчення форм і розмірів порівняно невеликих ділянок земної поверхні для зображення їх на картах, планах і профілях:

– *топографія* займається вивченням суші;

– *гідрографія* займається вивченням гідрографічних об’єктів – океанів, морів, річок, водосховищ і т. д.

**Картографія** розробляє методи складання і способи видання різних карт і планів і визначає шляхи їх використання.

**Фотограмметрія** займається обробкою і дешифруванням наземних та аерофотознімків і різними вимірюваннями на них з метою складання фотопланів і карт.

**Космічна геодезія** розробляє способи обробки даних, отримуваних за допомогою штучних супутників Землі, міжпланетних кораблів і орбітальних автоматичних і пілотованих станцій.

**Морська геодезія** розробляє прилади і способи виробництва топографо-геодезичних і гравітаційних робіт, результати яких необхідні для картографування морського дна, вивчення природних ресурсів континентального шельфу і будівництва підводних і надводних гідротехнічних споруд.

**Маркшейдерська справа** (підземна геодезія) вивчає методи і засоби геодезичних вимірювань з метою:

- просторової ув'язки земної поверхні і гірничих виробок шахт і кар'єрів;
- складання планів гірничих робіт і розрізів;
- геометрізації надр і підрахунку запасів корисних копалин;
- забезпечення будівництва підземних споруд (шахт, тунелів, метро й ін.)

**Інженерна (прикладна) геодезія** займається дослідженнями і розробкою методів і засобів геодезичного забезпечення всіх видів будівництва на різних його етапах:

- при інженерно-геодезичних вишукуваннях;
- при геодезичному проектуванні;
- при будівництві нових споруд;
- при реконструкції, розширенні і експлуатації споруд, упорядкуванні міст і населених пунктів, лісотехнічних роботах і землеустрої;
- при монтажі і наладці складних машин і технологічного устаткування.

Розвиток геодезії *відбувається у взаємодії з іншими науками:*

- математика дозволяє теоретично обґрунтовувати методи вимірювань і обробки їх результатів;
- фізика і хімія представляють відомості для створення геодезичних і фотограмметричних приладів і про вплив природних і інших чинників на точність геодезичних вимірювань;
- астрономія дозволяє отримувати астрономічні координати (широти і довготи) точок земної поверхні і астрономічні азимуті напрямів за спостереженнями небесних світил;
- обчислювальна техніка дозволяє використовувати сучасні ПК для обробки результатів геодезичних вимірювань і рішення різних геодезичних задач;
- геологія і геоморфологія дають відомості про закономірності будови і утворення основних форм рельєфу;
- креслення забезпечує графічне оформлення отриманої інформації у вигляді планів, карт, профілів і розрізів.

У свою чергу, багато наук потребують результатів точних геодезичних вимірювань:

- астрономії і фізиці потрібні віддалі і кути;
- геології і географії – плани, карти, розрізи і профілі;

– будівельна механіка використовує результати геодезичних спостережень за деформаціями інженерних споруд для розробок рекомендацій і пропозицій по посиленню несучої здатності будівельних конструкцій і запобіганню причинам, що викликають ці деформації.

Подальший розвиток геодезичної науки і рішення нею багатьох науково-технічних задач немислимі без широкої підготовки фахівців з основних напрямів геодезії.

Підготовка інженерів-геодезистів за багатьма спеціальностями ведеться у **Львові** в університеті «Львівська політехніка». За окремими спеціальностями інженерів-геодезистів готували у **Дніпрі, Донецьку, Івано-Франківську, Києві, Чернівцях та Кривому Розі.**

Підготовка інженерів-маркшейдерів велася в **Алчевську, Дніпрі, Донецьку та Кривому Розі.**

Підготовка інженерів-землевпорядників велася в багатьох закладах вищої освіти (ЗВО) України, у містах **Донецьк, Івано-Франківськ, Київ, Луганськ, Львів, Макіївка, Одеса, Полтава, Рівне, Харків, Чернівці та Чернігів.**

Координація всіх видів топографо-астрономо-геодезичних і маркшейдерських робіт, направлених на забезпечення наукових і господарчих потреб та оборони країни входить у сферу діяльності Державного агентства земельних ресурсів України.

### *Питання для самоперевірки до теми № 1*

1. Які основні наукові і науково-технічні дисципліни входять до складу геодезії?
2. Які найважливіші задачі кожної з дисциплін геодезії?
3. З якими іншими науками пов'язана геодезія?
4. В яких містах України готують спеціалістів геодезичного профілю?
5. Хто здійснює координацію всіх видів топографо-геодезичних і маркшейдерських робіт?

## 2 ОГЛЯД, ПЕРЕВІРКА, ЮСТУВАННЯ, КОМПАРУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Перевіркою приладу називають сукупність експериментальних операцій, які направлені на здійснення контролю його метрологічної справності. Інакше кажучи, під перевірками геодезичних приладів слід розуміти їх відповідність щодо виконання необхідних геометричних умов без дотримання яких, точність вимірювання кутів, довжин, перевищень не буде відповідати тій точності, яка передбачена конструкцією цього геодезичного приладу. Тому використання неперевіраних геодезичних приладів суворо заборонено. Сама ж перевірка складається з трьох основних складових: власне геометричної умови при дотриманні якої, забезпечується належна точність вимірювань, перевірки відповідності приладу цій умові, а також (у випадку невідповідності геометричній умові) порядку юстування (виправлення) приладу з метою усунення існуючих технічних невідповідностей. Перевірки виконують лише за певних умов зовнішнього середовища та в суворій послідовності.

Результати перевірки геодезичних приладів слід подавати в такій послідовності: 1) назва перевірки; 2) геометрична умова, що перевіряється; 3) виконання перевірки; 4) виправлення (юстування) приладу.

Умови проведення перевірок представлені нижче.

1. Прилади, які перевіряються і засоби перевірки повинні бути завчасно підготовлені до проведення перевірок. Перед початком перевірок необхідно перевірити зовнішній стан і комплектність приладу, а також працездатність всіх його частин.

2. Перед початком перевірки геодезичні прилади повинні бути приведені в робочий стан у відповідності до інструкцій з їх експлуатації.

3. При виконанні перевірок в приміщенні або в польових умовах повинні виконуватись наступні вимоги:

а) температура повітря повинна бути в межах температурного діапазону роботи приладу;

б) зміна температури повітря повинна бути не більшою 3°C за годину;

в) відносна вологість повинна бути не більшою 90 %;

г) швидкість вітру не повинна перевищувати 4 м/с;

д) у польових умовах на прилад не повинні попадати прямі сонячні промені.

4. При проведенні перевірок повинні виконуватись правила роботи з вимірними приладами, а також правила з техніки безпеки.

## 2.1 Огляд і компарування стрічки землемірної

Під впливом часу, температури, механічних ушкоджень довжина мірного приладу в процесі його експлуатації змінюється. Тому перед початком вимірювань мірні прилади *компарують* – визначають їх фактичну довжину шляхом порівняння з *еталоном*, довжина якого визначена з дуже високою точністю. Компарування мірних приладів виконується на спеціальних *стаціонарних* та *польових компараторах*.

Основою метрологічного забезпечення геодезичних робіт в Україні є 1000-метровий геодезичний базис комплексу УВТ5-84 (*установка вищої точності*) НВО «Метрологія» (м. Харків). Комплекс УВТ5-84 – це вимірювальна установка вищої точності, до комплексу якої входять дволазерний віддалемір, апаратура для вимірювання метрологічних параметрів атмосфери і основний польовий компаратор, який представляє собою 6 реперів, закладених у створі на глибину 3 м. Віддалі між першим та наступним репером складають 24, 96, 288, 600 і 1000 м.

Середня квадратична похибка вимірювання контрольних ліній, які використовуються як еталонні базиси ( $m_d$ , мм), визначається за формулою:

$$m_d = (0,1 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot d), \quad (2.1)$$

де  $d$  – довжина контрольної лінії, мм.

Наприклад, для  $d = 1 \text{ км} = 1000 \text{ м} = 100000 \text{ см} = 1000000 \text{ мм}$  маємо:  $m_d = (0,1 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1000000) = 1,1 \text{ мм}$ , а для  $d = 96 \text{ м} = 9600 \text{ см} = 96000 \text{ мм}$  –  $m_d = (0,1 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot 24000) \approx 0,2 \text{ мм}$ .

Для компарування мірних стрічок, рулеток та інших мірних приладів на виробництвах і в областях (регіонах) метрологічні служби мають у своєму відомстві польовий компаратор, який представляє собою базис, розміщений на рівній, твердій і відкритій поверхні, довжиною 120 м (для того, щоб можна було вкласти мірний прилад на компараторі кілька разів у прямому і зворотному напрямках). Кінці базису закріплюють металевими штирями з насічками на торцях (знаки з спеціальними мітками).

Довжину польового компаратора визначають з точністю, в 3-5 разів вищою за точність приладів, які на ньому перевіряються.

На стаціонарних компараторах є зразкові інварні жезли, довжина яких визначена з високою точністю. За допомогою цих жезлів визначають довжину компаратора, а потім, порівнюючи довжину робочого мірного приладу з довжиною компаратора, визначають довжину цього приладу.

Крім того, компарування мірної стрічки (рулетки) можна виконати шляхом порівняння її довжини із довжиною взірцевої (повіреної) стрічки або рулетки (однакового чи вищого класу точності), наприклад, у польових умовах. Компарування мірного приладу виконується 4-10 прийомами залежно від необхідної точності.

Поправку за компарування мірного приладу ( $\Delta l_{ком}$ , м) обчислюють за формулою:

$$\Delta l_{ком} = (D_{ком} - D_{роб}) / n, \quad (2.2)$$

де  $D_{ком}$  – довжина компаратора, виміряна з високою точністю, м;

$D_{роб}$  – довжина компаратора, виміряна робочим приладом, м;

$n$  – кількість відкладень робочого приладу в довжині компаратора:

$$n = D_{роб} / l_0, \quad (2.3)$$

$l_0$  – номінальна довжина мірного приладу, м.

Поправка за компарування може бути як додатною, так і від'ємною (рис. 2.1). Якщо  $D_{ком} > D_{роб}$  (або  $l_{ком} > l_{роб}$ ), то поправка буде додатною ( $+\Delta l_{ком}$ ), а за умови  $D_{ком} < D_{роб}$  (або  $l_{ком} < l_{роб}$ ) – від'ємною ( $-\Delta l_{ком}$ ).

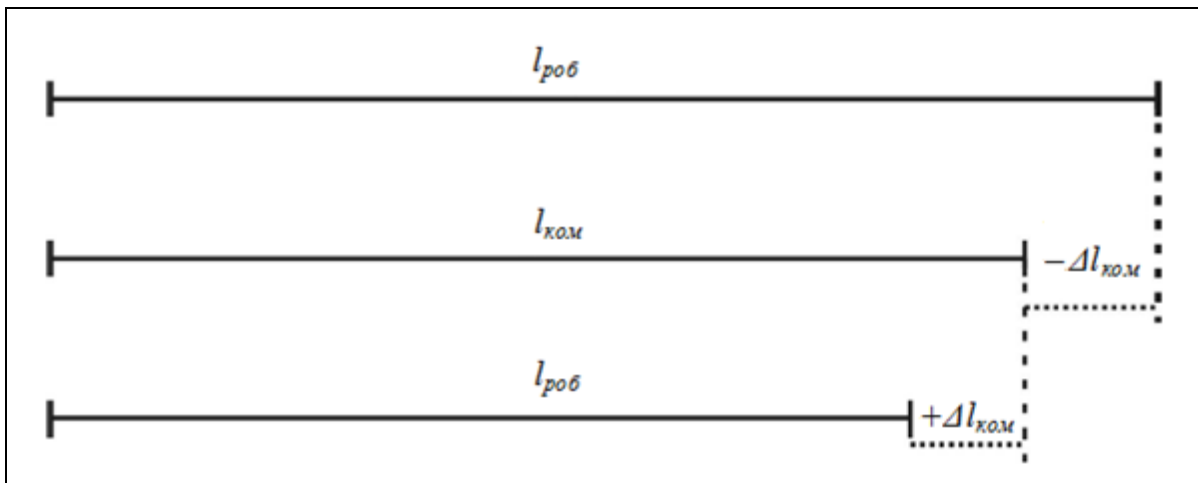


Рисунок 2.1 – Схема визначення поправки за компарування мірного приладу

Фактична ж довжина мірного приладу ( $l$ , м) буде дорівнювати:

$$l = l_0 - \Delta l_{ком}. \quad (2.4)$$



Для тих випадків, коли довжина лінії, що вимірюється, є менша за довжину мірного приладу, визначають поправки для кожного метра шляхом порівняння метрових поділок рулетки (стрічки) з контрольним метром з ціною поділки 0,2 мм. Загальну поправку на компарування, поправки в метрові поділки і температуру компарування (зазвичай +20°C) записують у паспорт мірного приладу та/або свідоцтво про повірку.

#### Приклад 1.

Нижче представлені результати огляду та компарування робочої рулетки фібергласової Stanley 34-296, III класу точності, номер 0126, номінальною довжиною  $l_0 = 20$  м.

*За результатами огляду встановлено, що рулетка в робочому стані.*

*Для компарування підготовлено базиси з віддалями між першим та наступним марками 10, 20, 30, 40, 50, 60 м.*

*Для підготовки базису використана взірцева рулетка металева P50УЗК, II класу точності, номер 10175, свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 233-ГМ від 12.04.2021 р. (чинне до 12.10.2022 р.), номінальною довжиною  $l_0 = 50$  м.*

*Під час компарування температура повітря дорівнювала 21,6 °С, відносна вологість повітря 77%, атмосферний тиск 101,7 кПа.*

Довжина компаратора  $D_{ком} = 60$  м, а вимірювання робочою рулеткою дало  $D_{роб} = 60,050$  м. Рулетка вклалась:  $n = D_{ком} / l_0 = 60 \text{ м} / 20 \text{ м} = 3$  рази.

Поправка за компарування дорівнює:

$$\Delta l_{ком} = (D_{ком} - D_{роб}) / n = (60 \text{ м} - 60,050 \text{ м}) / 3 \text{ рази} = -0,017 \text{ м}.$$

Фактична довжина мірного приладу дорівнює:

$$l = l_0 - \Delta l_{ком} = 20 \text{ м} - (-0,017 \text{ м}) = 20,017 \text{ м}.$$

#### Приклад 2.

Треба знайти виправлену за компарування довжину вимірної лінії, якщо номінальна довжина робочої стрічки дорівнює  $l_0 = 20$  м, а поправка за її компарування –  $\Delta l_{ком} = -0,017$  м. При вимірюванні довжини лінії на місцевості робочою стрічкою отримали результат  $D_{вим} = 317,68$  м. Тобто, стрічка вклалась у виміряну лінію  $n = 317,68 \text{ м} / 20 \text{ м} = 15,884$  разів. Загальна поправка за компарування до довжини вимірної лінії буде дорівнювати  $\Delta l_{ком} = 15,884 \text{ разів} \times (-0,017 \text{ м}) = -0,27$  м. Отже, виправлена довжина лінії становить:  $D_{випр} = 284,72 \text{ м} - 0,27 \text{ м} = 284,45 \text{ м}.$

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 2.1

1. Що таке компарування мірних приладів і чим воно спричинено та з якою метою його виконують?

2. З чого складаються і чим відрізняються стаціонарні та польові компаратори?

3. Як виконується компарування мірних приладів на стаціонарних компараторах?

4. Як здійснюється компарування мірних приладів на польових компараторах?

5. Який вигляд має схема визначення поправки за компарування та як виконується компарування стрічки землемірною способом порівняння її довжини з взірцевою мірною стрічкою?

## 2.2 Перевірка і юстування теодоліта

Перед виконанням вимірів теодоліт необхідно перевірити. Спочатку перевіряють комплектацію, справність роботи всіх гвинтів, виявляють механічні та інші пошкодження, які виникають при транспортуванні чи неправильному зберіганні. Після цього виконують перевірки теодоліта, які дають можливість виявити й усунути (або врахувати) неточності у взаємному розташуванні геометричних осей окремих його частин.

На виробництві під час проведення перевірок використовують паспорт теодоліта, який входить до комплекту будь-якого приладу. Для теодолітів серії Т30 точність відліку становить 30". Для даних теодолітів проводять наступні основні перевірки, які викладені нижче.

Перевірка 1. Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта (рис. 2.2).

Встановлюють теодоліт на штатив. Після цього розташовують циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів «А» і «В» та приводять бульбашку рівня в нуль-пункт (рис. 2.3, положення 1). Далі повертають прилад на  $90^\circ$  і поворотом третього піднімального гвинта «С» знову виводять бульбашку рівня у нуль-пункт (рис. 2.3, положення 2). Потім повертають алідаду теодоліта ще на  $90^\circ$  (рис. 2.3, положення 3).

Якщо бульбашка рівня змістилась від нуль-пункту не більш ніж на одну поділку, то дана перевірка виконана. В іншому випадку виконують юстування приладу. Для цього у положенні 3 (рис. 2.3) виправними гвинтами рівня за допомогою шпильки (рис. 2.4) встановлюють бульбашку на половину дуги її відхилення від нуль-пункту, а на другу половину (до переміщення бульбашки у нуль-пункт) – піднімальними гвинтами «А» та «В». Після виправлення перевірку повторюють знову (зазвичай 3-4 рази).

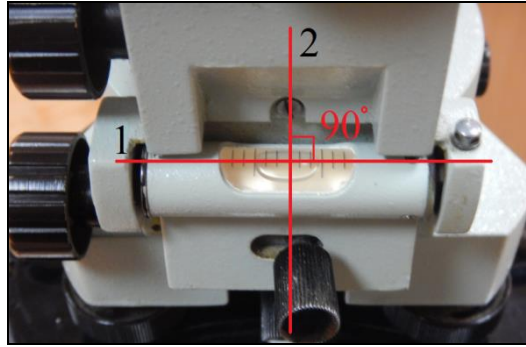


Рисунок 2.2 – Перевірка перпендикулярності осі циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга (1) до вертикальної осі обертання теодоліта (2)

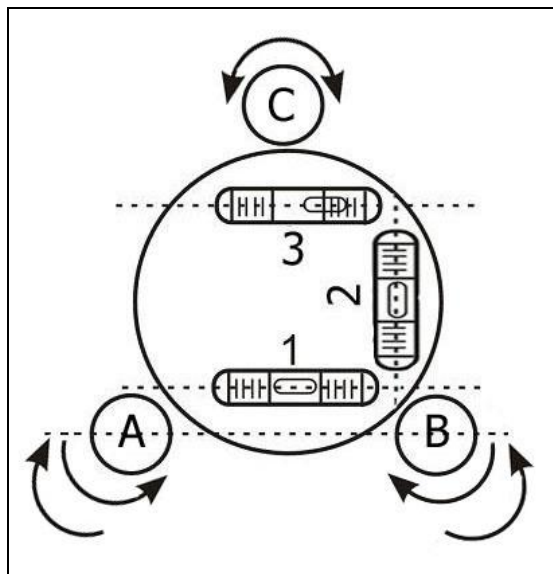


Рисунок 2.3 – Перевірка циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга теодоліта: 1, 2, 3 – положення циліндричного рівня між піднімальними гвинтами А, В та С; стрілки – напрямки обертання гвинтів

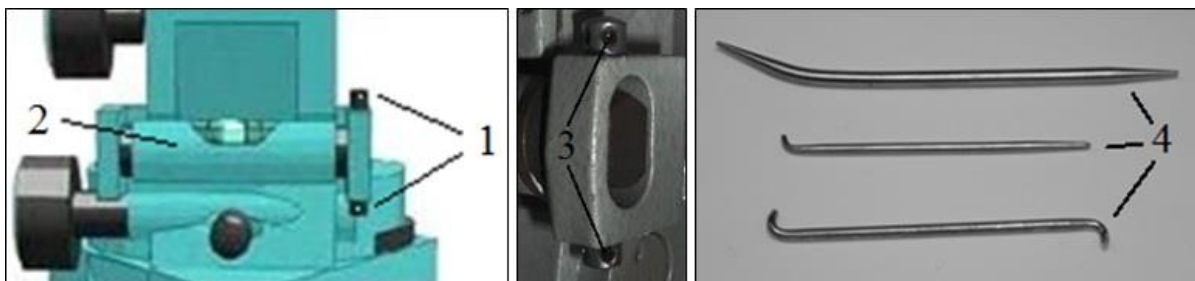


Рисунок 2.4 – Виправні гвинти циліндричного рівня при алідаді теодоліта: 1 – циліндричний рівень; 2 – виправні (юстувальні) гвинти; 3 – отвори для шпильок; 4 – шпильки для юстування

Виконання перевірки циліндричного рівня при алідаді теодоліту забезпечує можливість виконання всіх інших перевірок приладу, які виконують при вертикальному положенні головної осі обертання теодоліта, тобто в робочому положенні приладу.

Перевірка 2. Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.

При проведенні даної перевірки найбільш надійним є використання виска. Теодоліт приводять у робоче положення і на відстані 5-15 м, у захищеному від вітру місці, підвішують нитковий висок та наводять зорову трубу на нитку виска.

Якщо вертикальна нитка сітки ниток співпадає з ниткою виска, то перевірка виконана (рис. 2.5, а). Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска (рис. 2.5, б), то перевірка не виконана, тому далі виконують виправлення (юстування).

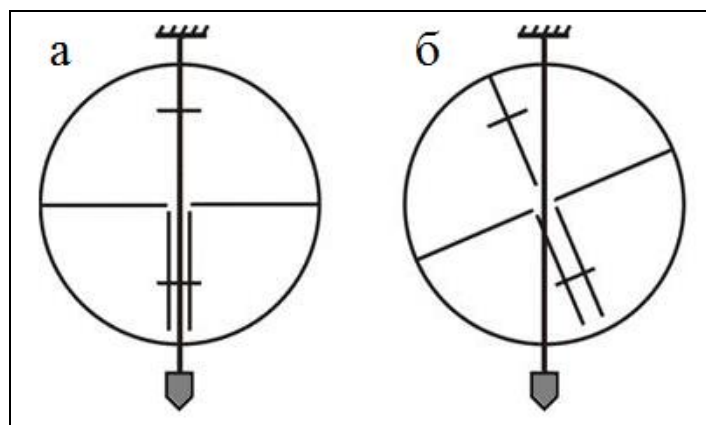


Рисунок 2.5 – Перевірка сітки ниток:  
а – перевірка виконана; б – перевірка не виконана

Згідно з паспортом теодоліту дану перевірку також можна виконати наступним способом. Закріплюють теодоліт на штативі і приводять прилад у робоче положення. Наводять зорову трубу на візирну ціль (наприклад, точку на стіні) та суміщають зображення даної цілі з лівим кінцем горизонтального штриха сітки ниток. Далі, обертаючи навідний гвинт алідади, прослідковують чи співпадає зображення цілі з правого кінця горизонтального штриха сітки ниток. Якщо воно не співпадає, більш ніж на три ширини штриха, то перевірка не виконана і виконують юстування.

Юстування здійснюють поворотом сітки ниток на потрібну кутову величину.

Для юстування відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби (шляхом його обертання проти часової стрілки) і послаблюють чотири закріпні гвинти діафрагми сітки ниток (рис. 2.6).

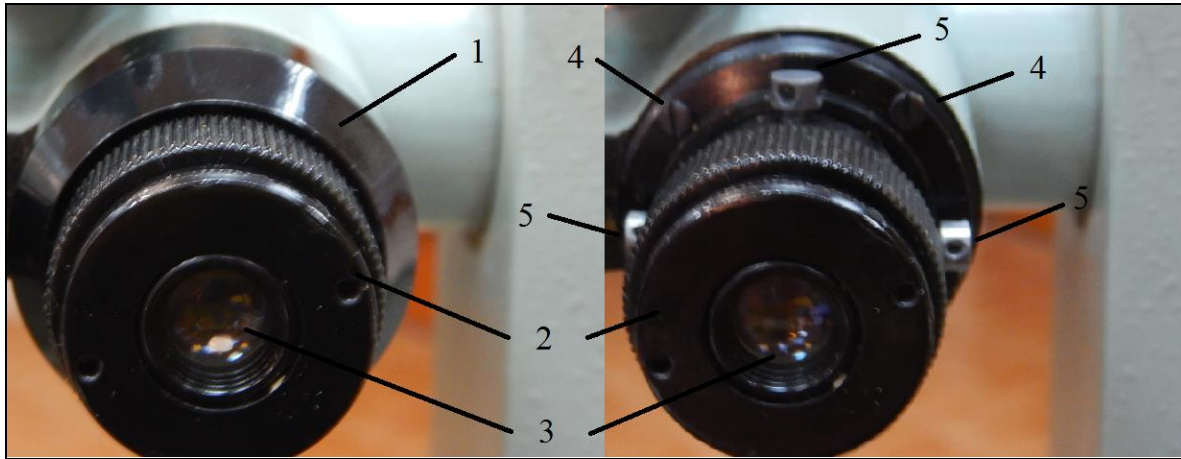


Рисунок 2.6 – Юстування сітки ниток шляхом повороту діафрагми сітки ниток:  
1 – ковпачок в окулярній частині зорової труби; 2 – діоптрійне кільце;  
3 – окуляр зорової труби; 4 – закріпні гвинти діафрагми сітки ниток;  
5 – вертикальні та горизонтальні виправні гвинти сітки ниток

Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпадала з лінією виска (рис. 2.5, а) або щоб відхилення зображення цілі (точки на стіні) відносно правого кінця горизонтального штриха сітки ниток зменшилося у два рази, у випадку, коли дана перевірка виконується згідно з паспортом теодоліту.

Далі закріплюють гвинти і прикручують ковпачок (шляхом його обертання за ходом часової стрілки).

Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка 3. Візирна вісь зорової труби має бути перпендикулярна до осі обертання зорової труби або визначення колімаційної похибки (рис. 2.7).

Приводять теодоліт в робоче положення. На місцевості вибирають віддалену, добре видиму та фіксовану точку (наприклад, точку на стіні) і наводять на неї зорову трубу при КП. Знімають відлік з горизонтального круга  $КП_1$ .

Далі відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через zenit і при КЛ наводять її на ту ж саму точку, що і при КП. З горизонтального круга знімають відлік  $КЛ_1$ .

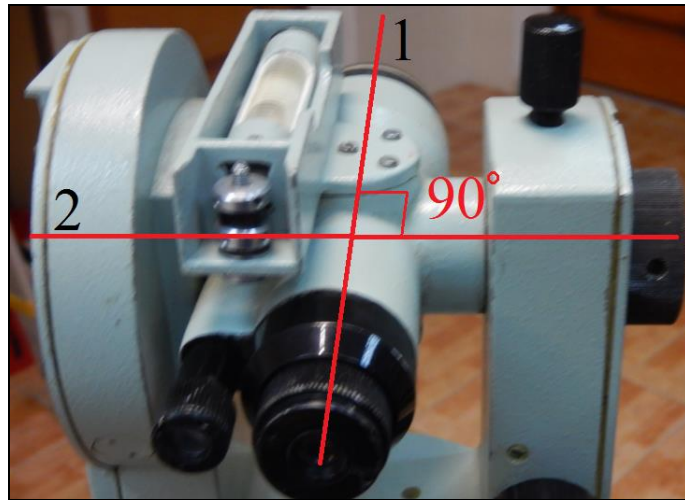


Рисунок 2.7 – Перевірка перпендикулярності візирної осі зорової труби до осі обертання зорової труби (або визначення колімаційної похибки):

1 – візирна вісь зорової труби; 2 – вісь обертання зорової труби

У теодолітів серії Т30 з метою виключення ексцентриситету алідади (неспівпадіння осей обертання лімба і алідади), необхідно повернути лімб приблизно на  $180^\circ$ . Дана операція виконується за допомогою закріпного гвинта лімба. Відкріплення та обертання лімба необхідно провести після взяття відліків  $КП_1$  та  $КЛ_1$ . Після зміщення і закріплення лімба повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки  $КП_2$  і  $КЛ_2$ .

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють колімаційну похибку  $c$  за формулою:

$$c = [(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)]/4. \quad (2.5)$$

Якщо  $c \leq 1'$ , то перевірка виконана. Зазначена вимога (допустима похибка  $c \leq 1'$  – подвійна точність взяття відліку в одному прийомі при вимірюванні горизонтального кута, тобто  $c = 30'' \times 2 = 1'$ ) справедлива лише для теодолітів серії Т30. Наприклад, для теодоліту 2Т5К допустимою колімаційною похибкою буде  $c = 5'' \times 2 = 10''$ .

Якщо ж  $c > 1'$ , то виконують виправлення (юстирування) приладу. Для цього обчислюють відлік за горизонтальним кругом, при якому візирна вісь зорової труби була б перпендикулярна до осі її обертання, за однією з формул:

$$КЛ_0 = КЛ_2 - c \quad \text{або} \quad КП_0 = КП_2 + c. \quad (2.6)$$



Далі, обертаючи навідний гвинт аліади горизонтального круга, встановлюють в мікроскопі визначений відлік  $KJ_0$  (або  $KП_0$ ). При цьому центр сітки ниток зміститься зі спостережуваної точки ліворуч чи праворуч на кут  $c$  (рис. 2.7).

Після цього знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток (рис. 2.6). Далі, попередньо послабивши верхній виправний гвинт, обертають по черзі правий і лівий виправні гвинти, які розташовані горизонтально (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки), пересуваючи пластинку з сіткою ниток горизонтально так, щоб центр сітки співпадав із зображенням предмету.

Перевірку повторюють доти, поки колімаційна похибка теодоліта не буде менша його подвоєної точності.

Під час виправлення колімаційної похибки через небезпеку пошкодження пластинки сітки ниток треба бути особливо уважним. Суворо заборонено накручування виправного гвинта не відпустивши протилежний.

Перевірка 4. Горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі теодоліта (рис. 2.8).

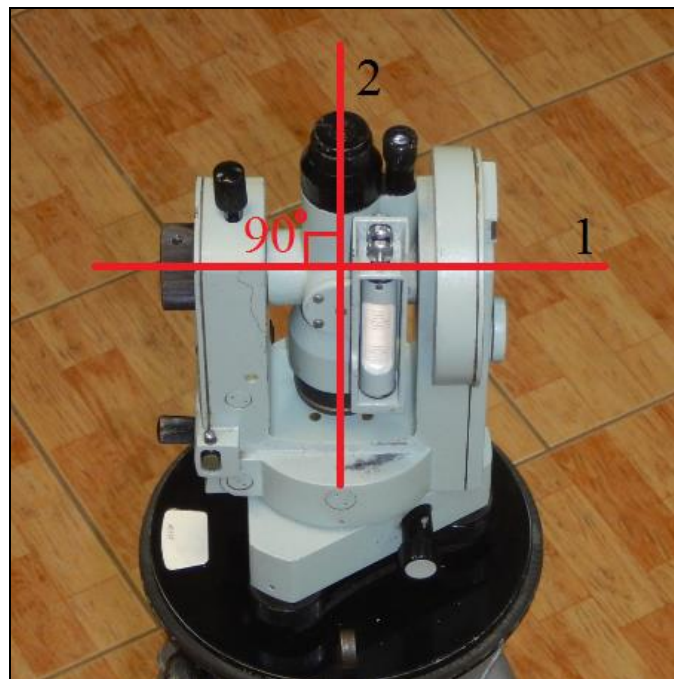


Рисунок 2.8 – Перевірка перпендикулярності горизонтальної осі обертання зорової труби до вертикальної осі теодоліта: 1 – горизонтальна вісь обертання зорової труби теодоліта; 2 – вертикальна вісь теодоліта

Виконання даної перевірки гарантується виробником теодолітів, але її виконання є обов'язковим.

Встановлюють теодоліт на відстані 2-3 м від стіни будинку (рис. 2.9). Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку М (або на перехрестя закріпленої марки), яка розташована в верхній частині стіни (під кутом 25-30° до горизонту). За допомогою зорової труби теодоліта проєктують точку вниз на висоту приладу (до значення кута приблизно  $\pm 1^\circ$  до горизонту) і позначають на стіні точкою  $m_1$  її проєкцію (закріплюють другою маркою).

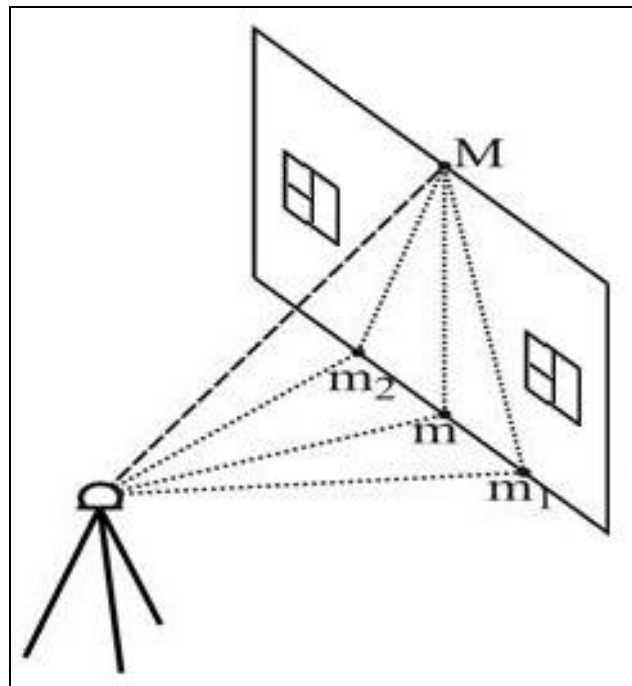


Рисунок 2.9 – Схема виконання перевірки перпендикулярності горизонтальної осі обертання зорової труби до вертикальної осі теодоліта

Після цього повертають алідаду на  $180^\circ$  і знову наводять центр сітки ниток на верхню точку М, а далі нахилиють зорову трубу вниз і проєктують точку вниз, позначаючи на стіні точкою  $m_2$  її проєкцію. Потім визначають відхилення позначених точок  $m_1$  та  $m_2$  (перехрестя марок) відносно середини бісектора сітки ниток.

Якщо обидві точки проєкції співпадають або знаходяться в межах бісектору сітки ниток (ширина якого відповідає нахилу горизонтальної осі, який дорівнює  $30''$ ), то перевірка виконана.

Якщо відхилення є більшим ніж ширина бісектору, то потрібне виправлення (юстування).



У теодолітах серії Т30 виправлення (юстування) рекомендується виконувати в спеціальних майстернях за допомогою виправних гвинтів, розміщених на підставці труби. Юстування в майстерні здійснюють шляхом встановлення під одну із сторін підставки осі зорової труби підкладки потрібної товщини.

Примітка до перевірки 4.

Якщо вимірювання виконуються повними прийомами, тобто при двох положеннях вертикального круга теодоліта – КЛ та КП, то нахил горизонтальної осі не впливає на результати вимірювань і в теодолітах, які знаходяться в експлуатації, його значення можна допускати до 1'.

Перевірка 5. Місце нуля вертикального круга повинно бути постійним і близьким до нуля.

До перевірок теодоліту також відносять знаходження місця нуля. Місце нуля (МО) – це відлік за вертикальним кругом, коли візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка циліндричного рівня при вертикальному крузі (ВК) знаходиться в нуль-пункті (тобто, візирна вісь зорової труби і вісь циліндричного рівня при ВК горизонтальні).

Виконання перевірки здійснюється наступним чином. Встановлюють теодоліт на місцевості і приводять у робоче положення. Вибирають на місцевості чітко видиму точку і наводять центр сітки ниток на цю точку при двох положення ВК. При цьому необхідно зафіксувати положення нулів аліади вертикального круга. В залежності від конструкції теодоліта, нулі фіксуються за допомогою циліндричного рівня при ВК, компенсатора (пристрою для встановлення нулів аліади у відповідне положення). Для деяких конструкцій теодолітів за допомогою циліндричного рівня при горизонтальному крузі.

Маючи два відліки з ВК, а саме КЛ і КП, в залежності від конструкції теодоліта і оцифрування вертикального круга, обчислюють значення МО. Для теодоліта 2Т30П:

$$МО = (КЛ + КП) / 2. \quad (2.7)$$

При незначних значеннях МО (до 1' – для теодолітів серії Т30) – він враховується в обчисленнях вертикальних кутів:

$$v = КЛ - МО \quad \text{та/або} \quad v = МО - КП. \quad (2.8)$$

При великих значеннях МО (більше 1' – для теодолітів серії Т30) встановлюють відлік  $\nu$  за допомогою навідного гвинта вертикального круга. Сітка ниток при цьому зійде з точки наведення вверх чи вниз.

Для юстування знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби (рис. 2.6), послабивши горизонтальні виправні гвинти, вертикальними виправними гвинтами сітки ниток наводять її центр на спостережувану точку при відліку  $\nu$ .

Після юстування необхідно знову повторити перевірку МО і колімаційної похибки. Допустимі значення МО вказуються в паспорті теодоліту. При визначенні МО для теодолітів з рівнем при вертикальному крузі його бульбашку виводять на середину перед зняттям відліку.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 2.2

1. Що таке перевірка теодоліту та в чому полягає суть його юстування?
2. Які операції включає перевірка теодоліту серії Т30 для виявлення та виправлення похибок через порушення геометричної схеми теодоліта?
3. В якій послідовності виконуються перевірки теодоліту серії Т30?
4. За результатами виконання якої перевірки теодоліту серії Т30 для його юстування (з метою виправлення похибки на місці) не потрібно знімати ковпачок в окулярній частині зорової труби?
5. За результатами виконання якої перевірки теодоліта серії Т30 визначають несправність, яку можна виправити лише в спеціалізованих майстернях?

## **2.3 Перевірка і юстування нівеліра**

Перед нівелюванням необхідно провести зовнішній огляд нівеліра, перевірити плавність обертання приладу, відсутність помітних коливань окулярного коліна зорової труби, справність рівнів, виправних та закріпних гвинтів, відсутність окислення на металевих частинах нівеліра, міцність штатива, а також стан упаковки і комплектацію запасних частин і приладдя. Після цього в обов'язковому порядку виконують перевірки нівеліра в послідовності, яка представлена нижче.

Крім того, нівелір повинен обертатись навколо вертикальної осі вільно і плавно. Якщо умова не виконується, то верхню частину приладу звільняють і знімають. Після цього чистять вісь і втулку та змазують вісь. Верхню частину приладу повертають і закріплюють.

### **2.3.1 Перевірки та юстування нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубі (на прикладі нівеліра Н-3)**

Перевірка 1. Вісь круглого (сферичного) рівня  $KK_1$  повинна бути паралельною осі обертання нівеліра  $ZZ_1$  (рис. 2.10 та 2.11).

За допомогою трьох піднімальних гвинтів нівеліру (спочатку А та В, а потім – С) бульбашку круглого рівня приводять в нуль-пункт (рис. 2.12, положення 1). Повертають нівелір на  $180^\circ$  (рис. 2.12, положення 2). Якщо бульбашка залишилась на середині (рис. 2.13, а), то перевірка виконана, а якщо виходить з середини круга (рис. 2.13, б), то виконують виправлення.

Для виправлення бульбашку повертають до нуля-пункту на половину дуги відхилення виправними гвинтами круглого рівня за допомогою шпильки (рис. 2.14), а решту – піднімальними гвинтами.

Після виправлення дану перевірку нівеліра повторюють знову.

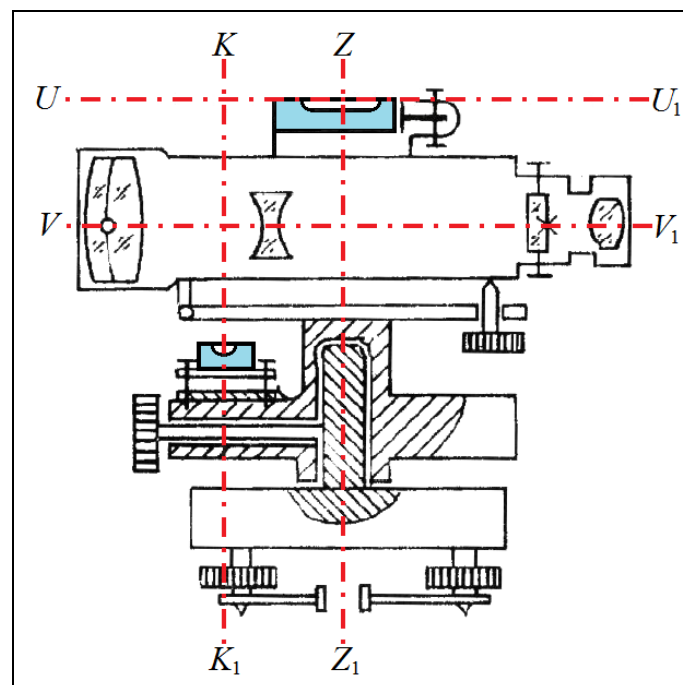


Рисунок 2.10 – Схема основних осей нівеліра Н-3:

$VV_1$  – візирна (основна) вісь труби;  $ZZ_1$  – вертикальна вісь обертання нівеліра;  $UU_1$  – вісь циліндричного рівня;  $KK_1$  – вісь круглого рівня

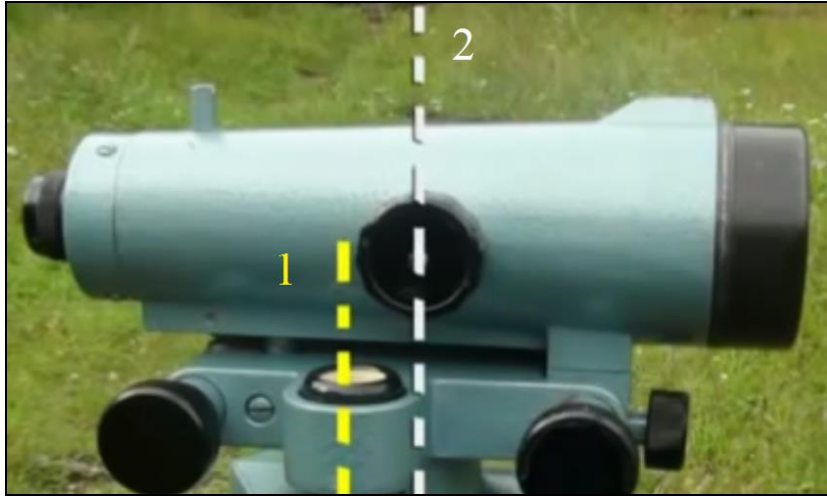


Рисунок 2.11 – Перевірка паралельності осі круглого (сферичного) рівня до осі обертання нівеліра: 1 – вісь круглого рівня; 2 – вісь обертання нівеліра

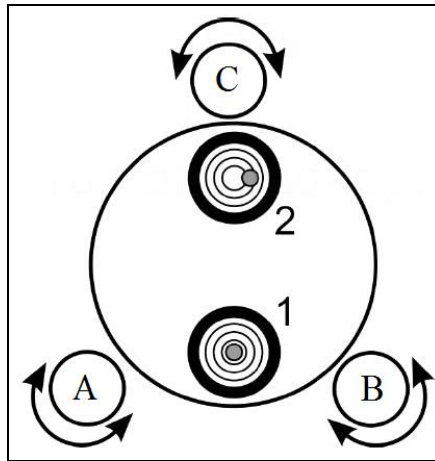


Рисунок 2.12 – Перевірка круглого рівня нівеліра



Рисунок 2.13 – Результати перевірки круглого рівня нівеліра:  
а – умова виконана; б – умова не виконана



Рисунок 2.14 – Виправлення (юстування) круглого рівня за допомогою шпильки

Перевірка 2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток.

Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання нівеліра  $ZZ_1$  (або вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра).

Встановлюють нівелір в робоче положення. На віддалі 20-30 м від приладу підвішують висок і наводять на нитку виска вертикальну нитку сітки, яка повинна збігатися з ним, тоді умова виконується (рис. 2.15, а). Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска (рис. 2.15, б), то виконують виправлення.

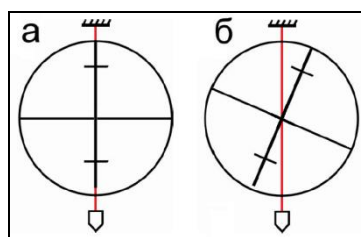


Рисунок 2.15 – Перевірка правильності встановлення сітки ниток:  
а – умова виконана; б – умова не виконана

Юстування рекомендується виконувати в приміщенні. Для цього знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби (рис. 2.16, а, б) і відпускають три закріпні гвинти (рис. 2.16, в, г), за допомогою яких кріпиться окуляр до труби.

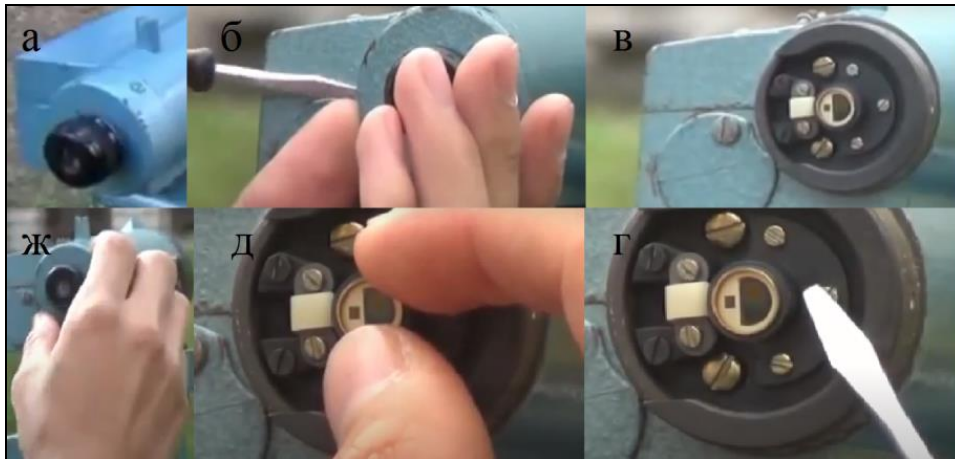


Рисунок 2.16 – Виправлення сітки ниток: а, б, в, г, д, ж – етапи юстування

Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпадала з лінією виска (рис. 2.16, д). Не закріплюючи гвинтів перевіряють положення сітки ниток (рис. 2.16, ж). При збіганні ниток закріплюють гвинти та ковпачок в окулярній частині зорової труби. Після виправлення перевірку повторюють.

Перевірка 3. Перевірка головної умови нівеліра.

Вісь циліндричного рівня  $UU_1$  повинна бути паралельною візирній осі зорової труби  $VV_1$ . Для перевірки цієї умови використовують два способи (прийоми), які викладені нижче за текстом. В обох способах з використанням приладів для лінійних вимірювань на відстані 50-75 м в точках А і В (рис. 2.17 та 2.18) забивають кілочки з цвяхами, що мають капелюхи з сферичною поверхнею (або іншим способом фіксують точки).

Спосіб 1. Згідно з паспортом нівеліра перевірку виконують подвійним нівелюванням точок А і В способом «вперед». Спочатку нівелір встановлюють у робоче положення в точці А (рис. 2.17, а) так, щоб окуляр зорової труби був в притул до рейки. Вимірюють висоту нівеліра  $i_A$ . Потім беруть відлік  $b$  з чорного боку рейки, встановленої в точці В.

Міняють місцями нівелір і рейку (рис. 2.17, б). Після встановлення нівеліра у робоче положення в точці В спочатку, не змінюючи фокус зорової труби, беруть відлік  $a$  з чорного боку рейки, встановленої в точці А, а далі вимірюють висоту нівеліра  $i_B$ .

Якщо візирна вісь зорової труби і вісь циліндричного рівня не паралельні та складають між собою в проекції на прямокутну площину деякий кут  $i$  (рис. 2.17), то відліки  $a$  і  $b$  будуть помилковими на якусь величину  $x$ .

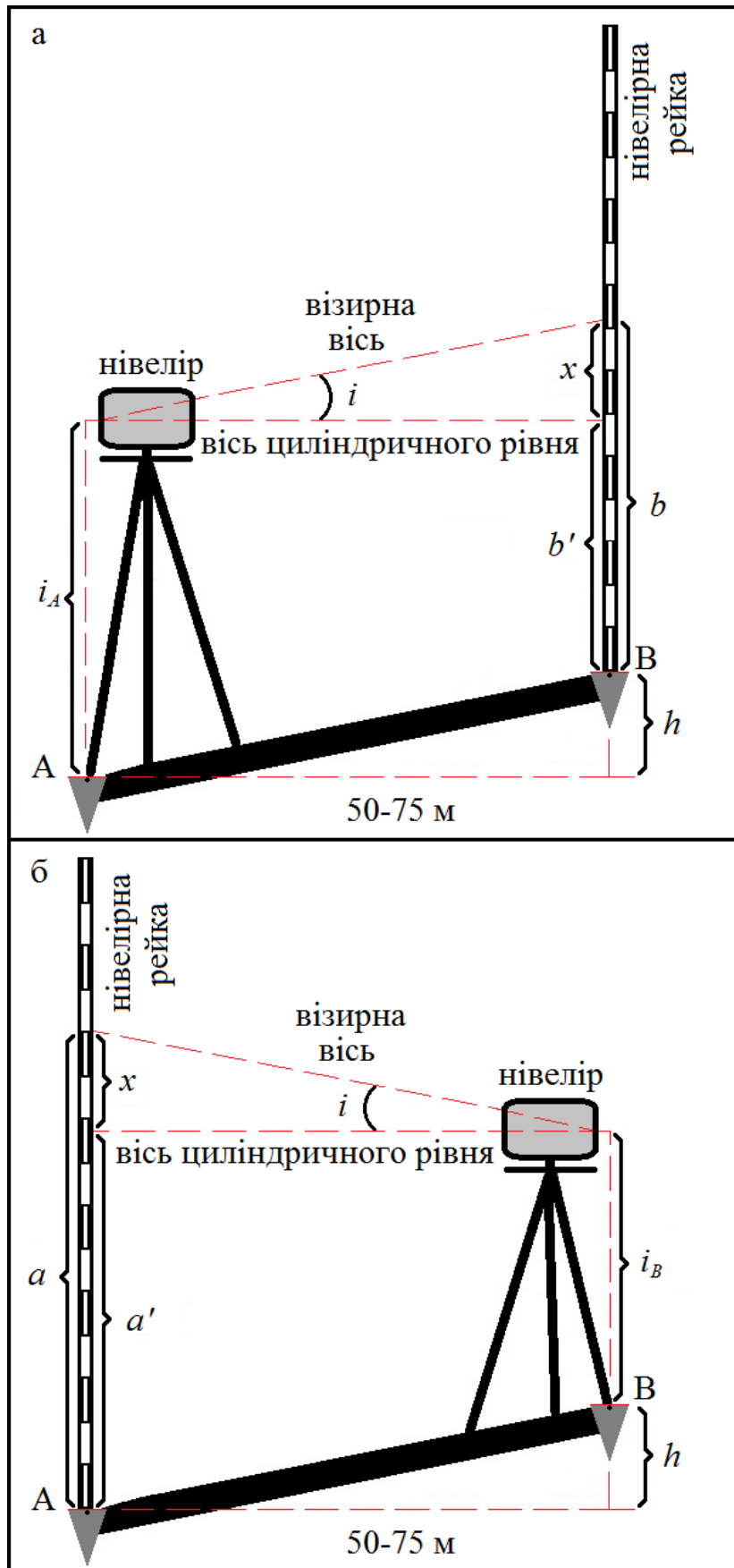


Рисунок 2.17 – Схема перевірки головної умови нівеліра першим способом



З рис. 2.17 видно, що безпомилкові (справжні) відкідки з рейок, відповідно будуть дорівнювати:

$$a' = a - x \quad \text{та} \quad b' = b - x. \quad (2.9)$$

Отже, перевищення  $h$  точки В над точкою А, отримане двічі з урахуванням фактичних відліків, буде дорівнювати:

$$h = i_A - b' = i_A - (b - x) \quad \text{— на станції А,} \quad (2.10)$$

$$h = a' - i_B = (a - x) - i_B \quad \text{— на станції В.}$$

У зв'язку з тим, що на обох станціях визначалось одне і теж саме перевищення  $h$ , то маємо:

$$i_A - (b - x) = (a - x) - i_B, \quad (2.11)$$

звідки похибка  $x$  відліку по рейці через недотримання головної умови нівеліра буде дорівнювати:

$$x = 0,5 \cdot [(a + b) - (i_A + i_B)]. \quad (2.12)$$

Величини  $a, b, i_A, i_B$  вимірюють в міліметрах. Похибка  $x$  може бути як зі знаком «+», так і зі знаком «-».

Кут  $i$  (рис. 2.17) обчислюється за формулою:

$$i = \rho'' \cdot x / 2d, \quad (2.13)$$

де  $d$  – горизонтальне прокладення між точками А і В, мм;

$\rho''$  – перевідний коефіцієнт ( $\rho'' = 206265''$  – радіан).

Якщо величина кута  $i$  перевищує  $15''$  у точних і  $45''$  у технічних нівелірів, то виправляють непаралельність осей. Наприклад, для нівеліра Н-3 величина  $x$  не повинна перевищувати 4 мм, а величина кута  $i$  має бути не більше  $10''$ . У випадку перевищення цих величин похибку виправляють. Для цього в точці В за допомогою елеваційного гвинта наводять середню нитку нівеліра на правильний відлік по рейці в точці А, що дорівнює:

$$a' = a \pm x. \quad (2.14)$$



При цьому зображення кінців циліндричного рівня розійдуться. Виправними гвинтами рівня сполучають зображення кінців пухирця рівня. Після цього перевірку повторюють.

Перевірку нівеліру виконують до тих пір доки  $x$  не буде менше 4 мм, а величина кута  $i$  – менше  $10''$ .

Спосіб 2. Перевірка виконується подвійним нівелюванням двох точок на відстані одна від одної приблизно 50-75 м (рис. 2.18).

Нівелір встановлюють посередині між точкам А і В, приводять у робоче положення та знімають відліки з чорних боків рейок, встановлених на цих точках –  $a_{1\text{чорн}}$  і  $b_{1\text{чорн}}$  за середнім штрихом сітки ниток (рис. 2.18, а).

Після цього рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки за червоними боками рейок –  $a_{1\text{черв}}$  і  $b_{1\text{черв}}$ .

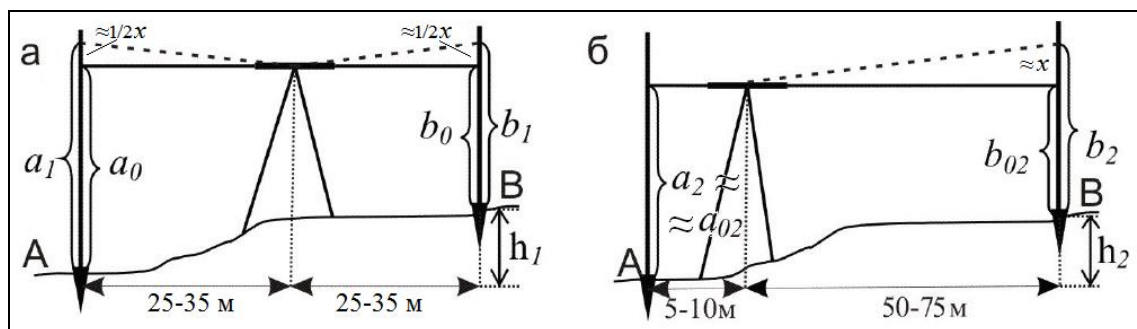


Рисунок 2.18 – Схема перевірки головної умови нівеліра другим способом:  
а – нівелювання при рівності плеч; б – нівелювання при нерівності плеч

За відліками обчислюють перевищення за чорним та червоним боками: від відліку за задньою рейкою (на точці А) віднімають відлік за передньою рейкою (на точці В), тобто:

$$h_{1\text{чорн}} = a_{1\text{чорн}} - b_{1\text{чорн}} \quad \text{та} \quad h_{1\text{черв}} = a_{1\text{черв}} - b_{1\text{черв}}. \quad (2.15)$$

За остаточне значення перевищення  $h_1$  беруть середнє:

$$h_1 = (h_{1\text{чорн}} + h_{1\text{черв}})/2. \quad (2.16)$$

Після цього нівелір переносять ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно 5-10 м (рис. 2.18, б). Приводять прилад у робоче положення та знімають відліки на задній і передній рейках за чорним ( $a_{2\text{чорн}}$  і  $b_{2\text{чорн}}$ ) та червоним ( $a_{2\text{черв}}$  і  $b_{2\text{черв}}$ ) боками.

Після чого обчислюють перевищення за чорним та червоним боками:

$$h_{2\text{чорн}} = a_{2\text{чорн}} - b_{2\text{чорн}} \quad \text{та} \quad h_{2\text{черв}} = a_{2\text{черв}} - b_{2\text{черв}}. \quad (2.17)$$

За остаточне значення перевищення  $h_2$  беруть середнє:

$$h_2 = (h_{2\text{чорн}} + h_{2\text{черв}})/2. \quad (2.18)$$

Перевищення  $h_1$ , визначене нівелюванням з середини при рівності плеч, є правильним (рис. 2.18, а):

$$h_1 = a_1 - b_1 = (a_0 + 1/2x) - (b_0 + 1/2x) = a_0 - b_0. \quad (2.19)$$

Різницю перевищень (похибку)  $x$  обчислюють за формулою:

$$x = h_1 - h_2. \quad (2.20)$$

Якщо  $|x| \leq 4$  мм, то умова перевірки виконана, якщо  $|x| > 4$  мм, то виконують виправлення (юстування).

Безпомилковий відлік  $b_{02\text{чорн}}$  обчислюють за формулою:

$$b_{02\text{чорн}} = a_{2\text{чорн}} - h_1 \quad \text{або} \quad b_{02\text{чорн}} = b_{2\text{чорн}} - x. \quad (2.21)$$

Далі за допомогою елеваційного гвинта нівеліра середню нитку сітки встановлюють на безпомилковий відлік  $b_{02\text{чорн}}$ . У цьому випадку бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Повертають виправні гвинти циліндричного рівня так, щоб бульбашка знову стала в нуля-пункт. Після виправлення перевірку повторюють.

Виконання цієї перевірки оформлюють у вигляді таблиці (табл. 2.1):

Згідно з даними табл. 2.1 умова перевірки  $|x| \leq 4$  мм не виконується:

$$x = h_1 - h_2 = 363 - 347 = 16 \text{ мм} > 4 \text{ мм} - \text{не виконується.}$$

Тому обчислюємо безпомилковий відлік:

$$b_{02\text{чорн}} = a_{2\text{чорн}} - h_1 = 1128 - 363 = 0765.$$

Здійснюємо контроль обчислення безпомилкового відліку:

$$b_{02\text{чорн}} = b_{2\text{чорн}} - x = 0781 - 16 = 0765.$$

Обертаючи елеваційний гвинт нівеліра встановлюємо середню нитку сітки на безпомилковий відлік 0765. Виправними гвинтами циліндричного рівня нівеліра виводимо бульбашку в нуля-пункт і повторюємо перевірку.

Таблиця 2.1 – Перевірка головної умови нівеліра Н-3, зав. № 153545

Бік рейки	Відліки		Перевищення, $h$ , мм	Середнє перевищення, $h_{сер}$ , мм
	Задня рейка	Передня рейка		
Нівелювання при рівності плеч (нівелювання «з середини»)				
Чорний	1434 (1)	1072 (2)	+362 (5)	+363 (7)
Червоний	6218 (4)	5854 (3)	+364 (6)	
П'ятка	4784 (8)	4782 (9)	–	–
Нівелювання при нерівності плеч (нівелювання «вперед»)				
Чорний	1128 (10)	0781 (11)	+347 (14)	+347 (16)
Червоний	5909 (13)	5562 (12)	+347 (15)	
П'ятка	4781 (17)	4781 (18)	–	–

Примітка: (1)-(18) – порядкові номери внесення даних до таблиці.

### ***2.3.2 Перевірки та юстування нівелірів з компенсатором (на прикладі нівеліра Н-10КЛ)***

Перевірки нівелірів з компенсатором відрізняються від перевірок нівелірів з циліндричним рівнем тільки тим, що замість перевірок, пов'язаних з використанням циліндричного рівня і елеваційного гвинта, включені перевірки, що зв'язані з використанням компенсатора. Далі на прикладі технічного нівеліра з компенсатором Н-10КЛ надано пояснення, як здійснюється виконання його перевірок і юстування.

Перевірка 1. Вісь круглого (сферичного) рівня  $KK_1$  повинна бути паралельною осі обертання нівеліра  $ZZ_1$  (рис. 2.19).

Перевірку та юстування виконують так само, як і для нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубці (наприклад, як для нівеліра Н-3).

Перевірка 2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток.

Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання нівеліра  $ZZ_1$  (або вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра).

Перевірку та юстування виконують так само, як і для нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубці (наприклад, як для нівеліра Н-3).

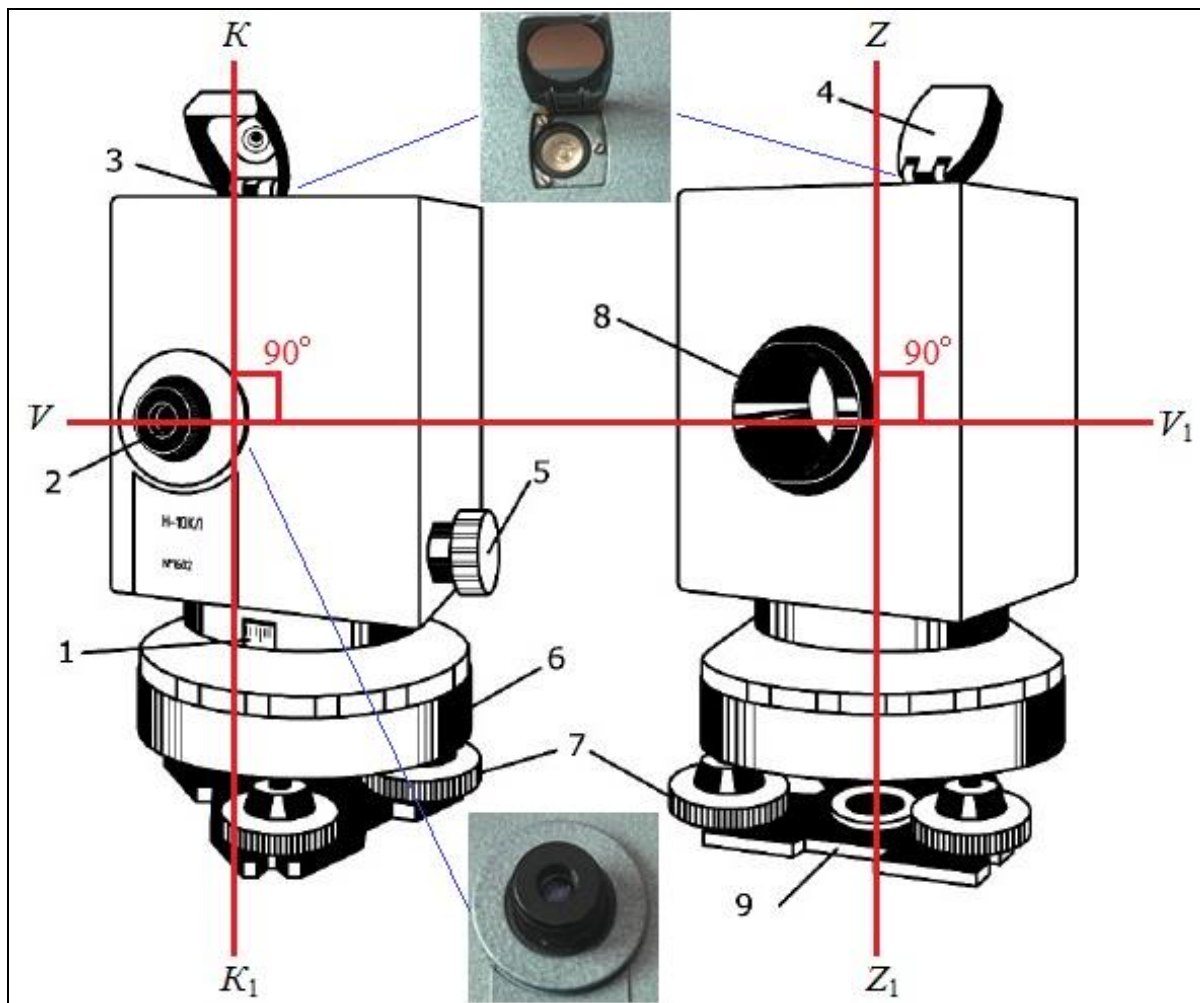


Рисунок 2.19 – Зображення нівеліра Н-10КЛ та його основних осей:  
 1 – лімб; 2 – окуляр; 3 – круглий (сферичний) рівень; 4 – кришка-дзеркало;  
 5 – гвинт механізму перефокусування; 6 – підставка; 7 – підйомні гвинти;  
 8 – об’єктив; 9 – пружиниста пластина;  $VV_1$  – візирна вісь зорової труби  
 (вісь візування);  $ZZ_1$  – вертикальна вісь обертання нівеліра;  $KK_1$  – вісь  
 круглого (сферичного) рівня

Перевірка 3. Перевірка головної умови нівеліра.

Лінія візування (візирна вісь зорової труби)  $VV_1$  повинна бути горизонтальною (або перпендикулярною до вертикальної осі обертання нівеліра  $ZZ_1$ ).

Перевірку виконують так само, як і для нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубі (наприклад, як для нівеліра Н-3).

Однак юстування для нівелірів з компенсатором (наприклад, Н-3К, Н-10КЛ й інших) під час цієї перевірки дещо відрізняється від юстування нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубі (наприклад, Н-3).

На відміну від нівелірів з циліндричним рівнем при зоровій трубці в нівелірах з компенсатором виправляють не положення осі циліндричного рівня (його тут немає), а положення візирної осі зорової труби (рис. 2.19). Для юстування, після визначення правильного відліку по рейці, в нівелірі з компенсатором відкручують ковпачок в окулярній частині, послаблюють закріпні гвинти діафрагми з сіткою ниток і суміщають середнє перехрестя ниток сітки ниток з правильним відліком. Після юстування перевірку повторюють, слідкуючи за положенням бульбашки круглого рівня.

Перевірка 4. Перевірка міри компенсації кутів нахилу осі нівеліра.

Лінія візування (візирна вісь зорової труби)  $VV_1$  повинна бути горизонтальною (або перпендикулярною до вертикальної осі обертання нівеліра  $ZZ_1$ ) при нахилах осі нівеліра в межах розрахованого кута компенсації. Перевірку виконують таким чином:

- установлюють нівелір точно посередині між двома рейками, віддаленими одна від іншої на віддалі порядку 60-100 м (рис. 2.20, *I*), так, щоб один підйомний гвинт був розташований в плані на лінії візування, а два інші – на лінії, перпендикулярній лінії візування (рис. 2.20, *II*);

- приводять бульбашку круглого рівня в нуль-пункт (положення 1, рис. 2.21) і беруть відліки по рейках  $a_i$  та  $b_i$ ;

- потім підйомними гвинтами нахиляють підставку нівеліра так, щоб бульбашка круглого рівня торкалася зовнішнім краєм першого концентричного кільця ампули в поздовжньому (положення 2 і 3, рис. 2.21) і поперечному (положення 4 і 5, рис. 2.21) напрямках, беручи при кожному нахилу відліки по рейках, міняючи висоту інструмента між прийомами;

- за отриманими відліками обчислюють перевищення  $h_1, h_2, h_3, h_4$  і  $h_5$  відповідно для положень 1, 2, 3, 4 і 5 бульбашки круглого рівня;

- якщо перевищення  $h_2, h_3, h_4$  і  $h_5$  відрізняються від перевищення  $h_1$  більш ніж на 5 мм для нівелірів типу Н-3К, 2Н-3КЛ і більш ніж на 7 мм для технічних нівелірів типу Н-10К, Н-10КЛ, 2Н-10КЛ, то юстування виконується в спеціальній майстерні.

Крім того, обчислюють середнє значення перевищення  $h_c$ , одержане при положеннях бульбашки рівня 2-5 (рис. 2.21):

$$h_c = 0,25 \cdot (h_2 + h_3 + h_4 + h_5). \quad (2.22)$$

Далі знаходять різницю між середнім значенням перевищення  $h_c$  і перевищенням  $h_1$ , в мм, одержаним при положенні 1 (рис. 2.21):

$$f = h_c - h_1. \quad (2.23)$$

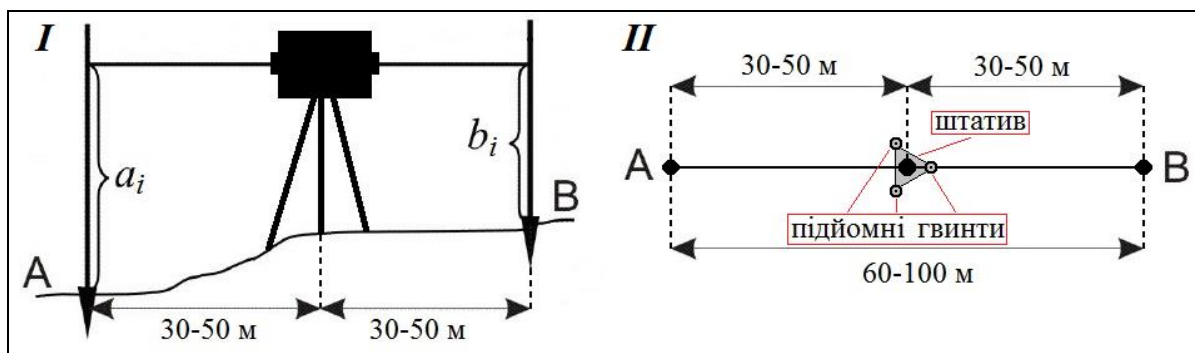


Рисунок 2.20 – Схема перевірки міри компенсації кутів нахилу осі нівеліра з компенсатором (I) та положення штатива і підйомних гвинтів нівеліра (II) в створі лінії А-В

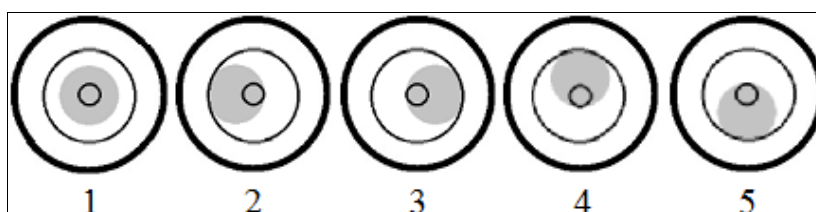


Рисунок 2.21 – Положення (1-5) бульбашки круглого (сферичного) рівня нівеліра з компенсатором під час перевірки компенсатора

Для виконання нівелювання III класу допускається різниця  $f$  до 3 мм, а для виконання нівелювання IV класу – до 5 мм.

Якщо дана умова не виконується, то юстування нівеліра виконують в спеціальній оптичній майстерні.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 2.3

1. Що таке перевірка нівеліру та в чому полягає суть його юстування?
2. Які операції включає перевірка нівелірів з циліндричним рівнем і з компенсатором для виявлення та виправлення похибок через порушення геометричної схеми нівеліра?
3. Що виконується під час візуального огляду зовнішнього стану і комплектності нівеліра та перевірки взаємодії всіх його вузлів і футляра?
4. При виконанні якої операції (перевірки) перевіряється головна умова нівеліра?
5. За результатами виконання якої перевірки нівелірів з циліндричним рівнем визначають несправність, яку рекомендується виправляти в майстерні (приміщені), а не на відкритій місцевості?

## 2.4 Перевірки і дослідження нівелірних рейок

Для нівелювання III і IV класів застосовують шапкові нівелірні рейки (рис. 2.22). Їх роблять з сухих дерев'яних брусків (1) довжиною 3 м, шириною 10 см і товщиною 2 см. Щоб рейки не деформувались, до їх бокових ребер прикручують бортики (2). Основа рейки має металеву окову, яка називається п'яткою (6). Рейки мають дві ручки (3) і круглий рівень (5). Для їх перевірки на рейках установлені кронштейни і цілики (4).

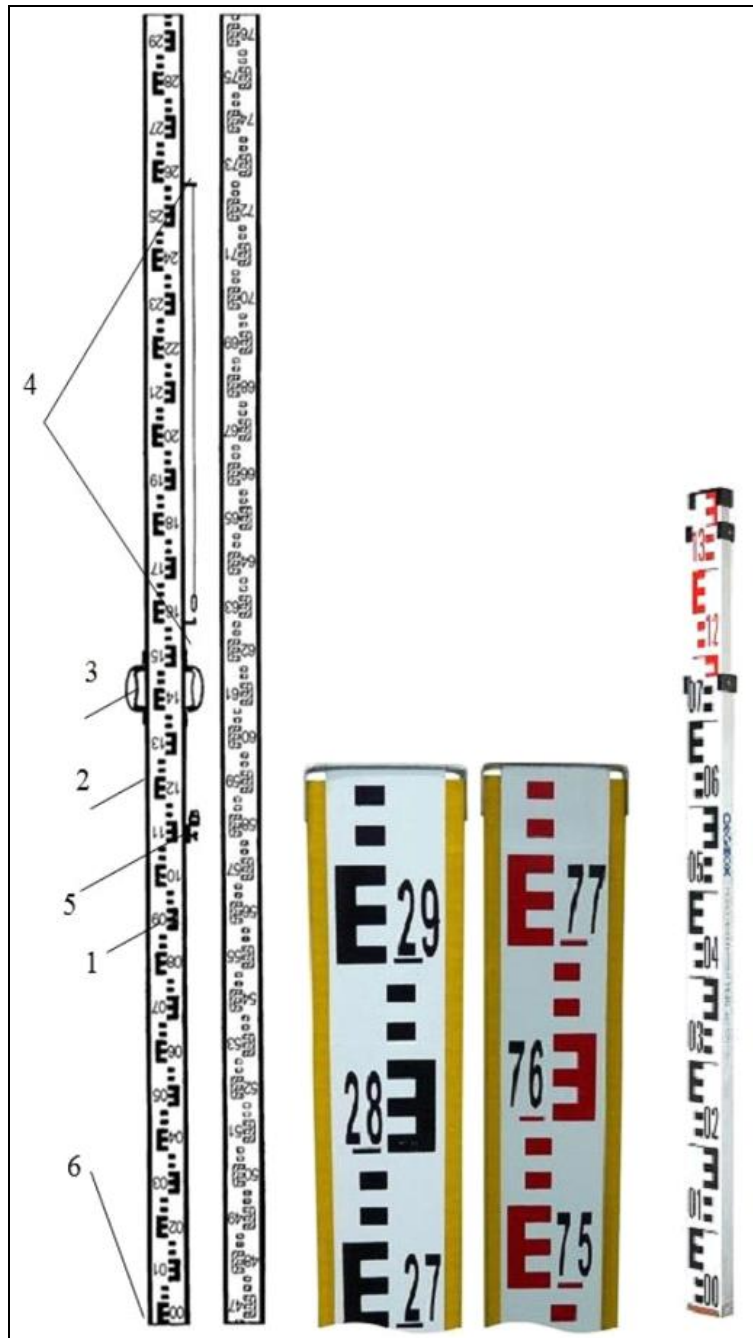


Рисунок 2.22 – Нівелірна рейка (пояснення до позначень 1-6 вище за текстом)



Сторони рейок поділені сантиметровими поділками. На лицевій стороні дециметрові поділки підписують від 0 до 29. Лицева сторона має підписи і колір поділок чорний, а зворотня сторона – червоний.

П'ятки на чорних сторонах рейок збігаються з початком відліку, тобто з нулем. Початок червоної сторони однієї рейки позначають довільним числом, наприклад: 4687, а початок червоної сторони другої рейки позначають іншим числом, яке відрізняється від першого на 100 мм, наприклад 4787.

В комплект входить дві рейки, в яких на червоних сторонах нулі не збігаються на  $\pm 100$  мм. Написи дециметрових інтервалів робляться арабськими цифрами.

Залежно від типу нівелірів, з якими буде використаний даний комплект рейок, оцифровка є пряма і обернена.

Пряма оцифровка застосовується тоді, коли зорова труба нівеліра дає пряме зображення (NiB3-6, №007, Ni025 і Ni050 та інші).

Обернена оцифровка застосовується, як правило, при роботі з нівелірами з циліндричним рівнем (Н-3, Н-10 та інші).

Рейки бувають суцільні, складні та розкладні. Їх поділяють за точністю нівелювання. Наприклад, шифр РН-10П-3000С означає, що ця рейка нівелірна зі шкалою поділу 10 мм, підпис цифр «прямо», довжина 3000 мм, складна.

Під час нівелювання рейки встановлюють на переносні опори для нівелірних рейок – башмаки або костилі (рис. 2.23).



Рисунок 2.23 – Переносні опори для нівелірних рейок (башмаки та костиль)



Якщо виконується технічне нівелювання, то замість башмаків і костилів дозволяється використовувати прості залізні костилі або дерев'яні кілки довжиною 15-20 см. На нестійких ґрунтах, особливо в болотистих місцях, рейки і нівелір ставлять на довші кілки, забиваючи їх у ґрунт.

Під впливом зміни вологості повітря і температури довжина одного метра рейки може змінювати свою довжину. Помилки поділок рейок спотворюють вимірювання перевищень. Тому всі рейки перед виконанням і в кінці робіт підлягають перевіркам і дослідженням, які пояснені нижче.

### **1. Перевірка зовнішнього огляду.**

Перевірку здійснюють шляхом огляду, при цьому встановлюють:

- кріплення ручок;
- якість шарнірного з'єднання і металевого кріплення п'ятки рейки;
- відповідність шкал і написів поділів типу рейки;
- яскравість та якість кольору шашок і оцифровки барвистого наповнення штрихів, шашкових поділок і цифр;
- чіткість і прямолінійність границь поділів;
- рівномірність і чистоту лакофарбових покриттів вільних полів, неробочих поверхонь і допоміжних деталей;
- відсутність дефектів, які погіршують зовнішній вигляд рейки і ускладнюють зняття відліків (на робочих поверхнях шкал рейки не повинно бути плям, тріщин, подряпин, напливів, горбів, бульбашок, відшаровування фарби), крім цього поверхня шкали не повинна давати сонячних відблисків, тобто повинна бути матова.

Маркування і комплектність рейок повинна відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов бо паспорта рейки.

### **2. Вісь шкали поділок рейки має бути прямою.**

Для перевірки цієї умови рейку кладуть горизонтально на ребро, між крайніми осьовими точками шкали натягають металеву струну або нитку, відносно якої лінійкою з міліметровими поділками вимірюють три відстані  $a_1$ ,  $a_2$  і  $a_3$  (рис. 2.24).

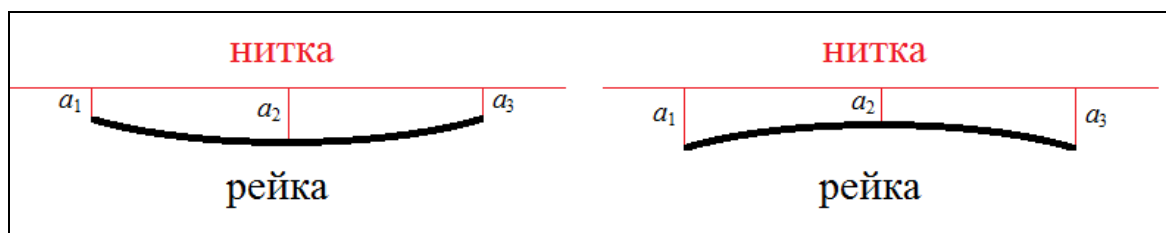


Рисунок 2.24 – Схема визначення стрілки прогину рейки

Стрілку  $f$  прогину обчислюють за формулою:

$$f = a_2 - (a_1 + a_3)/2. \quad (2.24)$$

Для рейок РН-3 величина стрілки  $f$  прогину на всю довжину рейки не повинна перевищувати 6 мм.

### **3. Перевірка установки круглого рівня.**

Вісь круглого рівня на рейці має бути паралельною осям її шкал. При проведенні дослідження повинна бути визначена паралельність осей круглого рівня та рейки (ребра рейки), тобто при знаходженні бульбашки круглого рівня в середині ампули вісь рейки повинна бути вертикальна.

Перевірку правильності установки круглого рівня на рейці можна виконати двома способами:

- 1) за допомогою виска, підвішеного на кронштейні у вигляді гачка і штифта з вістрям, який закріплюється на рейці;
- 2) за допомогою вертикальної нитки нівеліра.

Спосіб 1. Рейку встановлюють прямовисно за допомогою ниткового виска, підвішеного на кронштейні на боковій грані рейки. Якщо бульбашка рівня буде знаходитися в нуль-пункті, то умова виконана, а якщо ні, то виправними гвинтами круглого рівня бульбашку приводять у нуль-пункт.

Спосіб 2. При перевірці цим способом рейку встановлюють в рейкотримач (або притуляють до стіни тощо) на відстані 20-50 м від нівеліра. Приводять вертикальну вісь нівеліра в прямовисне положення, встановлюють рейку так, щоб вісь шкали в полі зору нівеліра точно збігалася з вертикальною ниткою сітки. При цьому бульбашка круглого рівня повинна знаходитися в нуль-пункті (в середині ампули). В іншому випадку виправними гвинтами круглого рівня приводять бульбашку на середину ампули. Після цього повертають рейку на  $90^\circ$  і повторюють перевірку. В цьому випадку домагаються співпадіння ребра рейки з вертикальною ниткою сітки. У разі необхідності перевірка повторюється до повного виконання.

**4. П'ятка рейки має бути перпендикулярною до осей шкал рейки, а різниця висот ідентичних точок п'яток робочої пари рейок повинна дорівнювати нулю.**

Обидві ці умови перевіряють одночасно. Для цього рейки даної пари по черзі встановлюють прямовисно крайніми і середньою точками п'ятки на металевий штир з напівсферичною голівкою, беручи кожний раз відліки по шкалах обох рейок. Таких прийомів виконують не менше 4-х.

За даними відліків обчислюють середні значення перекосів п'яток рейок і різниці висот ідентичних точок п'яток пари рейок, які для рейок РН-3 не повинні перевищувати 1 мм. Різниця відліків по червоній і чорній сторонах однієї і тієї ж рейки дає різницю нулів («п'ятку») даної рейки.

#### **5. Дослідження точності нанесення дециметрових поділок.**

Дане дослідження полягає у визначенні правильності нанесення дециметрових поділок (довжини дециметрових інтервалів) рейок. Помилка нанесення дециметрових інтервалів не повинна перевищувати  $\pm 0,5$  мм для нівелювання III класу та  $\pm 1,0$  мм для нівелювання IV класу. Для дослідження використовують контрольну (Женевську) лінійку (рис. 2.25).

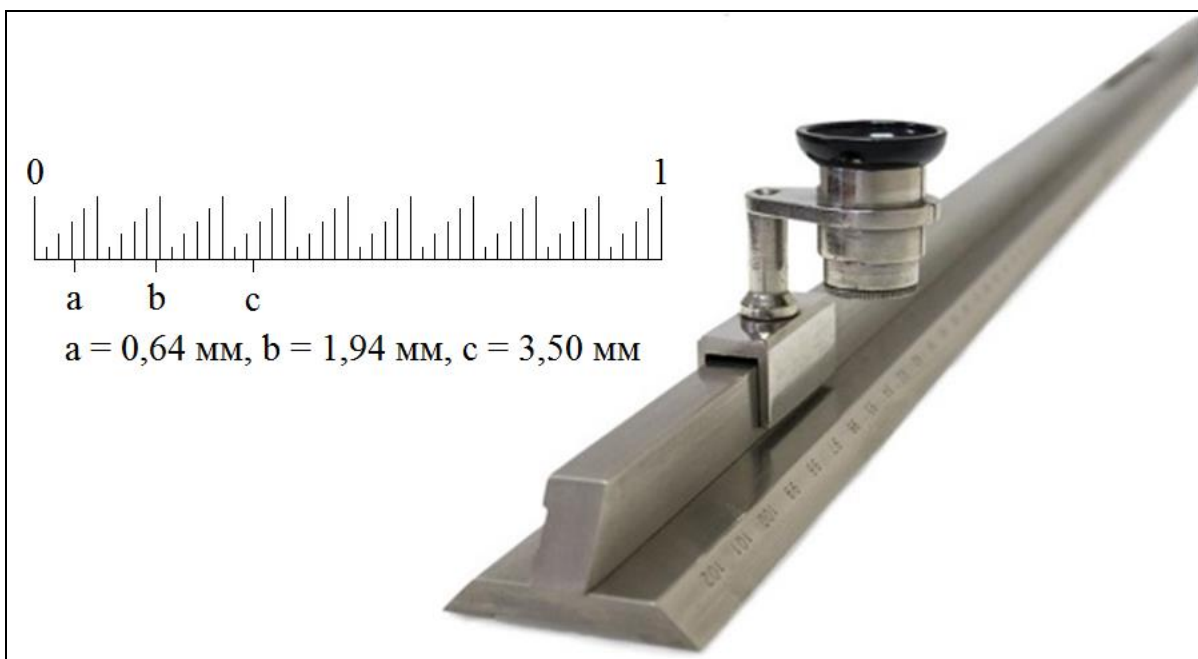


Рисунок 2.25 – Контрольна лінійка (Женевська лінійка) з числовими позначеннями довжини через 1 см та поділками через 0,2 мм

Контрольна (Женевська) лінійка (рис. 2.25) має наступні основні характеристики:

- довжина 1020 або 1050 мм;
- з обох країв є числові позначення довжини (через 1 см);
- на одному скошеному краю є поділки через 1 мм, а на іншому – через 0,2 мм;
- на лінійці є дві лупи для знімання відліків;
- лінійка має термометр для визначення її температури (кожна лінійка має своє рівняння довжини для певної температури).

Для дослідження довжини дециметрових інтервалів нівелірних рейок можуть бути також використані лінійка ЛПМ-1, геодезичний транспортир ТГ-А та циркуль-вимірник (рис. 2.26), які дозволяють визначати довжину з точністю 0,2 мм (точність встановлення голки циркуля-вимірника).

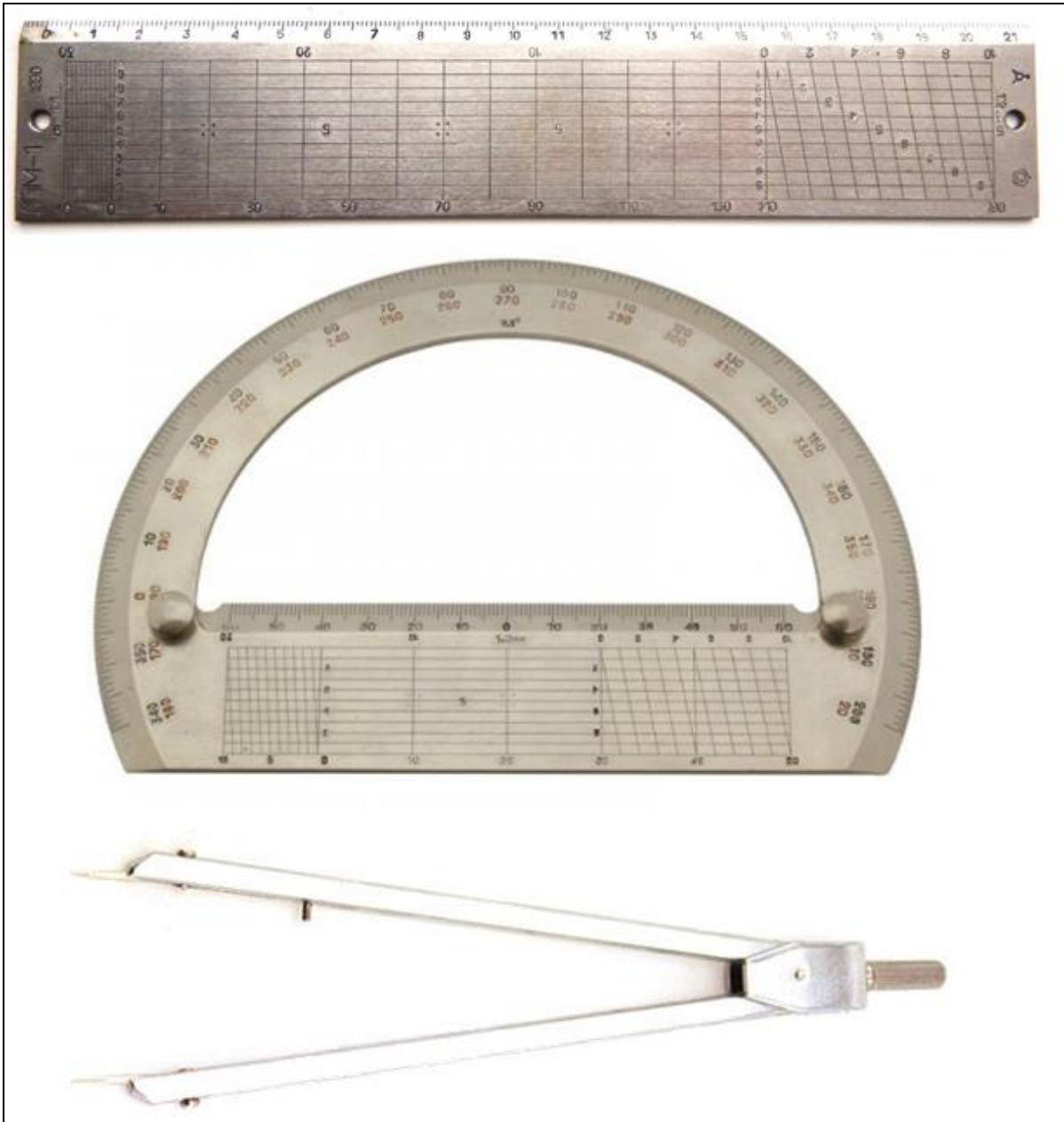


Рисунок 2.26 – Лінійка ЛПМ-1 (зверху), геодезичний транспортир ТГ-А (посередині) та циркуль-вимірник (знизу)

Досліджувану рейку вносять в приміщення або в тінь за дві години до дослідження і кладуть її горизонтально без прогину, а на неї кладуть контрольну лінійку і виконують дослідження, які пояснені нижче.

Дослідження виконують по інтервалах рейок (табл. 2.2): на чорних сторонах між поділками 1-10, 10-20, 20-29 дм; на червоній стороні першої рейки – 47-56, 56-66, 66-75 дм і другої рейки – 48-57, 57-67, 67-76 дм.

Для визначення точності нанесення дециметрових поділок рейки контрольну лінійку кладуть спочатку на перший метр рейки і беруть відліки по кінцях всіх 10 дециметрах. Потім контрольну лінійку трохи зсувають і другий раз беруть відліки по кінцях всіх 10 дециметрах.

Під час дослідження довжини інтервалу від п'ятки до першого дециметра рейки для уточнення відліку штриха, який сумістився з п'яткою рейки, до п'ятки прикладають лезо безпечної бритви.

Різниці відліків свідчать про величину зсуву нормальної лінійки і ці різниці для дециметрових поділок повинні бути однаковими незалежно від точності нанесення дециметрових поділок на рейці. Зміни значення цих різниць, через особисті помилки спостерігача, в межах кожного метра рейки допускаються не більш ніж 0,10 мм. Перед початком і в кінці дослідження визначають температуру контрольної лінійки.

Випадкові похибки дециметрових інтервалів рейок не повинні перевищувати: для III класу – 0,4 мм, для IV класу – 0,6 мм.

#### ***6. Визначення середньої довжини одного метра пари рейок.***

Дослідження виконують за інтервалами рейок (табл. 2.3): на чорних сторонах між поділками 1-10, 10-20, 20-29 дм; на червоній стороні першої рейки – 47-56, 56-66, 66-75 дм; другої рейки – 48-57, 57-67, 67-76 дм (в прямому і зворотному напрямках, обертаючи лінійку повертають на 180°. Перед кожним ходом записують температуру за термометром лінійки. Кожний інтервал вимірюють двічі, для цього лінійку після відліку через лупу трохи зсувають і знову беруть відліки. Різниці однойменних метрових інтервалів, одержаних при першому і другому положеннях лінійки, не повинні перевищувати  $\pm 0,10$  мм.

Вимірювання виконують з точністю до 0,02 мм. У виміряні довжини вводять поправки за приведення контрольної лінійки до температури компарування рейки і поправку за довжину лінійки. Ці поправки враховуються рівнянням контрольної лінійки, яке одержують під час компарування контрольної лінійки в геодезичній лабораторії.

Після визначення довжини метра пари рейок, в одержані за секціями перевищення вводять поправки за довжину метра пари рейок.

Відхилення метрових інтервалів рейок від номінального значення не повинно перевищувати: для III класу – 0,5 мм, для IV класу – 1,0 мм.

Таблиця 2.2 – Перевірка правильності нанесення дециметрових поділок дерев'яної рейки

Дата: 15.02.2022 р. Рейка нівелірна: № 3678 (чорна сторона).

Контрольна лінійка: № 0721,  $L = 1000 + 0,01 + 0,018 (t - 16,8^{\circ}\text{C})$ , мм.

$t_{\text{ноч}} = +8,7^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{кин}} = +9,5^{\circ}\text{C}$

Номер дециметра	Відліки по контрольній лінійці, мм		Різниця II-I, мм	Середнє з відліків, мм	Похибка дециметрової поділки, мм	Випадкова похибка дециметрової поділки, мм
	Положення					
	I	II				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1	0,00	,28	0,28	0,14		
2	100,12	,45	33	100,28	+0,14	+0,12
3	200,03	,28	25	200,16	-0,12	-0,14
4	300,15	,50	35	300,32	+0,16	+0,14
5	400,08	,33	25	400,20	-0,12	-0,14
6	500,20	,50	30	500,35	+0,15	+0,13
7	600,22	,50	28	600,36	+0,01	-0,01
8	700,10	,44	34	700,27	-0,09	-0,11
9	800,14	,46	32	800,30	+0,03	+0,01
10	900,35	,65	30	900,50	+0,20	+0,18
<b>10</b>	<b>0,00</b>	<b>,40</b>	<b>40</b>	<b>0,20</b>		
11	100,05	,50	45	100,28	+0,08	+0,06
12	200,08	,46	38	200,27	-0,01	-0,03
13	300,03	,38	35	300,20	-0,07	-0,09
14	400,12	,52	40	400,32	+0,12	+0,10
15	500,14	,58	44	500,36	+0,04	+0,02
16	600,20	,56	36	600,38	+0,02	0,00
17	700,15	,56	41	700,36	-0,02	-0,04
18	800,18	,55	37	800,36	0,00	-0,02
19	900,17	,62	45	900,40	+0,04	+0,02
20	1000,16	,55	39	1000,36	-0,04	-0,06
<b>20</b>	<b>0,00</b>	<b>,16</b>	<b>16</b>	<b>0,08</b>		
21	100,16	,36	20	100,26	+0,18	+0,16
22	200,26	,40	14	200,33	+0,07	+0,05
23	300,14	,26	12	300,20	-0,13	-0,15
24	400,00	,20	20	400,10	-0,10	-0,12
25	500,04	,22	18	500,13	+0,03	+0,01
26	600,06	,26	20	600,16	+0,03	+0,01
27	700,10	,20	10	700,15	-0,01	-0,03
28	800,24	,40	16	800,32	+0,17	+0,15
29	900,18	,34	16	900,26	-0,06	-0,08
			$\Sigma =$		<b>+0,70</b>	<b>+0,14</b>

Систематична похибка дециметрових поділок дорівнює:  $i = 0,70/28 = 0,025$  мм.  
Найбільші похибки дециметрових поділок: +0,18 та -0,15 мм.

Таблиця 2.3 – Визначення середньої довжини метрового інтервалу дерев'яної рейки (у таблиці (1)-(10) – це порядкові номери внесення даних)

Дата: 15.02.2022 р. Рейка нівелірна: № 3678 (чорна сторона).

Контрольна лінійка: № 0721,  $L = 1000 + 0,01 + 0,018 (t - 16,8^{\circ}\text{C})$ , мм.

Частина рейки	Відлік по лінійці, мм			Середнє Л-П, мм	Поправка за довжину лінійки та температуру, мм	Довжина частини рейки, мм
	Л	П	П-Л			
1	2	3	4	5	6	7
$t_{\text{ноч}} = +8,6^{\circ}\text{C}(1)$						
1-10	0,00(2)	900,14(3)	900,14(6)			
	0,44(4)	900,54(7)	900,10(7)	900,12(8)	-0,11(9)	900,01(10)
10-20	0,10	1000,24	1000,14			
	0,36	1000,55	1000,19	1000,16	-0,12	1000,04
20-29	0,08	900,06	899,98			
	0,30	900,24	899,94	899,96	-0,11	899,85
$t = +8,7^{\circ}\text{C}$						
29-20	0,14	900,10	899,96			
	0,28	900,18	899,90	999,93	-0,11	899,82
20-10	0,00	1000,10	1000,10			
	0,50	1000,64	1000,14	1000,12	-0,12	1000,00
10-1	0,12	900,22	900,10			
	1,36	901,48	900,12	900,11	-0,11	900,00
$t_{\text{кін}} = +8,6^{\circ}\text{C}$						
$\Sigma$	3,68	11204,49	11200,81	5600,40	-0,68	5599,72

Середня довжина метрового інтервалу рейки нівелірної № 3678 по чорній стороні дорівнює:  $5599,72 \text{ мм} / 5,6 \text{ м} = 999,95 \text{ мм}$ .

#### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 2.4

1. Які перевірки передбачені для нівелірних рейок?
2. Що перевіряють при візуальному огляді нівелірних рейок?
3. За якою схемою здійснюється визначення стрілки прогину рейки?
4. В яких таблицях оформлюються результати перевірок довжини дециметрових і метрових інтервалів нівелірних рейок та правильності нанесення дециметрових поділок дерев'яної нівелірної рейки?
5. Які граничні значення не повинні перевищувати випадкові похибки дециметрових інтервалів рейок та відхилення метрових інтервалів рейок від номінального значення, які використовуються для нівелювання III та IV класів.

## *Питання для самоперевірки до теми № 2*

1. Що таке компарування мірних приладів і чим воно спричинено та з якою метою його виконують?
2. Які операції включає перевірка теодоліту серії Т30 для виявлення та виправлення похибок через порушення геометричної схеми теодоліта?
3. Які операції включає перевірка нівелірів з циліндричним рівнем і з компенсатором для виявлення та виправлення похибок через порушення геометричної схеми нівеліра?
4. При виконанні якої операції (перевірки) перевіряється головна умова нівеліра?
5. Які перевірки передбачені для нівелірних рейок?



### 3 ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙ НА МІСЦЕВОСТІ МЕХАНІЧНИМИ МІРНИМИ ПРИЛАДАМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НЕДОСТУПНИХ ВІДДАЛЕЙ

Задача лінійних вимірювань – визначення віддалей між заданими точками на земній поверхні. Віддалі вимірюються безпосередньо або посередньо. *Безпосереднє вимірювання* полягає у послідовному вкладанні мірного приладу у створі вимірюваної лінії. *Посередні методи* полягають у вимірюванні допоміжних величин, а довжину лінії обчислюють за формулою, що відображає залежність між шуканою і вимірними величинами.

#### 3.1 Закріплення, провішування і вимірювання ліній на місцевості та обробка результатів лінійних вимірювань

##### 3.1.1 Закріплення та провішування ліній на місцевості

Кінцеві точки вимірюваних ліній в залежності від їх призначення, умов місцевості і необхідного строку використання мають бути належним чином закріплені.

Тимчасове закріплення виконують кілками довжиною 25-30 см, які забивають майже врівень з землею, а поряд забивають другий кілок – сторожок, на якому пишуть номер точки (рис. 3.1, а). Для закріплення точок на більш тривалий час використовують дерев'яні стовпи (рис. 3.1, б) або залізобетонні моноліти (рис. 3.1, в), які закладають на глибину 0,50 м нижче межі промерзання ґрунту в даній місцевості і обкопують канавами.

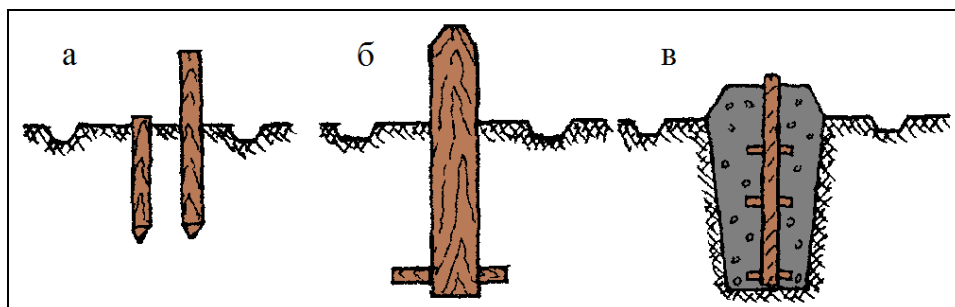


Рисунок 3.1 – Закріплення точок на місцевості:  
а – кілок із сторожком; б – дерев'яний стовп; в – моноліт

На ділянках землі з твердим покриттям, на конструкціях будівель та споруд, у містах на дорожніх покриттях, у скельних ґрунтах закріплення точок ведуть металевими штирями, залізничними костиллями, цвяхами, дюбелями або насічками на металевих пластинах, які позначають фарбою.

Якщо вимірювана лінія набагато довша за довжину мірного приладу, то її необхідно спочатку провішити. Крім того, виконують інші підготовчі операції: вирівнюють ґрунт і прибирають різні перепони, що знаходяться в створі вимірюваної лінії. Лише після підготовки створу і вимірювальних приладів, закріплюють кінцеві точки лінії.

**Провішування лінії** – установа ряду віх у створі вимірюваної лінії, тобто у вертикальній площині, яка проходить через кінцеві точки цієї лінії, для позначення положення створу лінії на місцевості. Провішування виконують при довжині лінії більше від 150 м.

**Створ** – це вертикальна площина, яка проходить через початок і кінець лінії. Створ лінії позначається за допомогою віх.

**Віха** – це дерев'яна або алюмінієва труба довжиною 1,2-2,0 м, пофарбована через 20 см у червоний (або синій чи інший) та білий колір. Нижній кінець віхи має бути оснащений металевим наконечником, для встановлення в ґрунт.

Провішування лінії може виконуватися на око або за допомогою зорової труби теодоліта двома способами: «на себе» (рис. 3.2, а) та «від себе» (рис. 3.2, б).

При провішуванні лінії АВ способом «на себе» (рис. 3.2, а) перший робітник стає за віхою А, а другий за командою першого виставляє послідовно віхи 1, 2, 3, починаючи з кінця В лінії, так, щоб вони були у створі з віхою в точці В і стояли прямовисно. Такий спосіб є більш точний, ніж спосіб провішування ліній «від себе» (рис. 3.2, б).

Провішування через балку відрізняється від описаних схем тим, що з допомогою віх А і В (рис. 3.3) спочатку виставляють віхи 1 і 2 на протилежних краях балки, а потім по її схилах (віхи 3 і 4) і дну (віха 5).

Провішування лінії через підвищення (наприклад, через пагорб), що знаходиться між точками А і В (рис. 3.4, а), та заважає їх взаємній видимості, виконується двома робітниками послідовним наближенням точок 1 і 2 до створу лінії АВ. Робітники будуть у створі прямої АВ тоді, коли за сигналом другого робітника, який в цей момент буде знаходитись у створі 3-В, перший робітник потрапить у створ 4-А.

Послідовність дій виконання такого провішування описана нижче.

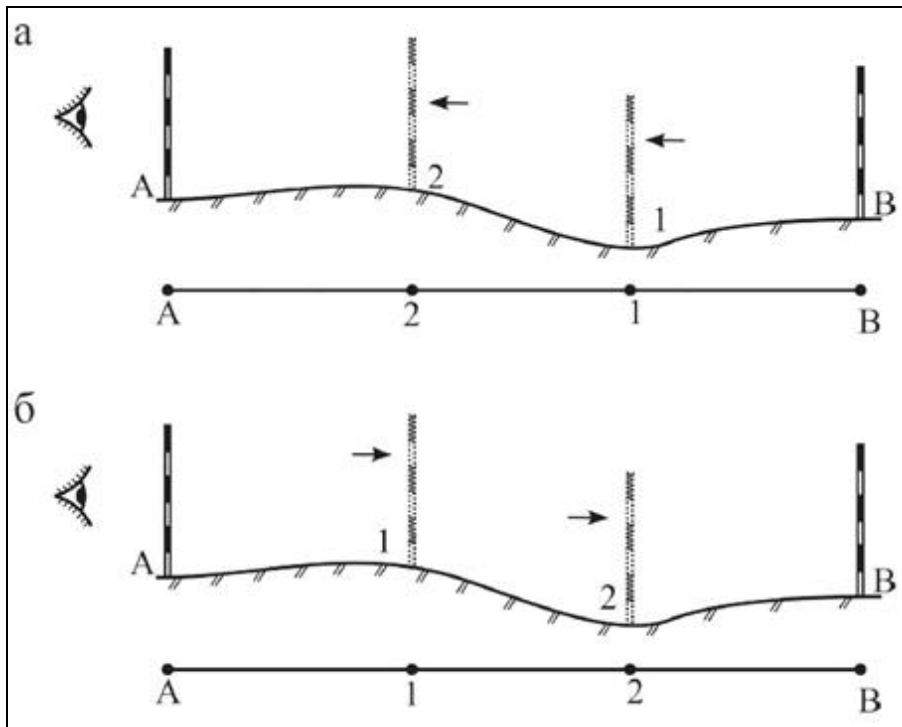


Рисунок 3.2 – Схема провішування ліній: а – «на себе»; б – «від себе»

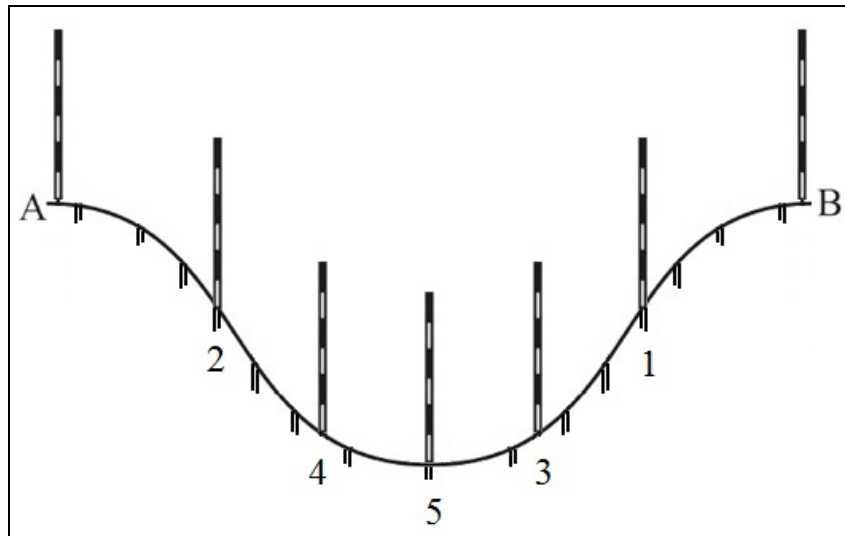


Рисунок 3.3 – Схема провішування лінії через балку

Спочатку в точках А і В встановлюються, відповідно, віхи 1 та 2. Віху 3 встановлюють довільно та, провішуючи лінію 3-2, встановлюють віху 4 у створі лінії 3-2. Далі провішують лінію 4-1 та переміщують віху з точки 3 у точку 3'. Тоді переміщують віху з точки 4 у точку 4' так, щоб вона виявилась у створі лінії 3'-2. Так діють до тих пір, поки жодну з віх не треба буде пересувати, тобто коли обидві віхи будуть у створі лінії АВ.

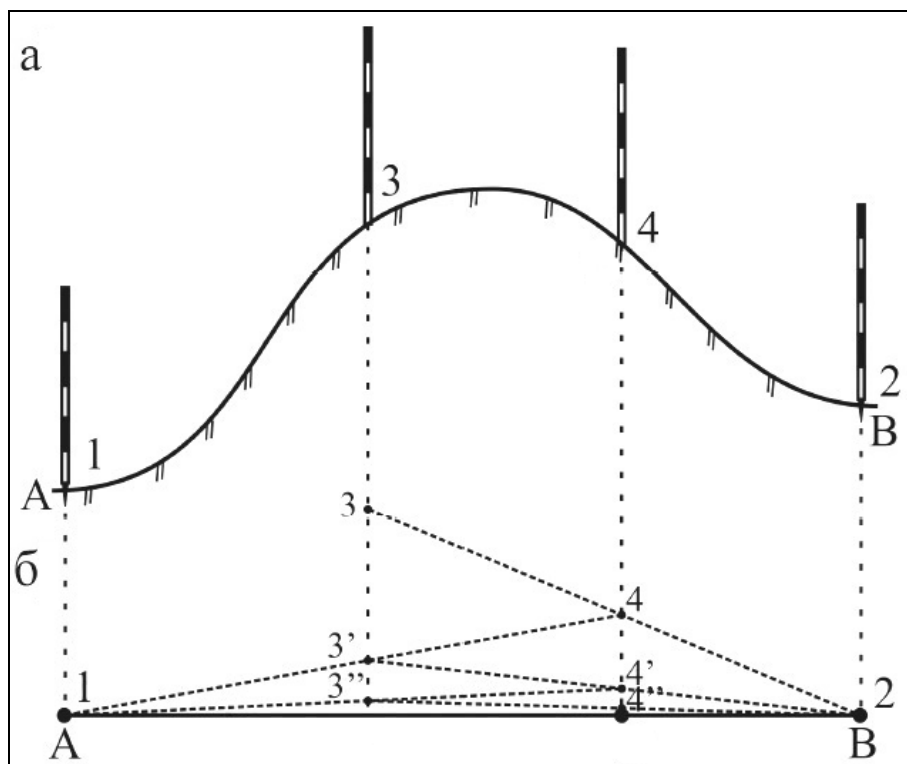


Рисунок 3.4 – Схема провішування ліній при невидимих точках А і В:  
а – вид збоку; б – вид зверху

### 3.1.2 Вимірювання ліній на місцевості

Після виконання всіх підготовчих операцій і провішування лінії на місцевості можна починати вимірювання її довжини. Нижче за текстом надані пояснення стосовно вимірювання ліній стрічкою землемірною або рулеткою (рис. 3.5).

При вимірюванні довжини лінії стрічкою землемірною або рулеткою використовують 6 чи 11 металевих шпильок (рис. 3.5, а). Лінію вимірюють два вимірника (робітника) у послідовності, описаній нижче. Передній бере 5 (10) шпильок і витягує стрічку вздовж вимірюваної лінії (рис. 3.5, б). Задній вимірник утримує початковий штрих стрічки над початком лінії (рис. 3.5, в) і спрямовує переднього так, щоб той вкладав стрічку вздовж створу лінії. Передній вимірник, за сигналом заднього, створює натяг стрічки із силою 10 кг та через виріз-гачок у стрічці вставляє шпильку в землю (рис. 3.5, г). Далі, задній вимірник висмикує шпильку, а передній – протягує стрічку вперед. Задній вимірник зачіплює проріз стрічки в залишену переднім шпильку, а передній – знову натягує стрічку і вставляє шпильку.

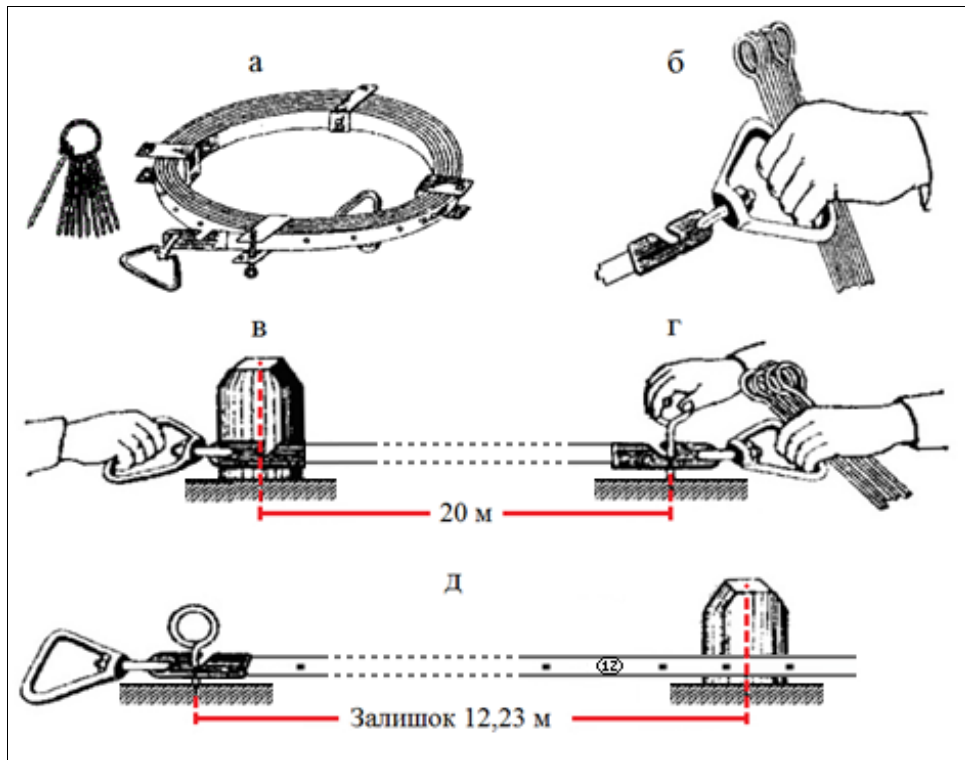


Рисунок 3.5 – Вимірюванні дожини лінії стрічкою землемірною  
(пояснення позначень а, б, в, г, д надані у тексті)

Потім задній вимірник висмикує шпильку та підходить до наступної, в той час як передній знову протягує стрічку вперед і т. д.

За кількістю шпильок у заднього мірника, визначають кількість повних вкладень мірної стрічки. Якщо у заднього робітника опиняться всі 6 чи 11 шпильок, а віддаль ще не виміряна до кінця, то він передає другому робітникові 5 чи 10 шпильок і після цього вимірювання лінії продовжують. Кожну передачу шпильок фіксують (записують) у журналі вимірювань. Довжину залишку (доміру) від останньої шпильки до кінця лінії, меншу від довжини стрічки, встановлюють з точністю до 1 см (рис. 3.5, д).

При вимірюванні ліній необхідно дотримуватись наступних вимог:

- 1) лінія має бути розчищена і ретельно підготовлена до вимірювання;
- 2) відхилення переднього закінчення стрічки від створу не повинно бути більшим 12 см;
- 3) шпильки повинні бути прямі, встромлювати їх у землю потрібно вертикально на достатню глибину, щоб при створенні натягу стрічки шпилька не нахилилась і не зрушувалась з місця;
- 4) при вимірюваннях з точністю до 1:2000 натяг стрічки можна виконувати рукою без динамометра, а температуру не враховують;

5) при вимірюваннях кутів нахилу ліній, які мають переломи, потрібно їх розбивати на ділянки з однаковим ухилом і визначати нахил лінії та довжину кожної ділянки окремо;

6) при кутах нахилу менших  $1,5^\circ$ , поправка за нахил є незначна, тому її можна не вводити;

7) відлік на стрічці слід знімати уважно і не допускати прорахунків;

8) для контролю виконують вимірювання у прямому і зворотному напрямках.

### **3.1.3 Обробка лінійних вимірювань, виконаних землемірною стрічкою**

Для контролю лінію вимірюють у прямому і зворотному напрямках. Загальна довжина лінії, обчислена за номінальною довжиною стрічки (або рулетки), визначається за формулою:

$$D_{np} = n_{np} \cdot l_0 + r_{np} \quad \text{та} \quad D_{зв} = n_{зв} \cdot l_0 + r_{зв}, \quad (3.1)$$

де  $D_{np}$ ,  $D_{зв}$  – загальна довжина лінії, відповідно, у прямому і зворотному напрямках, м;

$n_{np}$ ,  $n_{зв}$  – число цілих відкладень стрічки (або рулетки) у виміряній лінії, відповідно, у прямому і зворотному напрямках;

$r_{np}$ ,  $r_{зв}$  – величина доміру (залишку), відповідно, у прямому і зворотному напрямках, м;

$l_0$  – номінальна довжина мірної стрічки (або рулетки), м.

За кінцевий результат приймають середнє значення її довжини у прямому і зворотному напрямках:

$$D_{сер} = (D_{np} + D_{зв}) / 2. \quad (3.2)$$

де  $D_{сер}$  – середня довжина лінії, м;

$D_{np}$  – довжина лінії, виміряна в прямому напрямку, м;

$D_{зв}$  – довжина лінії, виміряна в зворотному напрямку, м.

Відносну похибку вимірювання лінії ( $f_{відн}$ ) визначають за величиною абсолютної похибки ( $f_{абс}$ ) та середньої довжини лінії ( $D_{сер}$ ) за формулою:

$$f_{відн} = f_{абс} / D_{сер} = (D_{np} - D_{зв}) / D_{сер} \leq 1/2000 \quad (\text{або} \leq 0,0005). \quad (3.3)$$

Щоб отримати фактичну довжину лінії ( $D$ , м), необхідно у виміряну довжину лінії ( $D_{сер}$ , м) увести поправки за компарування мірного приладу ( $\Delta D_{ком}$ , м) і температуру ( $\Delta D_t$ , м).

Поправка за компарування  $\Delta D_{ком}$  визначається наступним чином:

$$\Delta D_{ком} = D_{сер} \cdot (\Delta l_{ком} / l_0), \quad (3.4)$$

де  $\Delta l_{ком}$  – різниця довжин робочої та взірцевої стрічки (компаратора), м;

$l_0$  – номінальна довжина стрічки, м.

При підвищенні (зниженні) температури металеві й інші (наприклад, фіберглассові) мірні прилади змінюють свою довжину, тому під час вимірювань враховують поправку за температуру  $\Delta D_t$ :

$$\Delta D_t = a \cdot (t_{вим} - t_{ком}) \cdot D_{сер}, \quad (3.5)$$

де  $a$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу мірного приладу (для сталі він дорівнює  $1,25 \cdot 10^{-5}$ , а для фіберглассу –  $1,26 \cdot 10^{-5}$ );

$t_{вим}$  – температура мірного приладу (повітря) під час вимірювання, °С;

$t_{ком}$  – температура мірного приладу (повітря) під час компарування, °С.

Поправка за температуру мірного приладу (повітря)  $\Delta D_t$  може бути як додатною, так і від'ємною. Якщо  $t_{вим} > t_{ком}$ , то поправка буде додатною, а при  $t_{вим} < t_{ком}$  – від'ємною.

Якщо вимірювання довжини лінії виконують з відносною похибкою в межах 1/1000-1/5000, то при різниці температур ( $t_{вим} - t_{ком}$ ) менше абсолютної величини  $8^\circ$ , поправку за температуру  $\Delta D_t$  не вводять, тому що вона має дуже мале значення.

В остаточному вигляді фактичне значення довжини лінії ( $D$ , м) буде дорівнювати:

$$D = D_{сер} + \Delta D_{ком} + \Delta D_t. \quad (3.6)$$

Однак, складання планів, карт і проектних креслень здійснюється на горизонтальній площині, тому є необхідність переходу від виміряних на місцевості похилих віддалей  $AB = D$  (рис. 3.6) до їх проєкцій  $AC = d$  (горизонтальних прокладань) на горизонтальну площину. Для цього в результати вимірювань довжини вводять поправку на нахил лінії ( $\Delta D_h$ , м) до горизонту (рис. 3.6).

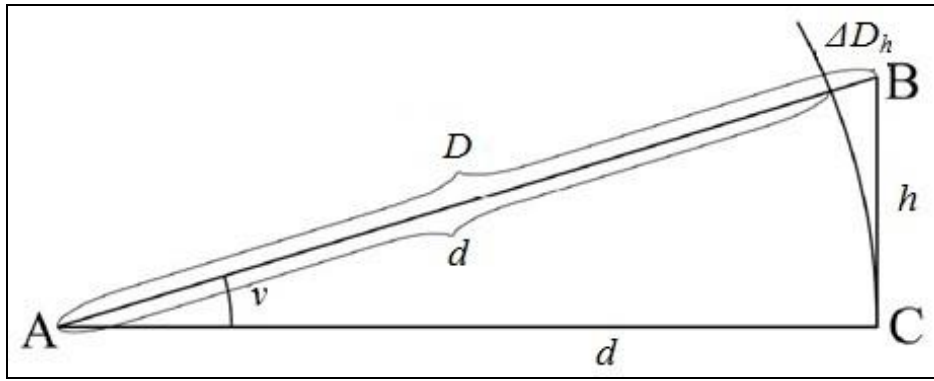


Рисунок 3.6 – Схема визначення поправки за нахил лінії до горизонту

З метою отримання горизонтальної проекції  $d$  лінії АВ довжиною  $D$  необхідно знати кут нахилу  $v$  або відстань ВС – перевищення  $h$  точки В над точкою А (рис. 3.6).

З рис. 3.6 видно, що:

$$\Delta D_h = D - d. \quad (3.7)$$

Враховуючи, що

$$d = D \cdot \cos v, \quad (3.8)$$

одержимо:

$$\Delta D_h = D - D \cdot \cos v. \quad (3.9)$$

Тоді

$$\Delta D_h = D \cdot (1 - \cos v). \quad (3.10)$$

Оскільки

$$1 - \cos v = 2 \cdot \sin^2(v/2), \quad (3.11)$$

То

$$\Delta D_h = 2 \cdot D_{\text{сер}} \cdot \sin^2(v/2). \quad (3.12)$$



Поправку за нахил поверхні можна обчислити також, якщо відоме перевищення  $h$ . З теореми Піфагора маємо:

$$h^2 = D^2 - d^2 \quad \text{та} \quad h = (D^2 - d^2)^{0,5} \quad (3.13)$$

або

$$h^2 = (D - d) \cdot (D + d) = \Delta D_h \cdot (D + d). \quad (3.14)$$

Звідки

$$\Delta D_h = h^2 / (D + d). \quad (3.15)$$

Якщо врахувати, що  $h^2$  набагато менша від  $D$ , то можна прийняти:

$$D + d \approx 2 \cdot D. \quad (3.16)$$

Остаточно отримаємо:

$$\Delta D_h = h^2 / (2 \cdot D). \quad (3.17)$$

В остаточному вигляді *горизонтальне прокладання лінії* ( $d$ , м) повинне враховувати поправки за компарування, температуру та нахил поверхні (поправка за нахил поверхні завжди від'ємна або дорівнює нулю):

$$d = (D_{сер} + \Delta D_{ком} + \Delta D_t) - \Delta D_h = D - \Delta D_h. \quad (3.18)$$

Якщо вимірювана лінія має відрізки з різними кутами нахилу, то вимірюють довжину і кут нахилу кожного відрізка та кожний з них приводять до горизонту, а загальне горизонтальне прокладення лінії, що вимірюється, одержують, як суму горизонтальних прокладень окремих відрізків. Кути нахилу ліній до горизонту більше  $6^\circ$  зазвичай вимірюють теодолітом, а при кутах нахилу окремих відрізків лінії до  $6^\circ$  – екліметром.

**Екліметр** – спрощений ручний геодезичний прилад для вимірювання кутів нахилу ліній з точністю від  $0,25^\circ$  до  $0,5^\circ$ .

Якщо кути нахилу вимірюваних ліній не перевищують  $1,5^\circ$  ( $1^\circ 30'$ ), то поправку за нахил із-за її малого значення не враховують.

Результати вимірювань і обчислень заносять у журнал визначення відстаней, виміряних стрічкою землемірною (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Журнал визначення відстаней, виміряних стрічкою землемірною ЛЗ-20

Лінія	Результати вимірювань											Результати обчислень				
	Прямий напрям			Зворотній напрям			Середні		Абсолютна похибка, $f_{абс} = D_{пр} - D_{зв}$ , м	Відносна похибка, $f_{відн} = f_{абс} / D_{сер} \leq 1/2000 (\leq 0,0005)$	Кут нахилу лінії, $\nu$ , °'	Температура, $t_{вим}$ , °С	Поправка за компарування, $\Delta D_{ком} = D_{сер} \cdot (\Delta l_{ком} / l_0)$ , м	Поправка за температуру, $\Delta D_t = a \cdot (t_{вим} - t_{ком}) \cdot D_{сер}$ , м	Фактична довжина лінії, $D = D_{сер} + \Delta D_{ком} + \Delta D_t$ , м	Поправка за нахил лінії, $\Delta D_h = D \cdot (1 - \cos \nu) = h^2 / (2 \cdot D)$ , м
Число цілих відкладень стрічки, $n_{пр}$	Величина доміру (залишку), $r_{пр}$ , м	Довжина, за номінальною довжиною стрічки ( $l_0$ , м), $D_{пр} = n_{пр} \cdot l_0 + r_{пр}$ , м	Число цілих відкладень стрічки, $n_{зв}$	Величина доміру (залишку), $r_{зв}$ , м	Довжина, за номінальною довжиною стрічки ( $l_0$ , м), $D_{зв} = n_{зв} \cdot l_0 + r_{зв}$ , м	Середнє значення довжини лінії, $D_{сер} = (D_{пр} + D_{зв}) / 2$ , м										
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
1-2	11	14,640	234,640	11	14,690	234,690	234,665	-0,050	-0,00021	2° 26'	+25,0	-0,023	+0,010	234,652	0,212	234,440
2-3	12	14,540	254,540	12	14,520	254,500	254,520	0,040	0,00016	5,10 м	+10,5	-0,025	-0,035	254,460	0,051	254,409
3-4	16	12,106	332,106	16	12,109	332,112	332,109	-0,006	-0,00002	3° 06'	+5,5	-0,033	-0,067	332,009	0,485	331,524
4-5	7	15,240	155,240	7	15,180	155,180	155,210	0,060	0,00039	5,40 м	-5,0	-0,016	-0,052	155,142	0,094	155,048

Примітки:  $a = 1,25 \cdot 10^{-5} = 0,0000125$ ,  $t_{ком} = 21,6$  °С,  $l_0 = 20$  м,  $\Delta l_{ком} = -0,002$  м.

### 3.1.4 Попереднє опрацювання даних лінійних вимірів у мережах згущення та великомасштабних топографічних і кадастрових зніманих

При обробці журналів лінійних вимірів обчислюють довжини ліній за відповідними формулами в залежності від способу їх вимірювання, знаходять горизонтальні прокладання ліній і оцінюють точність лінійних вимірів.

Під час попереднього опрацювання даних лінійних вимірювань у мережах згущення та великомасштабних топографічних і кадастрових зніманих для отримання проекції лінії  $S$  на рівні моря та редукування цієї ж лінії на площину проекції Гаусса-Крюгера в отримані горизонтальні прокладання ліній  $d$  уводять поправки за приведення до рівня моря  $\Delta d_H$  і за редукування лінії на площину проекції Гаусса-Крюгера  $\Delta d_G$ :

$$S = d + \Delta d_H + \Delta d_G. \quad (3.19)$$

Поправку за приведення до рівня моря  $\Delta d_H$  визначають за формулою

$$\Delta d_H = -d \cdot H_{сер} / R_m, \quad (3.20)$$

де  $H_{сер}$  – середня висота вимірюваної лінії над рівнем моря, м;

$R_m$  – середній радіус кривизни поверхні еліпсоїда,  $R_m = 6371230$  м.

Поправку за редукування лінії на площину проекції Гаусса-Крюгера  $\Delta d_G$  визначають за формулою

$$\Delta d_G = d \cdot y_{сер}^2 / (2 \cdot R_m^2), \quad (3.21)$$

де  $y_{сер}$  – середнє значення ординат кінців вимірюваної лінії, м.

При обчисленні поправок  $\Delta d_H$  і  $\Delta d_G$  величини  $y_{сер}$  і  $H_{сер}$  беруть з карти району робіт. Наприклад, якщо середня висота лінії над рівнем моря дорівнює  $H_{сер} = 200$  м, а горизонтальне прокладання складає  $d = 500$  м, то:

$$\Delta d_H = -500 \cdot 200 / 6371230 = -100000 / 6371230 \approx -0,016 \text{ м.}$$

Чим більше середня висота вимірюваної лінії над рівнем моря, тим більше абсолютне значення поправки за приведення до рівня моря  $\Delta d_H$ .

Величина поправки за перехід від вимірюваної відстані на площину в проекції Гаусса-Крюгера  $\Delta d_G$  залежить від місцезнаходження вимірюваної відстані відносно осьового меридіану. Чим більше ця відстань, тим більше значення поправки. Наприклад, при віддаленні вимірюваної лінії довжиною 500 м від осьового меридіану  $y_{сер} = 250$  км (або  $y_{сер} = 250000$  м), маємо:

$$\Delta d_G = 500 \cdot 250000^2 / (2 \cdot 6371230^2) \approx 0,385 \text{ м.}$$

Таким чином, указані вище поправки необхідно враховувати не тільки при обробці результатів геодезичних вимірів довжини ліній у мережах згущення 4 класу, 1 та 2 розрядів, а й при вирівнюванні планової знімальної основи (наприклад, теодолітних ходів) великомасштабних топографічних та кадастрових зніманих. Також, ці поправки необхідно враховувати при використанні великомасштабних планів масштабу 1:500 для переносу (виносу) в натуру проектів відводів меж земельних ділянок та інженерних споруд на забудованих територіях.

Далі показано визначення величини граничного віддалення пунктів геодезичних мереж згущення (ГМЗ) 4 класу, 1 та 2 розрядів від осьового меридіану, при якому можна не враховувати поправки за перехід на поверхню відносності і редукування на площину проекції Гаусса-Крюгера. Згідно з вимогами діючої в Україні «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98)» ([URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text)), допустима відносна похибка для полігонометричних ходів 4 класу складає 1:25000. Тому, поправками за редукування можна знехтувати, якщо їх величина буде меншою за 1:50000 довжини лінії.

Згідно рівняння (3.21) маємо:

$$y_{сер}^2 / (2 \cdot R_m^2) = \Delta d_{Г} / d = 1/50000,$$

звідки

$$y_{сер} = R_m / 158 = 6371230 / 158 = 40324 \text{ м} \approx 40,3 \text{ км.}$$

Таким чином, при віддаленні пунктів ГМЗ 4 класу, 1 та 2 розрядів від осьового меридіану не більш ніж на 40 км, можна не вводити поправки в виміряні довжини ліній за перехід на поверхню відносності і редукування на площину проекції Гаусса-Крюгера.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 3.1

1. Яких вимог необхідно дотримуватися при вимірюванні довжин ліній сталеву землемірною стрічкою?
2. Які поправки вводяться у виміряні віддалі для приведення довжин ліній до горизонту?
3. Як вводиться поправка за нахил лінії?
4. Як вводяться поправка за температуру і компарування?
5. В яких випадках в отримані горизонтальні прокладання ліній вводять поправки за редукування лінії на площину проекції Гаусса-Крюгера?

### 3.2 Опосередковані визначення відстаней між двома точками місцевості – недоступної відстані та при відсутності прямої видимості

Існує декілька способів вимірювання ліній, що перетинають такі перепони як каньйони, річки, яри, озера, болота, котловани, широкі траншеї (недоступні відстані) або в створі ліній наявні будівлі чи точки знаходяться на значній висоті (при відсутності прямої видимості) і які безпосередньо виміряти стрічкою, рулеткою чи дротом неможливо. Основними з них є наступні: паралактичним способом, за теоремою синусів, за теоремою косинусів та за спрощеними формулами Юнга.

#### 3.2.1 Паралактичний спосіб визначення недоступної відстані

Паралактичний спосіб визначення довжини  $d$  лінії  $AB$  (рис. 3.7) полягає в тому, що в точці  $B$  перпендикулярно до лінії  $AB$  і симетрично відносно неї відкладають базис  $b$ , а в точці  $A$  теодолітом вимірюють паралактичний кут  $\beta$ .

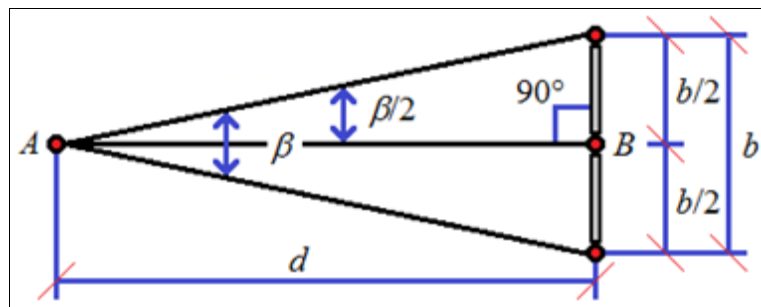


Рисунок 3.7 – Схема паралактичного трикутника

Довжину  $d$  лінії  $AB$  (її горизонтальне прокладання) визначають за формулою:

$$d = \operatorname{ctg}(\beta/2) \cdot b/2 = \operatorname{tg}(90^\circ - \beta/2) \cdot b/2. \quad (3.22)$$

Відносну похибку визначення довжини обчислюють за формулою:

$$(m_d/d)^2 = (m_b/b)^2 + (m_\beta/\beta)^2, \quad (3.23)$$

де  $m_d$ ,  $m_b$  та  $m_\beta$  – відповідно середні квадратичні похибки визначення довжини лінії  $d$ , вимірювання базису  $b$  та паралактичного кута  $\beta$ .

В якості базису зазвичай приймають віддаль, яка кратна довжині мірної стрічки, рулетки чи інварного дроту. Тобто, шукана віддаль  $d$  має бути в декілька разів більша за довжину базису  $b$ . В цілому відношення довжини базису до віддалі, що визначається, залежить від необхідної точності визначення довжини лінії  $AB$  і похибок вимірювання базису та паралактичного кута і в середньому складає:  $b/d \approx 1/10$ . Враховуючи мале значення паралактичного кута  $\beta$  можна прийняти, що  $\sin\beta \approx b/d$ , тоді кут  $\beta$ , при  $b/d \approx 1/10$ , буде дорівнювати:  $\beta \approx 5^\circ 44'$ .

Формулу (3.23) використовують як для оцінки точності результатів визначення довжин ліній, так і для попереднього розрахунку необхідної точності вимірювань базису  $b$  і паралактичного кута  $\beta$  для отримання заздалегідь заданої точності визначення довжини лінії  $AB$ . Нижче наведені декілька прикладів практичного застосування формули (3.23).

**Приклад 1.** Обчислити відносну похибку  $m_d/d$  визначення довжини  $d$  лінії паралактичним способом, якщо відносна похибка вимірювання базису  $m_b/b = 1/5000$  і середня квадратична похибка вимірювання паралактичного кута  $m_\beta = 5''$ , кут  $\beta = 6^\circ = 21600''$ . З формули (3.23) отримаємо:  

$$m_d/d = [(m_b/b)^2 + (m_\beta/\beta)^2]^{0.5} = [(1/5000)^2 + (5/21600)^2]^{0.5} \approx 30,59145 \cdot 10^{-5} \approx 1/3269.$$

**Приклад 2.** Відносна похибка вимірювання базису  $m_b/b = 1/15000$ . З якою точністю  $m_\beta$  необхідно виміряти паралактичний кут  $\beta = 6^\circ = 21600''$ , щоб відносна похибка визначення довжини лінії становила  $m_d/d = 1/5000$  та який теодоліт можна використати для вимірювання кута з цією точністю?

Розв'язуючи рівняння (3.23) відносно  $m_\beta$ , отримаємо:

$$m_\beta = \beta \cdot [(m_d/d)^2 - (m_b/b)^2]^{0.5} = 21600 \cdot [(1/5000)^2 - (1/15000)^2]^{0.5} \approx 4''.$$

Таким чином, вимірювання кута можна виконати теодолітом Т2 або Т5 (двома прийомами).

**Приклад 3.** Паралактичний кут  $\beta = 6^\circ = 21600''$  виміряний теодолітом Т2 з середньою квадратичною похибкою  $m_\beta = 2''$ . З якою точністю необхідно виміряти базис  $b$ , щоб відносна похибка визначення довжини лінії становила  $m_b/b = 1/10000$ ?

Розв'язуючи рівняння (3.23) відносно  $m_b/b$ , отримаємо:

$$m_b/b = [(m_d/d)^2 - (m_\beta/\beta)^2]^{0.5} = [(1/10000)^2 - (2/21600)^2]^{0.5} \approx 3,77705 \cdot 10^{-5} \approx 1/26476.$$

У розглянутих прикладах паралактичний кут  $\beta$  був постійним і дорівнював  $6^\circ$ . Однак, як випливає з формули (3.23), за інших рівнозначних умов, відносна похибка визначення довжини лінії залежить також від величини кута  $\beta$ . Тому, задаючи необхідну точність вимірювання базису  $b$  і паралактичного кута  $\beta$ , за формулою (3.23) можна обчислити оптимальну величину паралактичного кута  $\beta$ , яка забезпечить визначення довжини лінії  $d$  з заданою точністю. Розглянемо це на наступному прикладі.

**Приклад 4.** Нехай відносна похибка вимірювання базису  $b$  складає  $m_b/b = 1/15000$ , середня квадратична похибка вимірювання кута  $\beta$  складає  $m_\beta = 2''$ . Треба обчислити оптимальну величину паралактичного кута  $\beta$  і відношення  $b/d$ , які забезпечать визначення ліній довжиною  $d$  з відносною похибкою  $m_d/d = 1/10000$ .

Розв'язуючи рівняння (3.23) відносно кута  $\beta$ , отримаємо:

$$\beta = m_\beta / [(m_d/d)^2 - (m_b/b)^2]^{0.5} = 2'' / [(1/10000)^2 - (1/15000)^2]^{0.5} \approx 26833'' \approx 447' \approx 7,45^\circ.$$

Відношення базису  $b$  до шуканої довжини  $d$  складає:

$$b/d = \sin \beta = \sin 7,45^\circ \approx 0,12966 \approx 1/7,7.$$

Отримане відношення  $b/d \approx 1/7,7$  означає, що при заданих  $m_\beta = 2''$ ,  $m_b/b = 1/15000$  і довжині базису, наприклад,  $b = 20$  м, можна з відносною похибкою  $m_d/d = 1:10000$  визначати лінії довжиною до:

$$d \approx 7,7 \cdot b \approx 7,7 \cdot 20 \approx 154 \text{ м.}$$

### 3.2.2 Визначення недоступної відстані за теоремою синусів

Потрібно визначити довжину  $d$  лінії  $AB$  (рис. 3.8), яка перетинає річку, якщо точка  $B$  є неприступною для встановлення на ній теодоліта.

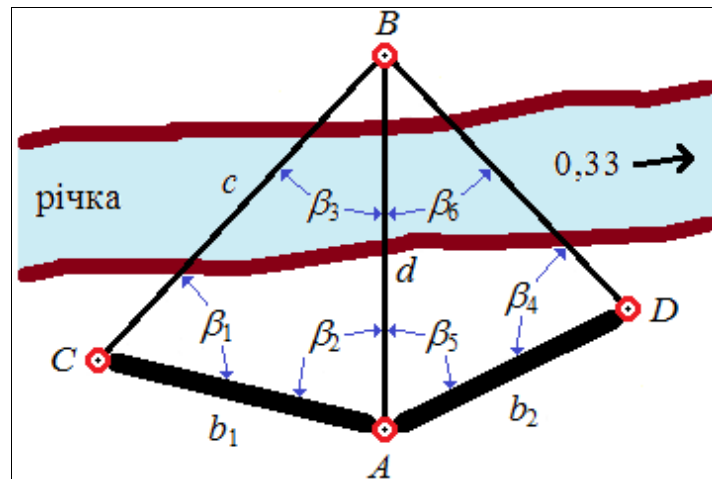


Рисунок 3.8 – Визначення недоступної відстані за теоремою синусів

Задачу вирішують таким чином. Від точки в протилежні сторони  $A$  вимірюють довжину двох базисів  $b_1 = AC$  і  $b_2 = AD$ . Теодолітом вимірюють кути  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_5$  та  $\beta_4$ . Кути  $\beta_3$  та  $\beta_6$  при точці  $B$  обчислюють за формулою:

$$\beta_3 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) \quad \text{та} \quad \beta_6 = 180^\circ - (\beta_4 + \beta_5). \quad (3.24)$$

Горизонтальне прокладання  $d$  лінії  $AB$  обчислюють для контролю з двох трикутників  $ACB$  і  $ADB$  за теоремою синусів:

$$d_1 = b_1 \cdot \sin\beta_1 / \sin(\beta_1 + \beta_2) \quad \text{та} \quad d_2 = b_2 \cdot \sin\beta_4 / \sin(\beta_4 + \beta_5). \quad (3.25)$$

Різниця  $\Delta d = d_1 - d_2$  повинна задовольняти наступній умові:

$$\Delta d / d_{\text{сер}} = (d_1 - d_2) / [0,5 \cdot (d_1 + d_2)] \leq 1 / (N \cdot 2^{0,5}), \quad (3.26)$$

де  $d_{\text{сер}} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2)$  – середнє арифметичне значення шуканої довжини;

$N$  – знаменник відносної нормативної похибки, наприклад, 3000, 2000, 1000.

Якщо умова (3.26) не виконується, то проводять повторні більш точні вимірювання, а при виконанні цієї умови за остаточне значення шуканої довжини приймають її середнє значення  $d_{\text{сер}}$ :

$$d_{\text{сер}} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2). \quad (3.27)$$

Точність визначення неприступної віддалі залежить від точності вимірювання базисів ( $b_1, b_2$ ), кутів ( $\beta_1, \beta_2, \beta_5, \beta_4$ ) і форми трикутників  $ACB$  і  $ADB$ . Найкращими з цієї точки зору вважаються рівнобічні трикутники, як, наприклад, на рис. 3.8. Нижче показаний приклад визначення недоступної відстані  $d$  за теоремою синусів і розрахунку відносної середньої квадратичної похибки визначення цієї відстані  $m_d/d$ .

**Приклад 5.** При визначенні неприступної віддалі  $d$  (див. рис. 3.8) отримані такі результати вимірювань:

– для трикутника  $ACB$ :  $b_1 = 150,48$  м,  $\beta_1 = 62^\circ 40'$ ,  $\beta_2 = 66^\circ 23'$ ;

– для трикутника  $ADB$ :  $b_2 = 150,66$  м,  $\beta_4 = 61^\circ 28'$ ,  $\beta_5 = 68^\circ 14'$ .

Треба обчислити віддаль  $d$  та оцінити точність її визначення  $m_d/d$ .

1. Згідно з формулою (3.25) маємо:

$$d_1 = b_1 \cdot \sin\beta_1 / \sin(\beta_1 + \beta_2) = 150,48 \cdot \sin 62^\circ 40' / \sin(62^\circ 40' + 66^\circ 23') = 172,13 \text{ м};$$

$$d_2 = b_2 \cdot \sin\beta_4 / \sin(\beta_4 + \beta_5) = 150,66 \cdot \sin 61^\circ 28' / \sin(61^\circ 28' + 68^\circ 14') = 172,03 \text{ м};$$

2. Згідно з формулою (3.27) середнє арифметичне значення складає:

$$d_{\text{сер}} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (172,13 + 172,03) = 172,08 \text{ м}.$$

3. Відносна похибка різниці  $\Delta d$  двох значень дорівнює:

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 172,13 - 172,03 = 0,10 \text{ м}.$$

4. Відносна середня квадратична похибка  $m_d/d$  визначення віддалі  $d$  дорівнює:

$$m_d/d = \Delta d / d \cdot 2^{0,5} = 0,10 / 172,08 \cdot 2^{0,5} = 41,09175 \cdot 10^{-5} = 1/2434 < 1/2000.$$



Якщо є можливість установити теодоліт у точці  $B$ , то вимірюють тільки базис  $b_1$  і кути трикутника  $ACB$ . Потім обчислюють кутову нев'язку  $f_\beta$  трикутника  $ACB$  за формулою:

$$f_\beta = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 180^\circ. \quad (3.28)$$

Якщо  $f_\beta \leq 2 \cdot m_\beta \cdot 3^{0,5}$ , де  $m_\beta$  – середня квадратична похибка вимірювання кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  та  $\beta_3$ , то її розподіляють з протилежним знаком порівно на виміряні кути й отримують виправлені кути  $\beta_1'$ ,  $\beta_2'$  та  $\beta_3'$ , сума яких повинна дорівнювати  $180^\circ$ .

За виправленими кутами  $\beta_1'$  і  $\beta_3'$  обчислюють віддаль  $d$  за формулою:

$$d = b_1 \cdot \sin \beta_1' / \sin \beta_3'. \quad (3.29)$$

Для контролю обчислень двічі визначають віддаль  $c = BC$ :

$$c = b_1 \cdot \sin \beta_2' / \sin \beta_3' \quad \text{та} \quad c = d \cdot \sin \beta_2' / \sin \beta_1'.$$

Відносну похибку  $m_d/d$  визначення віддалі  $d$  обчислюють за формулою:

$$m_d / d = \sqrt{(m_b/b_1)^2 + (m_\beta/\rho)^2 \cdot (\text{ctg}^2 \beta_1' + \text{ctg}^2 \beta_3')}, \quad (3.30)$$

де  $m_b/b_1$  – середня квадратична похибка вимірювання базису  $b_1$ ;

$m_\beta = m_{\beta_1} = m_{\beta_3}$  – середня квадратична похибка вимірювання одного кута;

$\rho$  – радіан ( $\rho = 206265'' = 3437,75' \approx 57,3^\circ$ ).

**Приклад 6.** При визначенні неприступної віддалі  $d$  (рис. 3.8) для трикутника  $ACB$  отримані наступні результати вимірювань:  $b_1 = 150,48$  м,  $\beta_1 = 62^\circ 40'$ ,  $\beta_2 = 66^\circ 23'$ ,  $\beta_3 = 50^\circ 58'$ . Треба обчислити неприступну віддаль  $d$  та оцінити точність її визначення  $m_d/d$ , якщо відносна середня квадратична похибка вимірювання базису становить  $m_b/b = 1/2000$ , а середня квадратична похибка визначення кутів –  $m_\beta = 30''$ .

1. Згідно з формулою (3.28):

$$f_\beta = (62^\circ 40' + 66^\circ 23' + 50^\circ 58') - 180^\circ = +0^\circ 01'.$$

2. У зв'язку з тим, що умова  $f_\beta \leq 2 \cdot 30'' \cdot 3^{0,5} = 104'' = 0^\circ 01,7'$  виконана ( $0^\circ 01' < 0^\circ 01,7'$ ), далі обчислюємо виправлені кути:

$$\beta_1' = \beta_1 - f_\beta/3 = 62^\circ 40' - 0^\circ 01'/3 = 62^\circ 40' - 20'' = 62^\circ 39' 40'';$$

$$\beta_2' = \beta_2 - f_\beta/3 = 66^\circ 23' - 0^\circ 01'/3 = 66^\circ 23' - 20'' = 66^\circ 22' 40'';$$

$$\beta_3' = \beta_3 - f_\beta/3 = 50^\circ 58' - 0^\circ 01'/3 = 50^\circ 58' - 20'' = 50^\circ 57' 40''.$$

Контроль обчислень:

$$\beta_1' + \beta_2' + \beta_3' = 62^\circ 39' 40'' + 66^\circ 22' 40'' + 50^\circ 57' 40'' = 180^\circ 00' 00''.$$

3. Згідно з формулою (3.29) шукана віддаль  $d$  складає:

$$d = 150,48 \cdot \sin 62^\circ 39' 40'' / \sin 50^\circ 57' 40'' = 172,10 \text{ м.}$$

Для контролю обчислень двічі визначають віддаль  $c$ :

$$c = 150,48 \cdot \sin 66^\circ 22' 40'' / \sin 50^\circ 57' 40'' = 177,50 \text{ м;}$$

$$c = 172,10 \cdot \sin 66^\circ 22' 40'' / \sin 62^\circ 39' 40'' = 177,50 \text{ м.}$$

4. За формулою (3.30) отримаємо:

$$m_d / d = \sqrt{(1/2000)^2 + (30''/206265'')^2 \cdot (0,517^2 + 0,811^2)} = 51,91990 \cdot 10^{-5} = 1/1926,$$

де  $\text{ctg } 62^\circ 39' 40'' = \text{tg } (90^\circ - 62^\circ 39' 40'') = \text{tg } 27^\circ 20' 20'' = 0,517$ ;

$\text{ctg } 50^\circ 57' 40'' = \text{tg } (90^\circ - 50^\circ 57' 40'') = \text{tg } 39^\circ 02' 20'' = 0,811$ .

### 3.2.3 Визначення відстані при відсутності прямої видимості за теоремою косинусів

Якщо необхідно визначити довжину  $d$  лінії  $AB$  (рис. 3.9), але пряма видимість між точками  $A$  і  $B$  відсутня, то поступають наступним чином:

- збоку від визначуваної лінії  $AB$  і приблизно симетрично відносно точок  $A$  і  $B$  закріплюють допоміжну точку  $C$ ;
- вимірюють віддалі  $d_1$ ,  $d_2$  і кут  $\beta$ ;
- за формулою косинусів обчислюють довжину  $d$  (горизонтальне прокладання):

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \cos \beta. \quad (3.31)$$

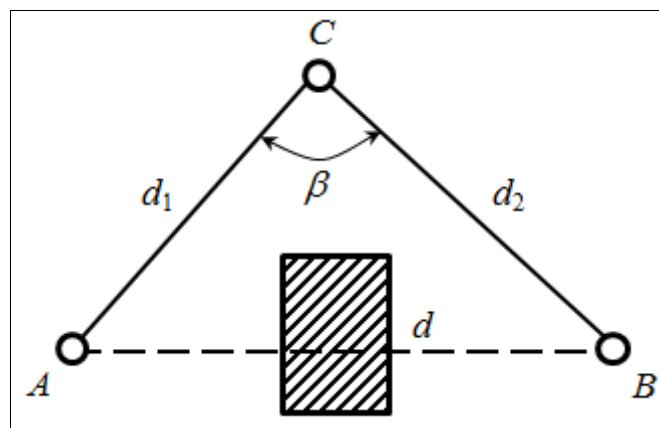


Рисунок 3.9 – Схема визначення відстані при відсутності прямої видимості за теоремою косинусів

Враховуючи те, що точку  $C$  бажано розташовувати симетрично відносно точок  $A$  і  $B$ , можна прийняти, що  $d_1 = d_2 = d_0$ .

Тоді формула (3.31) набуде такого вигляду:

$$d = 2 \cdot d_0 \cdot \sin(\beta/2). \quad (3.32)$$

Відносну похибку  $m_d/d$  визначення віддалі  $d$  обчислюють за формулою:

$$m_d/d = \sqrt{(m_{d0}/d_0)^2 + 0,25 \cdot (m_{\beta 0}/\rho)^2 \cdot \text{ctg}^2(\beta/2)}, \quad (3.33)$$

де  $m_{d0} = m_{d1} = m_{d2}$  – середня квадратична похибка вимірювання віддалей  $d_1, d_2$ ;

$m_{\beta}$  – середня квадратична похибка вимірювання кута  $\beta$ ;

$\rho$  – радіан ( $\rho = 206265'' = 3437,75' \approx 57,3^\circ$ ).

Аналіз формули (3.33) показує, що точність визначення віддалі  $d$  залежить як від точності вимірювань віддалей  $d_1, d_2$  і кута  $\beta$ , так і від самої величини кута  $\beta$ .

**Приклад 7.** При визначенні неприступної віддалі  $d$  (див. рис. 3.9) отримані такі результати вимірювань:  $d_1 = 182,43$  м,  $d_2 = 180,87$  м,  $\beta = 170^\circ$ . Відносна похибка вимірювання довжин  $m_{d1}/d_1 = m_{d2}/d_2 = m_{d0}/d_0 = 1/5000$ , середня квадратична похибка вимірювання кута  $m_{\beta} = 30''$ ,  $\rho = 206265''$ . Треба обчислити неприступну віддаль  $d$  та відносну похибку  $m_d/d$ .

1. За формулою (3.31) отримаємо:

$$d = \sqrt{182,43^2 + 180,87^2 - 2 \cdot 182,43 \cdot 180,87 \cdot \cos 170^\circ} = 361,92 \text{ м.}$$

2. Згідно з формулою (3.33) отримаємо:

$$m_d/d = \sqrt{\left(\frac{1}{5000}\right)^2 + 0,25 \cdot \left(\frac{30''}{206265''}\right)^2 \cdot \text{ctg}^2(170^\circ/2)} = 20,01012 \cdot 10^{-5} = 1/4997.$$

**Приклад 8.** Усі результати вимірювань, за виключенням величини кута  $\beta$ , візьмемо із попереднього прикладу, а кут  $\beta$  нехай буде дорівнювати  $60^\circ$ . Треба обчислити неприступну віддаль  $d$  та відносну похибку  $m_d/d$ .

1. За формулою (3.31) отримаємо:

$$d = \sqrt{182,43^2 + 180,87^2 - 2 \cdot 182,43 \cdot 180,87 \cdot \cos 60^\circ} = 181,66 \text{ м.}$$

2. Згідно з формулою (3.33) отримаємо:

$$m_d/d = \sqrt{\left(\frac{1}{5000}\right)^2 + 0,25 \cdot \left(\frac{30''}{206265''}\right)^2 \cdot \text{ctg}^2(60^\circ/2)} = 23,63588 \cdot 10^{-5} = 1/4231.$$

Як бачимо, у другому випадку (**Приклад 8**) відносна похибка більша, ніж у першому (**Приклад 7**). Отже, найбільш сприятливим є варіант, коли, за інших рівнозначних умов, кут  $\beta$  близький до  $180^\circ$ .

### 3.2.4 Визначення недоступної відстані (точки знаходяться на значній висоті або відсутня пряма видимість між ними) за спрощеними формулами Юнга

Якщо потрібно визначити віддаль між точками 1 і 2 (рис. 3.10), яку неможливо безпосередньо виміряти (наприклад, точки знаходяться на значній висоті або відсутня пряма видимість між ними) мірною стрічкою або рулеткою, то поступають наступним чином:

- на деякій віддалі від вимірюваної лінії 1-2 на рівній відкритій ділянці приблизно паралельно лінії 1-2 закріплюють два пункти  $A$  та  $B$ ;
- ретельно вимірюють горизонтальне прокладання  $b$  між точками  $A$  та  $B$ , яке називається базисом;
- у пунктах  $A$  та  $B$  теодолітом вимірюють горизонтальні кути  $\beta_1$  і  $\beta_3$  – в пункті  $A$ ,  $\beta_2$  і  $\beta_4$  – в пункті  $B$ ;
- розміщують початок умовної системи координат у пункті  $A$  та, спрямувавши вісь ординат уздовж базису  $AB$ , отримують:

$$x_a = y_a = x_b = 0, \quad y_b = b. \quad (3.34)$$

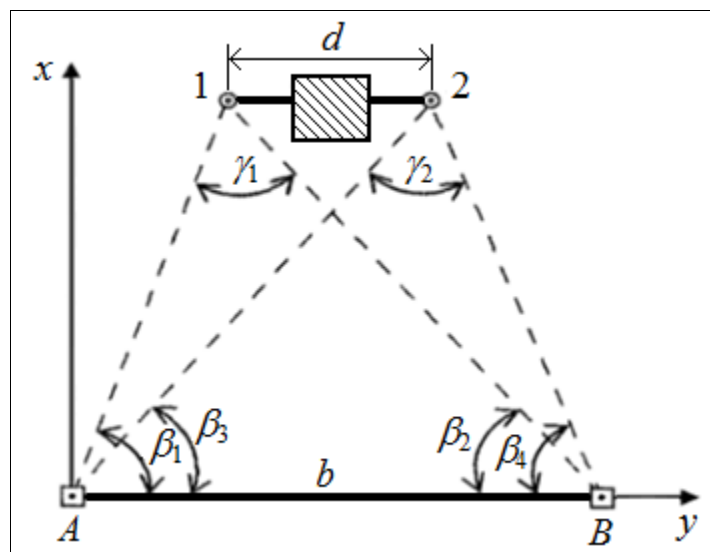


Рисунок 3.10 – Схема визначення недоступної відстані за спрощеними формулами Юнга

Підставивши ці значення у формули Юнга, отримаємо координати точок 1 і 2 в умовній системі координат:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{b}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2} \\ y_1 &= \frac{b \cdot \operatorname{ctg}\beta_1}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2} \end{aligned} \right\} \text{— для точки 1,} \quad (3.35)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \frac{b}{\operatorname{ctg}\beta_3 + \operatorname{ctg}\beta_4} \\ y_2 &= \frac{b \cdot \operatorname{ctg}\beta_3}{\operatorname{ctg}\beta_3 + \operatorname{ctg}\beta_4} \end{aligned} \right\} \text{— для точки 2,} \quad (3.36)$$

Горизонтальне прокладання  $d$  лінії 1-2 обчислюється за формулою:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (3.37)$$

Підставивши у формулу (3.37) замість  $x_1, x_2, y_1, y_2$  їхні значення з виразів (3.35) і (3.36), після відповідних перетворень отримаємо:

$$d = b \cdot \sqrt{\left(\frac{\sin\beta_2}{\sin\gamma_1}\right)^2 + \left(\frac{\sin\beta_4}{\sin\gamma_2}\right)^2 - 2 \cdot \frac{\sin\beta_2 \cdot \sin\beta_4 \cdot \cos(\beta_1 - \beta_3)}{\sin\gamma_1 \cdot \sin\gamma_2}}; \quad (3.38)$$

де  $\gamma_1$  та  $\gamma_2$  – кути засічок у точках 1 і 2, які визначаються відповідно за формулами:

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) \quad \text{та} \quad \gamma_2 = 180^\circ - (\beta_3 + \beta_4). \quad (3.39)$$

Середня квадратична похибка  $m_d$  визначення горизонтального прокладання  $d$  між точками 1 і 2 може бути обчислена за формулою:

$$m_d = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}, \quad (3.40)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – відповідно середні квадратичні похибки положення точок 1 і 2 в плані.

У свою чергу похибки  $m_1$  і  $m_2$  можна розрахувати за формулами:

$$\begin{aligned} m_1 &= b \cdot \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin^2 \gamma_1} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}, \\ m_2 &= b \cdot \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin^2 \gamma_2} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_3 + \sin^2 \beta_4}, \end{aligned} \quad (3.41)$$

де  $m_\beta$  – середня квадратична похибка вимірювання кутів;

$\rho$  – радіан ( $\rho = 206265'' = 3437,75' \approx 57,3^\circ$ ).

Якщо базис  $b = AB$  розмістити приблизно симетрично і водночас паралельно лінії 1-2 (див. рис. 3.10), то можна вважати, що:  $\beta_1 + \beta_2 = \beta_3 + \beta_4$ ,  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ ,  $m_1 = m_2 = m_d$ .

Тоді формула (3.39) з урахуванням такого припущення та після підстановки до неї виразів з формули (3.41) буде мати вигляд:

$$m_d = b \cdot \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \sqrt{2 \cdot (\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2)}. \quad (3.42)$$

Аналіз формули (3.42) показує, що при інших рівних умовах похибка  $m_d$  зменшується при наближенні кута засічки  $\gamma$  до  $90^\circ$ .

**Приклад 9.** Визначити величину горизонтального прокладання  $d$  лінії 1-2 (рис. 3.10), його абсолютну  $m_d$  і відносну  $m_d/d$  похибки визначення, якщо довжина базису  $b = 300$  м, а виміряні з похибкою  $m_\beta = 30''$  кути дорівнюють наступним значенням:  $\beta_1 = 55^\circ$ ,  $\beta_2 = 40^\circ$ ,  $\beta_3 = 40^\circ$ ,  $\beta_4 = 55^\circ$ .

1. За формулою (3.38) отримаємо:

$$d = 300 \cdot \sqrt{\left(\frac{\sin 40^\circ}{\sin 85^\circ}\right)^2 + \left(\frac{\sin 55^\circ}{\sin 85^\circ}\right)^2} - 2 \cdot \frac{\sin 40^\circ \cdot \sin 55^\circ \cdot \cos 15^\circ}{\sin 85^\circ \cdot \sin 85^\circ} = 77,943 \text{ м.}$$

2. За формулою (3.42) отримаємо:

$$m_d = 300 \cdot \frac{30''}{206265'' \cdot \sin^2 85^\circ} \cdot \sqrt{2 \cdot (\sin^2 55^\circ + \sin^2 40^\circ)} \approx 0,065 \text{ м.}$$

3. Відносна похибка  $m_d/d$  визначення горизонтального прокладання  $d$  складає:

$$m_d/d = 1/(77,943 : 0,065) \approx 1/1200.$$

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 3.2

1. Які основні способи (випадки) існують для визначення недоступних відстаней?
2. В чому полягає визначення недоступних відстаней паралактичним способом та як виглядає його схема?
3. Як здійснюється та який вигляд має схема визначення недоступних відстаней за теоремою синусів?
4. Яким чином виконується і як схематично зображується визначення недоступних відстаней за теоремою косинусів?
5. Яка схема та суть визначення недоступної відстані за спрощеними формулами Юнга?

### *Питання для самоперевірки до теми № 3*

1. Які поправки вводяться у виміряні віддалі для приведення довжин ліній до горизонту?
2. Як вводиться поправка за нахил лінії?
3. В яких випадках в отриманні горизонтальні прокладання ліній уводять поправки за редукування лінії на площину проекції Гаусса-Крюгера?
4. Які основні способи (випадки) існують для визначення недоступних відстаней?
5. Як здійснюється та який вигляд має схема визначення недоступних відстаней за теоремою синусів?

## **4 ПРОЕКТУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ТА ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ З БАЛАНСОМ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ЗА ДАНИМИ НІВЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ МІСЦЕВОСТІ ЗА КВАДРАТАМИ**

Проектування горизонтальної та/або похилої площини виконується з метою розміщення забудови і підземних комунікацій, благоустрою, забезпечення транспортних зав'язків та ін. при максимальному збереженні природного середовища і мінімальному переміщенні земляних мас.

Для проектування горизонтальної площини використовуються дані геометричного нівелювання (або аналітичного інтерполювання) з визначеними фактичними позначками вершин квадратів на топографічному плані місцевості, а для проектування похилої площини також потрібні проектний ухил похилої площини та дирекційний кут на пряму проектного ухилу.

### **4.1 Обробка журнал-схеми нівелювання поверхні місцевості за квадратами**

Нівелювання поверхні є одним із видів висотного знімання, яке застосовується на відкритій або напіввідкритій місцевості з різним характером рельєфу при вишукуваннях і проектуванні для будівництва населених пунктів, промислових і цивільних будівель і споруд, аеродромів, гідромеліоративних систем, землевпорядкування та ін.

Залежно від міри відкритості місцевості, складності її рельєфу та розміру ділянки застосовують такі основні способи нівелювання поверхні: паралельних ліній; полігонів; по квадратах.

#### ***4.1.1 Нівелювання поверхні місцевості способом за квадратами***

Спосіб квадратів застосовують на відкритій місцевості із слабо вираженим рельєфом. Сутність способу полягає в тому, що на визначеній ділянці місцевості за допомогою теодоліта і рулетки або електронного тахеометра розмічають сітку квадратів.

При нівелюванні великих ділянок діють наступним чином:

– по контуру ділянки нівелювання поверхні місцевості будують великий прямокутник/квадрат (рис. 4.1), вершини  $1A-1B-2B-2A$  якого закріплюють бетонними стовпами;

– великий прямокутник/квадрат  $1A-1B-2B-2A$  заповнюють малими квадратами із сторонами 10 м у випадку знімань у масштабі 1:500, 20 м – у масштабі 1:1000 і 40 м – у масштабі 1:2000, а вершини цих малих квадратів закріплюють дерев'яними кілками;



- здійснюють планово-висотну прив'язку однієї або будь-яких двох вершин квадратів до пунктів державної геодезичної мережі;
- одночасно з розмічуванням малих квадратів виконують знімання ситуації відомими способами і складають абрис;
- на аркуші паперу накреслюють схему-журнал (журнал-схему), на якій показують квадрати і проставляють їх нумерацію;
- намічають послідовність обходу квадратів при нівелюванні;
- показують станції та їх номери.

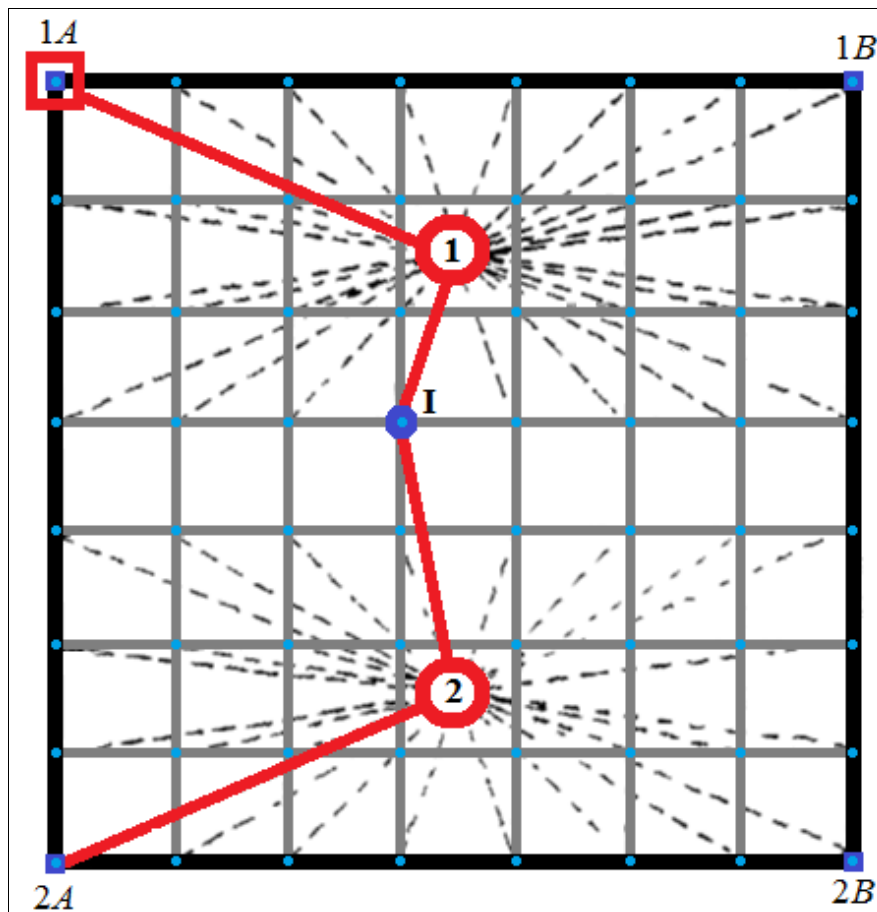


Рисунок 4.1 – Схема нівелювання поверхні по квадратах  
(пояснення позначень наведені нижче у тексті)

На схемі нівелювання вершин малих квадратів (рис. 4.1), розташованих у великому прямокутнику  $1A-1B-2B-2A$  суцільними лініями показаний нівелірний хід  $1A-I-2A$ , який опирається на точки  $1A$  та  $2A$ , позначки яких отримані раніше за результатами висотної прив'язки до реперів державної нівелірної мережі. Точка  $I$  є зв'язочною між станціями 1 та 2, а штрихові лінії – напрями на точки, які нівелювалися з тієї чи іншої станції.

Послідовність обробки результатів нівелювання описана нижче.

1. Обчислюють фактичну нев'язку  $f_h$  (мм) нівелірного ходу 1A-I-2A за формулою:

$$f_h = \sum h - (H_{2A} - H_{1A}), \quad (4.1)$$

де  $h$  – середні перевищення між зв'язуючими точками нівелірного ходу;  
 $H_{1A}$  та  $H_{2A}$  – позначки, відповідно, вершин 1A та 2A, м.

2. Обчислюють граничну нев'язку  $f_{ep}$  (мм) ходу за формулою:

$$f_{ep} = 50 \cdot L^{0,5}, \quad (4.2)$$

де  $L$  – довжина нівелірного ходу 1A-I-2A, км.

3. Якщо  $f_h \leq f_{ep}$ , то, розподіливши фактичну нев'язку з протилежним знаком на середні перевищення, спочатку обчислюють виправлені перевищення, а потім – позначку зв'язуючої точки I нівелірного ходу.

4. Обчислюють горизонти приладу  $ГП_j$  (м) на кожній станції (в наведеному на рис. 4.1 прикладі – це станції 1 і 2) за формулою:

$$ГП_j = H_I + a, \quad (4.3)$$

де  $H_I$  – позначка зв'язуючої точки I, м БС;

$a$  – відлік по нівелірній рейці на точці I, м.

5. Обчислюють позначки  $H_i$  (м) вершин малих квадратів через горизонт приладу за формулою:

$$H_i = ГП_j - c_i, \quad (4.4)$$

де  $c_i$  – відлік по чорній стороні нівелірної рейки на  $i$ -й вершині, м.

6. Способом графічного чи аналітичного інтерполювання будують на плані горизонталі рельєфу.

**Приклад.** Розглянемо результати технічного нівелювання земельної ділянки розміром 100×80 м, на якій розмічені 20 квадратів із сторонами по 20 м (рис. 4.2). Нівелювання виконувалось нівеліром Н-10КЛ і нівелірною рейкою типу РН-10 із станцій 1 і 2. Відліки по рейці, встановленої на вихідному репері з позначкою  $H_{Pn} = 37,046$  м, на станціях 1 і 2 відповідно склали:  $a_1 = 2921$  мм та  $a_2 = 1052$  мм. Відліки по рейці на 2-х зв'язуючих точках 10 і 22 відповідно склали: із станції 1 – 2305 мм та 3345 мм; із станції 2 – 0435 мм та 1474 мм.

Усі відліки по чорній стороні рейки (відліки по червоній стороні не знімали) нанесені на схему-журнал (рис. 4.2).

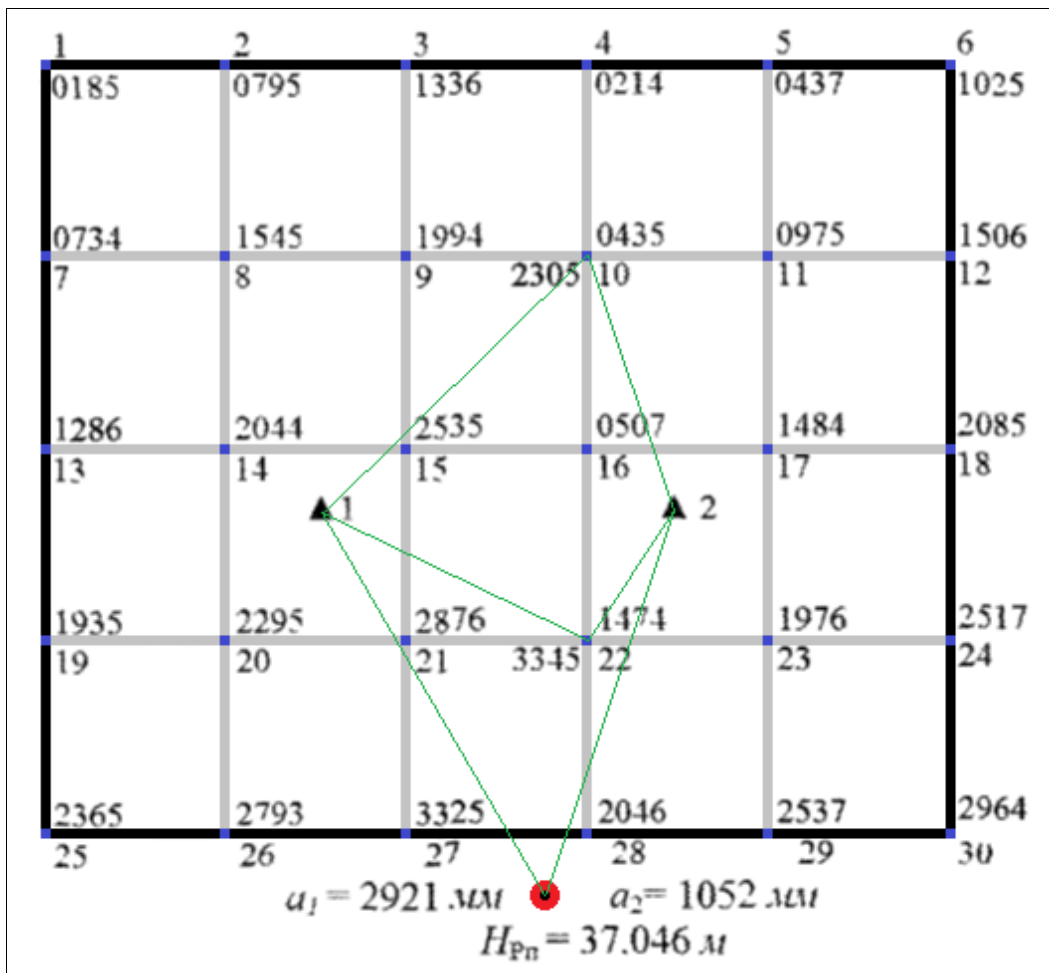


Рисунок 4.2 – Схема-журнал нівелювання по квадратах

#### 4.1.2 Камеральна обробка результатів нівелювання поверхні місцевості способом за квадратами

Камеральні роботи виконуються у послідовності, описаній нижче.

1. За формулою (4.3) обчислюють горизонт приладу  $ГП_1$  на станції 1:  
 $ГП_1 = 37,046 + 2,921 = 39,967 \text{ м}$ .

2. Далі за формулою (4.3) обчислюють горизонт приладу  $ГП_2$  на станції 2:  
 $ГП_2 = 37,046 + 1,052 = 38,098 \text{ м}$ .

3. Здійснюють контроль правильності відліків по рейках на репері та на зв'язуючих точках 10 і 22:

– спочатку знаходять різницю двох горизонтів приладів:

$$ГП_1 - ГП_2 = 39,967 - 38,098 = 1,869 \text{ м};$$

– потім знаходять різниці відліків по рейках на зв'язуючих точках:  
 $2,305 - 0,435 = 1,870$  м – на точці 10;  $3,343 - 1,474 = 1,869$  м – на точці 22;  
 – порівняння розходження різниць складає 1 мм при допуску 5 мм.

4. Обчислюють висоти вершин квадратів (табл. 4.1).

5. Виконують контроль обчислення шляхом порівняння позначок зв'язуючих точок 10 і 22, отриманих за результатами нівелювання із станцій 1 і 2. У наведеному прикладі (табл. 4.1) розходження складає відповідно 1 і 2 мм при допуску 5 мм.

Таблиця 4.1 – Обчислення позначок вершин квадратів, нівельованих із станцій 1 та 2

Станція 1			Станція 2		
$ГП_1 = 37,046 + 2,921 = 39,967$ м			$ГП_2 = 37,046 + 1,052 = 38,098$ м		
Номера точок	$c_i$ , м	$H_i$ , м	Номера точок	$c_i$ , м	$H_i$ , м
1	0,185	39,782	4	0,214	37,884
2	0,795	39,172	5	0,437	37,661
3	1,336	38,631	6	1,025	37,073
7	0,734	39,233	<b>10</b>	0,435	37,663
8	1,545	38,422	11	0,975	37,123
9	1,994	37,973	12	1,506	36,592
<b>10</b>	2,305	37,662	16	0,967	37,131
13	1,286	38,681	17	1,484	36,614
14	2,044	37,923	18	2,085	36,013
15	2,535	37,432	<b>22</b>	1,474	36,624
19	1,935	38,032	23	1,976	36,122
20	2,295	37,672	24	2,517	35,581
21	2,876	37,091	28	2,046	36,052
<b>22</b>	3,345	36,622	29	2,537	35,561
25	2,365	37,602	30	2,964	35,134
26	2,793	37,174			
27	3,325	36,642			

6. Складають топографічний план нівелювання поверхні місцевості за квадратами (рис. 4.3), на якому для зображення рельєфу місцевості наносять горизонталі та за даними абрису – ситуацію (луки, рілля тощо).

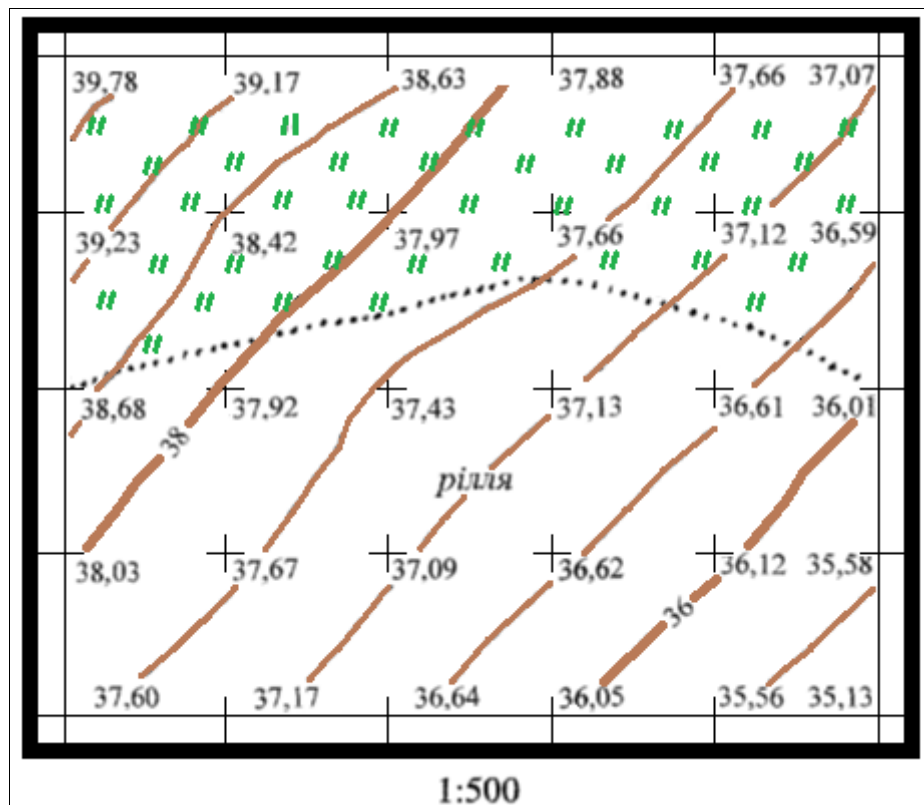


Рисунок 4.3 – Топографічний план нівелювання поверхні за квадратами

Питання для самоперевірки базових знань до пп. 4.1

1. В яких випадках рекомендується застосовують спосіб нівелювання поверхні місцевості за квадратами та яка його мета?
2. Які дію виконують при нівелюванні великих ділянок способом за квадратами?
3. Яким чином виконують обробку результатів нівелювання поверхні за квадратами?
4. Що входить до складу камеральних робіт під час нівелювання поверхні місцевості за квадратами та в якій послідовності їх виконують?
5. Який вигляд має журнал-схема нівелювання поверхні місцевості за квадратами та як і для чого обчислюють висоти його вершин?

## 4.2 Проектування горизонтальної площини з балансом земляних робіт

Вихідні дані: результати геометричного нівелювання поверхні місцевості за квадратами або аналітичного інтерполювання позначок вершин квадратів на топографічному плані місцевості (рис. 4.4).

Завдання: виконати проектування горизонтальної площини з балансом земляних робіт для розміщення забудови і підземних комунікацій, благоустрою, забезпечення транспортних зав'язків та ін., при максимальному збереженні природного середовища і мінімальному переміщенні земляних мас.

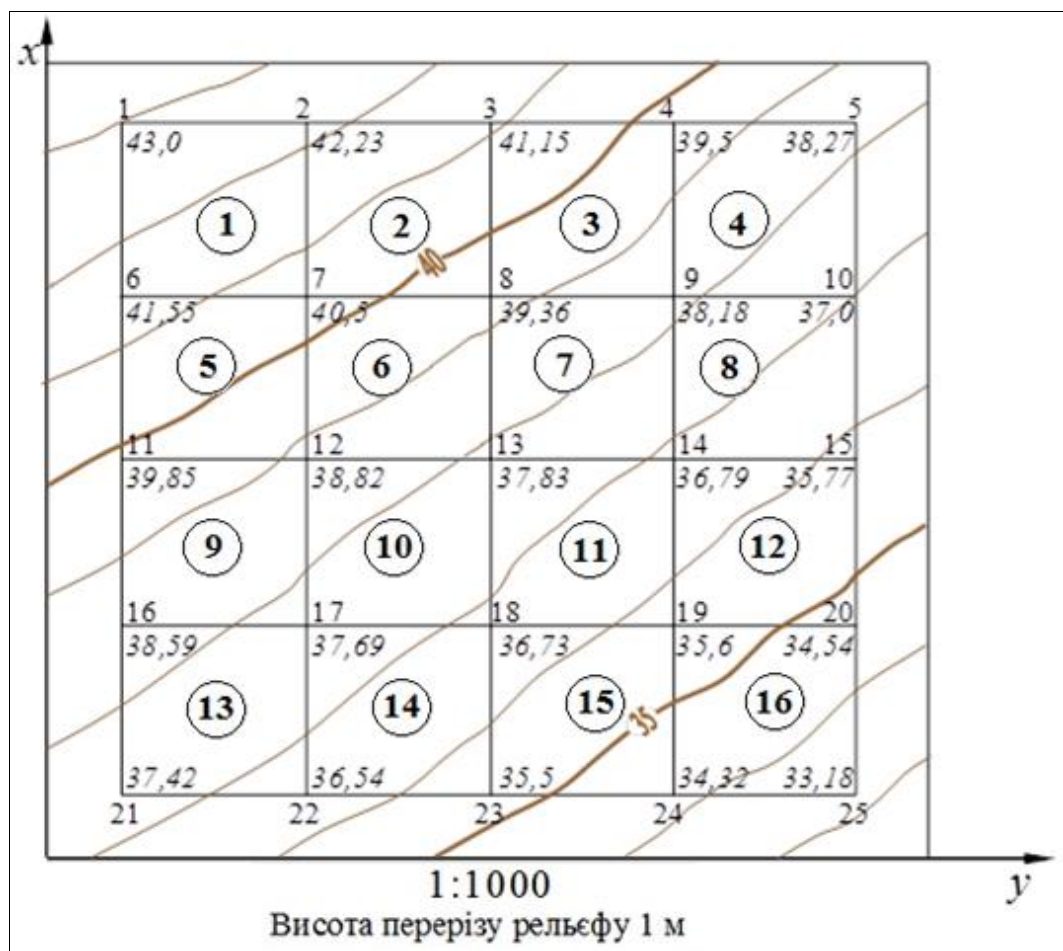


Рисунок 4.4 – Топографічний план ділянки місцевості (1-16 – номери квадратів, які обведені колами)

Етапи виконання проектування описана нижче за текстом.

1. Обчислення проектної позначки горизонтальної площини  $H_{np,0}$  виконується за формулою:

$$H_{np,0} = \frac{\sum H_{\phi}^I + 2\sum H_{\phi}^{II} + 3\sum H_{\phi}^{III} + 4\sum H_{\phi}^{IV}}{4n}, \quad (4.5)$$

де  $\sum H_{\phi}^I, \sum H_{\phi}^{II}, \sum H_{\phi}^{III}, \sum H_{\phi}^{IV}$  – відповідно суми фактичних позначок вершин, які належать лише до одних квадратів, одночасно до двох, трьох та чотирьох квадратів;

$n$  – загальна кількість квадратів.

У наведеному вище прикладі (див. рис. 4.4) лише до одного квадрату належать наступні вершини: 1 (до квадрату **1**), 2 (до квадрату **4**), 21 (до квадрату **13**), 25 (до квадрату **16**).

Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать лише до одних квадратів, дорівнює:

$$\sum H_{\phi}^I = H_1 + H_5 + H_{21} + H_{25} = 43,0 + 38,27 + 37,42 + 33,18 = 151,7 \text{ м.}$$

Одночасно до двох квадратів (рис. 4.4) належать наступні вершини: 2 (до квадратів **1** та **2**), 3 (до квадратів **2** та **3**), 4 (до квадратів **3** та **4**), 6 (до квадратів **1** та **5**), 10 (до квадратів **4** та **8**), 11 (до квадратів **5** та **9**), 15 (до квадратів **8** та **12**), 16 (до квадратів **9** та **13**), 20 (до квадратів **12** та **16**), 22 (до квадратів **13** та **14**), 23 (до квадратів **14** та **15**), 24 (до квадратів **15** та **16**).

Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до двох квадратів, дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum H_{\phi}^{II} &= H_2 + H_3 + H_4 + H_6 + H_{10} + H_{11} + H_{15} + H_{16} + H_{20} + H_{22} + H_{23} + H_{24} = \\ &= 42,23 + 41,15 + 39,5 + 41,55 + 37,0 + 39,85 + 35,77 + 38,59 + 34,54 + 36,54 + 35,5 + \\ &+ 34,32 = 456,54 \text{ м.} \end{aligned}$$

Одночасно до трьох квадратів (рис. 4.4) не належать жодної вершини. Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до трьох квадратів, дорівнює:  $\sum H_{\phi}^{III} = 0 \text{ м.}$

Одночасно до чотирьох квадратів (рис. 4.4) належать наступні вершини: 7 (до квадратів **1, 2, 5, 6**), 8 (до квадратів **2, 3, 6, 7**), 9 (до квадратів **3, 4, 7, 8**), 12 (до квадратів **5, 6, 9, 10**), 13 (до квадратів **6, 7, 10, 11**), 14 (до квадратів **7, 8, 11, 12**), 17 (до квадратів **9, 10, 13, 14**), 18 (до квадратів **10, 11, 14, 15**), 19 (до квадратів **11, 12, 15, 16**).

Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до чотирьох квадратів, дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum H_{\phi}^{IV} &= H_7 + H_8 + H_9 + H_{12} + H_{13} + H_{14} + H_{17} + H_{18} + H_{19} = \\ &= 40,5 + 39,36 + 38,18 + 38,82 + 37,83 + 36,79 + 37,69 + 36,73 + 35,6 = 341,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Далі за формулою (4.5) отримаємо проектну позначку центра ваги площини:

$$H_{np,0} = \frac{151,7 + 2 \cdot 456,54 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 341,5}{4 \cdot 16} = \frac{2430,95}{64} = 37,98 \text{ м.}$$

2. Обчислення робочих позначок  $h_i$  (м) вершин квадратів, при проектуванні похилої площини, виконують за формулою:

$$h_i = H_{np,i} - H_{\phi,i} \quad (4.6)$$

Наприклад, для вершин 1 та 25 робочі позначки будуть, відповідно, дорівнювати:  $h_1 = 37,98 - 43,0 = -5,02$  м та  $h_{25} = 37,98 - 33,18 = +4,80$  м.

Величини робочих позначок записують червоним кольором біля відповідних вершин квадратів на картограмі земляних робіт (рис. 4.5).

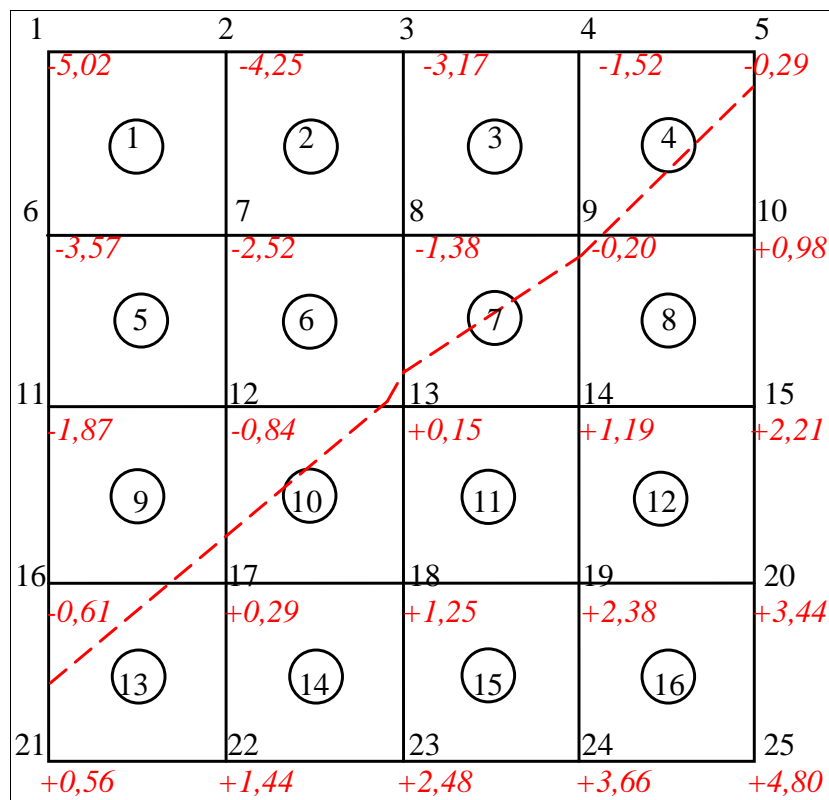


Рисунок 4.5 – Картограма земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини у масштабі 1:1000 (--- лінія нульових робіт)



**3.** Відстані від вершин квадратів до точок нульових робіт  $x_i$  та  $x_j$ , які розташовані на сторонах квадратів між вершинами  $i$  та  $j$  з додатними і від'ємними позначками, обчислюються за формулами:

$$x_i = \frac{|\pm h_i|}{|\pm h_i| + |\pm h_j|} \cdot d \quad \text{та} \quad x_j = \frac{|\pm h_j|}{|\pm h_j| + |\pm h_i|} \cdot d, \quad (4.7)$$

де  $h_i, h_j$  – відповідно робочі позначки суміжних вершин  $i$  та  $j$  квадрата, м;  
 $d$  – довжина сторони квадрата, м.

Наприклад, відстані до точки нульових робіт на стороні квадрату 5-10 від вершин 5 та 10, відповідно, складають:

$$x_5 = \frac{|-0,29|}{|-0,29| + |+0,98|} \cdot 20 = 4,57 \text{ м} \quad \text{та} \quad x_{10} = \frac{|+0,98|}{|+0,98| + |-0,29|} \cdot 20 = 15,43 \text{ м}.$$

Контроль правильності обчислень:  $x_5 + x_{10} = 4,57 + 15,43 = 20$  м.

Далі на відповідних сторонах квадратів позначають точки нульових робіт і шляхом їх з'єднання прямими штриховими лініями отримують межу між виїмкою та насипом (рис. 4.5).

**4.** Обчислення об'ємів земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини (див. табл. 4.2) виконується за формулами:

$$V_B = \frac{(\sum -h)^2}{\sum |h|} \cdot \frac{S}{4} \quad \text{та} \quad V_H = \frac{(\sum +h)^2}{\sum |h|} \cdot \frac{S}{4}, \quad (4.8)$$

де  $V_B, V_H$  – відповідно об'єми виїмки та насипу, м<sup>3</sup>;

$\sum -h, \sum +h$  – відповідно суми від'ємних і додатних робочих позначок даного квадрата, м;

$\sum |h|$  – сума робочих позначок даного квадрата без урахування знаків, м;

$S$  – площа квадрата, м<sup>2</sup>.

**5.** Обчислення похибки розрахунку об'ємів земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини виконують за формулою:

$$\Delta V \% = \frac{|V_B - V_H|}{V_B + V_H} \cdot 100 \% \leq 5\%. \quad (4.9)$$

У прикладі похибка визначення об'ємів земляних робіт склала:

$$\Delta V \% = \frac{|5201,99 - 5178,99|}{5201,99 + 5178,99} \cdot 100 \% = \frac{23,00}{10380,98} \cdot 100 \% = 0,22 \% < 5\%.$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок об’ємів земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини

Номер квадрату	$(\sum -h)^2$ , виїмка	$(\sum +h)^2$ , насип	$\sum  h $	$\frac{S}{4}$	Об’єми земляних робіт, м <sup>3</sup>	
					виїмка (-)	насип (+)
1	235,9296	-	15,36	100	1536,00	-
2	128,1424	-	11,32	100	1132,00	-
3	39,3129	-	6,27	100	627,00	-
4	4,0401	0,9604	2,99	100	135,12	32,12
5	77,4400	-	8,80	100	880,00	-
6	22,4676	0,0225	4,89	100	459,46	0,46
7	2,4964	1,7956	2,92	100	85,49	61,49
8	0,0400	19,1844	4,58	100	0,87	418,87
9	11,0224	0,0841	3,61	100	305,33	2,33
10	0,7056	2,8561	2,53	100	27,89	112,89
11	-	24,7009	4,97	100	-	497,00
12	-	85,0084	9,22	100	-	922,00
13	0,3721	5,2441	2,90	100	12,83	180,83
14	-	29,8116	5,46	100	-	546,00
15	-	95,4529	9,77	100	-	977,00
16	-	203,9184	14,28	100	-	1428,00
Разом:					5201,99	5178,99

Питання для самоперевірки базових знань до пп. 4.2

1. Які вихідні дані потрібні для проектування горизонтальної площини з балансом земляних робіт та яке завдання цієї робота?
2. За якими формулами виконують обчислення проектної позначки горизонтальної площини та робочих позначок вершин квадратів?
3. Яким чином обчислюють і позначають відстані від вершин квадратів до точок нульових робіт та як отримують і позначають на картограмі земляних робіт межу між виїмкою та насипом?
4. З використанням яких формул обчислюють об’єми земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини та як оформлюють результатів цих підрахунків?
5. Як обчислюється похибка підрахунку об’ємів земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини?

### 4.3 Проектування похилої площини

Вихідні дані: результати геометричного нівелювання поверхні місцевості за квадратами або аналітичного інтерполювання позначок вершин квадратів на топографічному плані місцевості (рис. 4.6), проектний ухил похилої площини  $i_{np}$  (наприклад,  $i_{np} = 0,087$ ), дирекційний кут напряму проектного ухилу  $\alpha_{np}$  (наприклад,  $\alpha_{np} = 143^\circ$ ).

Завдання: виконати проектування похилої площини для розміщення забудови і підземних комунікацій, благоустрою, забезпечення транспортних зав'язків та ін., при максимальному збереженні природного середовища і мінімальному переміщенні земляних мас.

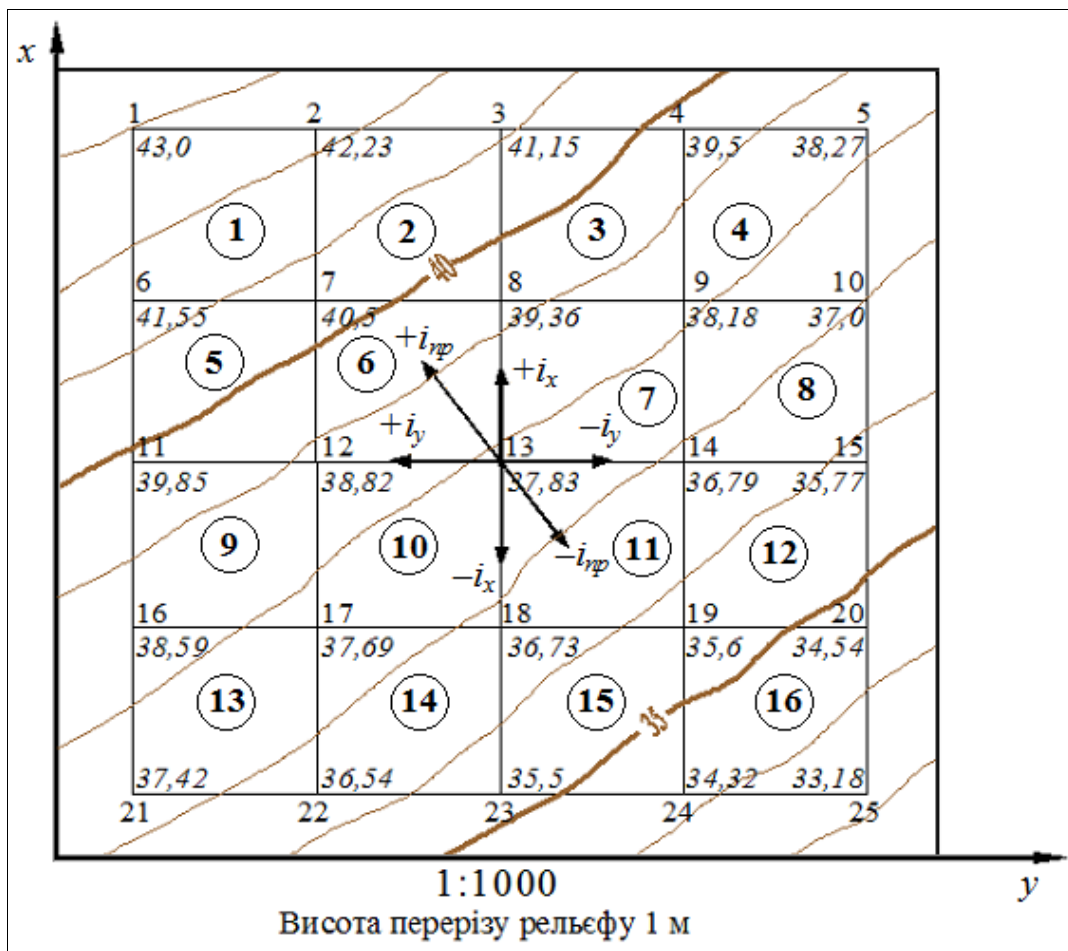


Рисунок 4.6 – Топографічний план з позначенням наряду проектного ухилу (1-16 – номери квадратів, які обведені колами)

Етапи виконання проектування описана нижче за текстом.

1. Обчислення проектної позначки центра ваги похилої площини  $H_{np,0}$  (у прикладі на рис. 4.6 – це вершина 13) виконується за формулою (4.5), як і при проектуванні горизонтальної площини.

У наведеному вище прикладі (див. рис. 4.6) лише до одного квадрату належать наступні вершини: 1 (до квадрату **1**), 2 (до квадрату **4**), 21 (до квадрату **13**), 25 (до квадрату **16**).

Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать лише до одних квадратів, дорівнює:

$$\sum H_{\phi}^I = H_1 + H_5 + H_{21} + H_{25} = 43,0 + 38,27 + 37,42 + 33,18 = 151,7 \text{ м.}$$

Одночасно до двох квадратів (рис. 4.6) належать наступні вершини: 2 (до квадратів **1** та **2**), 3 (до квадратів **2** та **3**), 4 (до квадратів **3** та **4**), 6 (до квадратів **1** та **5**), 10 (до квадратів **4** та **8**), 11 (до квадратів **5** та **9**), 15 (до квадратів **8** та **12**), 16 (до квадратів **9** та **13**), 20 (до квадратів **12** та **16**), 22 (до квадратів **13** та **14**), 23 (до квадратів **14** та **15**), 24 (до квадратів **15** та **16**).

Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до двох квадратів, дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum H_{\phi}^{II} &= H_2 + H_3 + H_4 + H_6 + H_{10} + H_{11} + H_{15} + H_{16} + H_{20} + H_{22} + H_{23} + H_{24} = \\ &= 42,23 + 41,15 + 39,5 + 41,55 + 37,0 + 39,85 + 35,77 + 38,59 + 34,54 + 36,54 + 35,5 + \\ &+ 34,32 = 456,54 \text{ м.} \end{aligned}$$

Одночасно до трьох квадратів (рис. 4.6) не належать жодної вершини. Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до трьох квадратів, дорівнює:  $\sum H_{\phi}^{III} = 0 \text{ м.}$

Одночасно до чотирьох квадратів (рис. 4.6) належать наступні вершини: 7 (до квадратів **1**, **2**, **5**, **6**), 8 (до квадратів **2**, **3**, **6**, **7**), 9 (до квадратів **3**, **4**, **7**, **8**), 12 (до квадратів **5**, **6**, **9**, **10**), 13 (до квадратів **6**, **7**, **10**, **11**), 14 (до квадратів **7**, **8**, **11**, **12**), 17 (до квадратів **9**, **10**, **13**, **14**), 18 (до квадратів **10**, **11**, **14**, **15**), 19 (до квадратів **11**, **12**, **15**, **16**). Отже, сума фактичних позначок вершин, які належать одночасно до чотирьох квадратів, дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum H_{\phi}^{IV} &= H_7 + H_8 + H_9 + H_{12} + H_{13} + H_{14} + H_{17} + H_{18} + H_{19} = \\ &= 40,5 + 39,36 + 38,18 + 38,82 + 37,83 + 36,79 + 37,69 + 36,73 + 35,6 = 341,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Далі за формулою (4.5) отримаємо проектну позначку центра ваги площини:

$$H_{np,0} = \frac{151,7 + 2 \cdot 456,54 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 341,5}{4 \cdot 16} = \frac{2430,95}{64} = 37,98 \text{ м.}$$

2. Обчислення проектних ухилів  $i_x$  та  $i_y$  уздовж умовних осей  $x$  і  $y$  (рис. 4.6) виконується за формулами:

$$i_x = \pm i_n \cdot \cos \alpha_n \quad \text{та} \quad i_y = \pm i_n \cdot \sin \alpha_n, \quad (4.10)$$

де  $i_n$  – проектний ухил похилої площини;

$\alpha_n$  – дирекційний кут напряму проектного ухилу.

У даному прикладі проектні ухили  $i_x$  та  $i_y$  уздовж умовних осей  $x$  і  $y$  дорівнюють:  $i_x = \pm 0,087 \cdot \cos 143^\circ = \pm 0,069$  та  $i_y = \pm 0,087 \cdot \sin 143^\circ = \pm 0,052$ .

3. Обчислення проектних перевищень  $h_x$  та  $h_y$  між сусідніми вершинами квадратів по осях  $x$  і  $y$  виконується за формулами:

$$h_x = \pm i_x \cdot d \quad \text{та} \quad h_y = \pm i_y \cdot d, \quad (4.11)$$

де  $d$  – довжина сторони квадрата, м.

Для наведеного прикладу (рис. 4.6) проектні перевищення  $h_x$  та  $h_y$  між сусідніми вершинами квадратів по осях  $x$  і  $y$ , відповідно, дорівнюють:

$$h_x = \pm 0,069 \cdot 20 = \pm 1,38 \text{ м} \quad \text{та} \quad h_y = \pm 0,052 \cdot 20 = \pm 1,04 \text{ м}.$$

4. Обчислення проектних позначок вершин квадратів  $H_{np,i}$  виконується шляхом послідовного додавання до проектної позначки  $H_{np,0}$  центра ваги площини (для наведеного на рис. 4.6 прикладу – це вершина 13) проектних перевищень  $h_x$  та  $h_y$  з урахуванням їх знаків (див. рис. 4.6) та може бути здійснено за формулою:

$$H_{np,i} = H_{np,0} \pm n \cdot h_x \pm m \cdot h_y, \quad (4.12)$$

де  $n$  та  $m$  – відповідно кількість квадратів по осях  $x$  та  $y$  від центра ваги площини (у наведеному на рис. 4.6 прикладі – це вершина 13) до вершини квадрату, для якої обчислюється проектна позначка.

Наприклад, проектні позначки вершин 9, 5, 8, 3, 18, 23, 7, 6, відповідно, будуть дорівнювати (для прикладу на рис. 4.6 –  $H_{np,13} = H_{np,0} = 37,98$  м):

$$H_{np,9} = H_{np,13} + h_x - h_y = 37,98 + 1,38 - 1,04 = 38,32 \text{ м};$$

$$H_{np,5} = H_{np,13} + 2 \cdot h_x - 2 \cdot h_y = 37,98 + 2 \cdot 1,38 - 2 \cdot 1,04 = 38,66 \text{ м};$$

$$H_{np,8} = H_{np,13} + h_x = 37,98 + 1,38 = 39,36 \text{ м};$$

$$H_{np,3} = H_{np,13} + 2 \cdot h_x = 37,98 + 2 \cdot 1,38 = 40,74 \text{ м};$$

$$H_{np,18} = H_{np,13} - h_x = 37,98 - 1,38 = 36,60 \text{ м};$$

$$H_{np,23} = H_{np,13} - 2 \cdot h_x = 37,98 - 2 \cdot 1,38 = 35,22 \text{ м};$$

$$H_{np,7} = H_{np,13} + h_x + h_y = 37,98 + 1,38 + 1,04 = 40,40 \text{ м};$$

$$H_{np,6} = H_{np,13} + h_x + 2 \cdot h_y = 37,98 + 1,38 + 2 \cdot 1,04 = 41,44 \text{ м}.$$

5. Обчислення робочих позначок  $h_i$  (м) вершин квадратів, при проектуванні похилої площини, виконують за формулою (4.6), як і при проектуванні горизонтальної площини.

Наприклад, для вершин 3 та 9 робочі позначки будуть, відповідно, дорівнювати:  $h_3 = 40,74 - 41,15 = -0,41$  м та  $h_9 = 38,32 - 38,18 = +0,14$  м.

Величини робочих позначок записують червоним кольором біля вершин квадратів на картограмі земляних робіт (рис. 4.7).

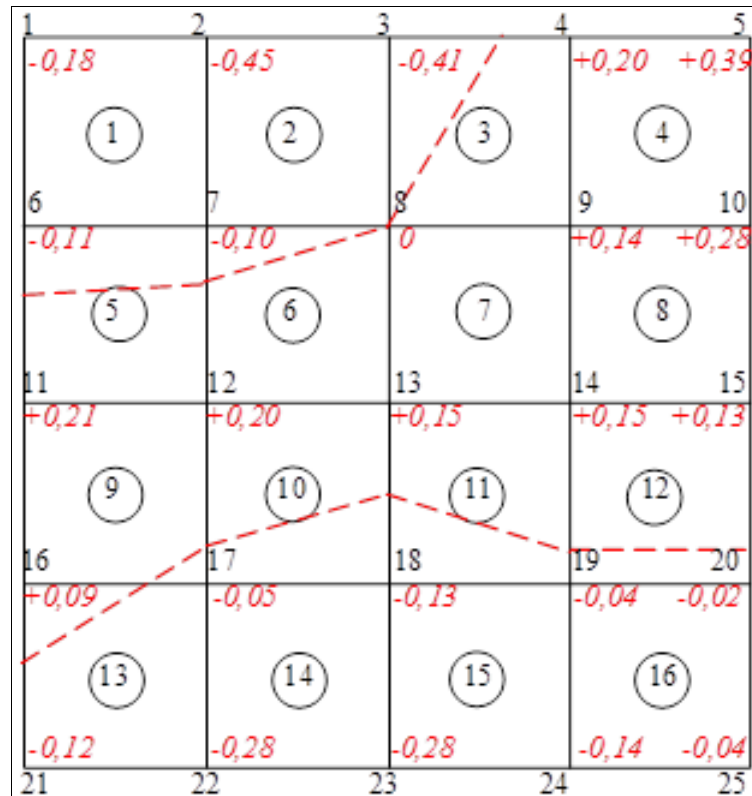


Рисунок 4.7 – Картограма земляних робіт при проектуванні похилої площини у масштабі 1:1000 (--- лінії нульових робіт)

6. Відстані від вершин квадратів до точок нульових робіт  $x_i$  та  $x_j$ , які розташовані на сторонах квадратів між вершинами  $i$  та  $j$  з додатними і від’ємними позначками, обчислюються за формулою (4.7), як і при проектуванні горизонтальної площини.

Наприклад, відстані до точки нульових робіт на стороні квадрату 14-19 від вершин 14 та 19, відповідно, складають:

$$x_{14} = \frac{|+0,15|}{|+0,15| + |-0,04|} \cdot 20 = 15,79 \text{ м} \quad \text{та} \quad x_{19} = \frac{|-0,04|}{|-0,04| + |+0,15|} \cdot 20 = 4,21 \text{ м.}$$

Контроль правильності обчислень:  $x_{14} + x_{19} = 15,79 + 4,21 = 20$  м.

Далі на відповідних сторонах квадратів позначають точки нульових робіт і шляхом їх з'єднання прямими штриховими лініями отримують межу між виїмкою та насипом (рис. 4.7).

7. Обчислення об'ємів земляних робіт при проектуванні похилої площини (див. табл. 4.3) виконується за формулою (4.8), як і при проектуванні горизонтальної площини.

8. Обчислення похибки розрахунку об'ємів земляних робіт при проектуванні похилої площини виконують за формулою (4.9), як і при проектуванні горизонтальної площини.

У прикладі похибка визначення об'ємів земляних робіт склала:

$$\Delta V\% = \frac{|420,01 - 397,01|}{420,01 + 397,01} \cdot 100\% = \frac{23,00}{817,02} \cdot 100\% = 2,81\% < 5\%.$$

Таблиця 4.3 – Розрахунок об'ємів земляних робіт при проектуванні похилої площини

Номер квадрату	$(\sum -h)^2$ , виїмка	$(\sum +h)^2$ , насип	$\sum  h $	$\frac{S}{4}$	Об'єми земляних робіт, м <sup>3</sup>	
					виїмка (-)	насип (+)
1	0,7056	-	0,84	100	84,00	-
2	0,9216	-	0,96	100	96,00	-
3	0,1681	0,1156	0,75	100	22,41	15,41
4	-	1,0201	1,01	100	-	101,00
5	0,0441	0,1681	0,62	100	7,11	27,11
6	0,0100	0,1225	0,45	100	2,22	27,22
7	-	0,1936	0,44	100	-	44,00
8	-	0,4900	0,70	100	-	70,00
9	0,0025	0,2500	0,55	100	0,45	45,45
10	0,0324	0,1225	0,53	100	6,11	23,11
11	0,0289	0,0900	0,47	100	6,15	19,15
12	0,0036	0,0784	0,34	100	1,06	23,06
13	0,2025	0,0081	0,54	100	37,50	1,50
14	0,5476	-	0,74	100	74,00	-
15	0,3481	-	0,59	100	59,00	-
16	0,0576	-	0,24	100	24,00	-
Разом:					420,01	397,01

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 4.3

1. Які вихідні дані потрібні для проектування похилої площини з балансом земляних робіт та яке завдання цієї роботи?
2. За якими формулами обчислюють проектні ухили уздовж умовних осей  $x$  і  $y$  та проектні перевищення між сусідніми вершинами квадратів на цих осях?
3. Яким чином обчислюють та позначають на картограмі земляних робіт проектні висоти і робочі позначки усіх вершин квадратів?
4. З використанням яких формул обчислюються і як позначаються на сторонах квадратів картограми земляних робіт відстані від вершин квадратів до точок нульових робіт та як визначають і позначають межу між виїмкою та насипом?
5. Як виглядає таблиця і формули для обчислення об'ємів земляних робіт при проектуванні похилої площини та яким чином визначають похибку їх підрахунку?

### *Питання для самоперевірки до теми № 4*

1. Який вигляд має журнал-схема нівелювання поверхні місцевості за квадратами та як і для чого обчислюють висоти його вершин?
2. За якими формулами виконують обчислення проектної позначки горизонтальної площини та робочих позначок вершин квадратів?
3. З використанням яких формул обчислюють об'єми земляних робіт при проектуванні горизонтальної площини та як оформлюють результатів цих підрахунків?
4. За якими формулами обчислюють проектні ухили уздовж умовних осей  $x$  і  $y$  та проектні перевищення між сусідніми вершинами квадратів на цих осях?
5. Яким чином обчислюють та позначають на картограмі земляних робіт проектні висоти і робочі позначки усіх вершин квадратів?



## 5 ВІНОС В НАТУРУ ПРОЕКТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБ'ЄКТА ТА ПЕРЕДАЧА І КОНТРОЛЬ ПРОЕКТНИХ ПОЗНАЧОК ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ

У даній темі наведений комплекс геодезичних робіт і порядок виконання основних інженерно-геодезичних задач стосовно підготовки і переносу проекту в природу на різних етапах будівництва (у тому числі, проектної позначки, проектної похилої лінії, геодезичного об'єкта та/або кутової точки будівельної сітки).

### 5.1 Розрахунок виносу в природу проектної позначки

Суть даної задачі полягає у відшукуванні на поверхні землі (під або над нею) чи на будівельних конструкціях проектної позначки будь-якої точки, положення в плані якої вже відоме. Схема виносу в природу проектної позначки геодезичної розмічувальної сітки показана на рис. 5.1.

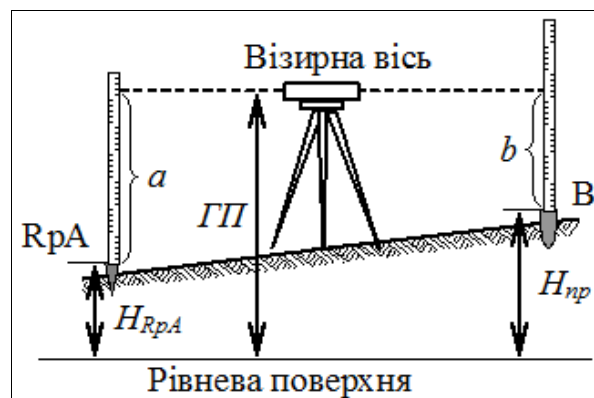


Рисунок 5.1 – Схема виносу в природу проектної позначки  $H_{np}$

Нижче надано опис умов забезпечення точності висотних вимірів і порядок дій на станції при виносі в природу проектної позначки геодезичної розмічувальної сітки.

#### 1. Умови забезпечення точності висотних вимірів при виносі в природу проектної позначки геодезичної розмічувальної сітки.

1.1. З урахуванням характеристики об'єкту будівництва визначається середня квадратична похибка визначення перевищень на 1 км подвійного ходу (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Умови забезпечення точності (середня квадратична похибка) висотних вимірювань при виносі в натуру проектної позначки геодезичної розмічувальної будівельної сітки

№ п/п	Характеристика об'єкту будівництва	Середня квадратична похибка нівелювання на 1 км подвійного ходу, мм
1	2	3
1	Підприємства і споруди на ділянках площею більше ніж 1 км <sup>2</sup> та/або окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови понад 100 га	±3 мм
2	Підприємства і споруди на ділянках площею менше ніж 1 км <sup>2</sup> та/або окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови від 10 га до 100 га	±5 мм
3	Окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови менше ніж 10000 м <sup>2</sup> та/або дороги, інженерні комунікації в межах територій, що забудовуються	±10 мм
4	Дороги, інженерні комунікації територій, які не забудовуються та/або земляні споруди, а також вертикальне планування	±20 мм

1.2. З урахуванням середньої квадратичної похибки визначення перевищень на 1 км подвійного ходу визначаються умови забезпечення точності висотних вимірів (див. табл. 5.2):

- нерівність пліч на станції, м;
- висота візирного променя над перешкодою, м;
- типи нівелірів (згідно з ГОСТ 10528-76);
- типи нівелірних рейок (згідно з ГОСТ 10528-90).

Таблиця 5.2 – Умови забезпечення точності висотних вимірів

№ п/п	Умови вимірювань та типи приладів	Середня квадратична похибка визначення перевищення на станції, мм			
		1 мм	2-3 мм	5 мм	10 мм
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	Нерівність плечей на станції, м	≤4 м	≤7 м	≤10 м	≤15 м
2	Висота візирного променя над перешкодою, м	≤0,3 м	≤0,2 м		
3	Типи нівелірів	Н-05 та/або його модифікації	Н-3 та/або його модифікації	Н-10 та/або його модифікації	
4	Типи рейок нівелірних для нівелірів	РН-05	РН-3	РН-10	
5	Типи лазерних мірних приладів	–	–	ПІЛ-1 (ТУ ОДО.397.202); ЛВ-5М (ТУ 2.787.001); УКЛ-1 (ТУ ЛУ ШФ2.404.000)	
6	Типи рейок для лазерних мірних приладів	–	–	Рейка з фотоприймачем та/або рейка нівелірна РН-3 для ЛВ-5М	

## 2. Порядок дій на станції.

2.1. Визначають вихідні дані:

- позначку репера (геодезичного пункту),  $H_{RpA}$ ;
- проектну позначку точки виносу,  $H_{np}$ .

2.2. Беруть відлік  $a$  по чорній стороні рейки на репері  $A$  (рис. 5.1).

2.3. Обчислюють горизонт приладу,  $ГП$ :

$$ГП = H_{RpA} + a. \quad (5.1)$$

2.4. Обчислюють проектний відлік по рейці  $v$  на точці виносу  $B$ :

$$v = GP - H_{np}. \quad (5.2)$$

2.5. Установлюють рейку на точці виносу  $B$  з проектним відліком  $v$  (рис. 5.1). Після цього здійснюють закріплення цієї точки геодезичної розмічувальної сітки на місцевості або на будівельних конструкціях.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 5.1

1. У чому полягає суть задачі виносу в натуру проектної позначки?
2. Як виглядає схема виносу в натуру проектної позначки?
3. Які умови забезпечення точності висотних вимірів при виносі в натуру проектної позначки геодезичної розмічувальної сітки?
4. Який порядок дій на станції під час виносу в натуру проектної позначки?
5. За якою формулою обчислюють проектний відлік по рейці на точці виносу?

### **5.2 Передача позначки на дно котловану та на монтажний горизонт**

При будівництві високих споруд виникає потреба передачі позначки від будівельного репера на монтажний горизонт (рис. 5.2, а). Також, часто є потреба у періодичному контролі позначки дна котловану, наприклад, у процесі проведення земляних робіт по мірі поглиблення котловану, щоб не допустити перебір (зайву виїмку) ґрунту з його дна (рис. 5.2, б).

Нижче надано опис умов забезпечення точності передачі позначок на монтажний горизонт (на дно котловану) і порядок дій на станції.

#### **1. Умови забезпечення точності передачі позначок** (див. табл. 5.3).

- 1.1. Середня квадратична похибка передачі позначки на монтажний горизонт (на дно котловану) відносно вихідної позначки, м.
- 1.2. Висота монтажного горизонту (глибини котловану), м.
- 1.3. Допустима нерівність пліч на станції, м.
- 1.4. Допустима висота візирного променя над перешкодою, м.
- 1.5. Методика роботи (взяття відліків).
- 1.6. Типи нівелірів та рейок.
- 1.7. Типи рулеток.
- 1.8. Необхідний натяг рулеток,  $H$  (кгс).

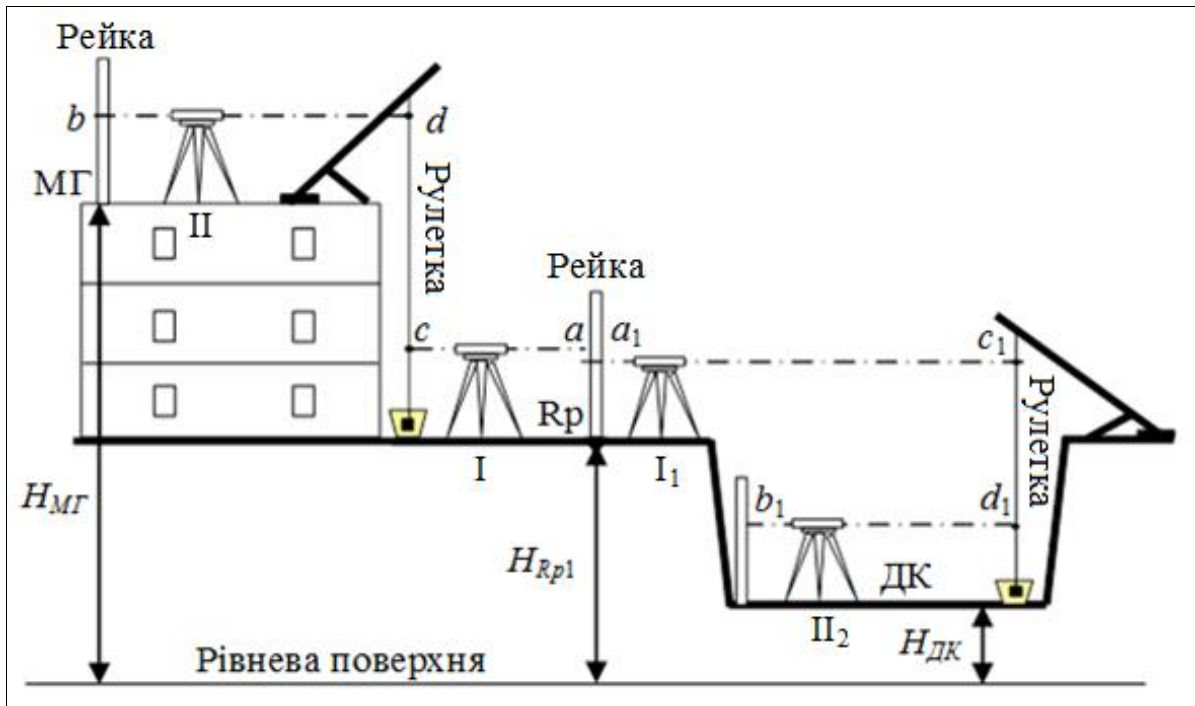


Рисунок 5.2 – Схема передачі позначки на монтажний горизонт (МГ) та на дно котловану (ДК)

## 2. Порядок дій на станціях.

2.1. Визначають позначку репера (геодезичного пункту),  $H_{Rp1}$ .

2.2. Встановлюють нівелір на станції I ( $I_1$ ) і знімають наступні відліки:  $a$  ( $a_1$ ) – по рейці, встановленій на репері;  $c$  ( $c_1$ ) – по рулетці, яка підвішена так, що нуль рулетки знаходиться в точці закріплення зверху (рис. 5.2).

2.3. Встановлюють нівелір на станції II ( $II_2$ ) і знімають наступні відліки:  $b$  ( $b_1$ ) – по рейці, встановленій на монтажному горизонті (на дні котловану);  $d$  ( $d_1$ ) – по рулетці, яка раніше вже була підвішена так, що нуль рулетки знаходиться в точці закріплення зверху (рис. 5.2).

2.4. Позначку  $H_{MG}$  монтажного горизонту обчислюють за формулою:

$$H_{MG} = H_{Rp1} + (a - b) + (c - d). \quad (5.3)$$

2.5. Позначку  $H_{DK}$  дна котловану обчислюють за формулою:

$$H_{DK} = H_{Rp1} + (a_1 - b_1) - (d_1 - c_1). \quad (5.4)$$

Таблиця 5.3 – Умови забезпечення точності передачі позначки на монтажний горизонт (на дно котловану)

№ п/п	Умови вимірювань та типи приладів	Середня квадратична похибка передачі позначки на монтажний горизонт (на дно котловану) відносно вихідної позначки, мм			
		3 мм	4 мм	5 мм	6 мм
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	Висота монтажного горизонту, м	≤15 м	16-60 м	61-100 м	101-120 м
2	Нерівність плечей на станції, м	≤5 м			
3	Висота візирного променя над перешкодою, м	≤0,2 м			≤0,3 м
4	Методика роботи (взяття відліків)	Взяття відліку на репері, а потім на монтажному горизонті (на дні котловану)	Одночасне взяття відліків на репері та на монтажному горизонті (на дні котловану)		
5	Типи нівелірів та рейок	Н-3 та/або його модифікації, РН-3			Н-05 та/або його модифікації, РН-05
6	Типи рулеток	ВПК2-20 АНТ/1, ВПК2-30 АНТ/1, ВПК2-50 АНТ/2			
7	Натяг рулеток, Н (кгс)	100 Н (10 кгс)			

Питання для самоперевірки базових знань до пп. 5.2

1. В яких випадках виникає потреба передачі позначки від будівельного репера на монтажний горизонт та/або на дно котловану?

2. Який вигляд має схема передачі позначки на монтажний горизонт та в котлован?

3. Що включають умови забезпечення точності передачі позначок?
4. Який порядок дій на станціях під час передачі позначки від будівельного репера на монтажний горизонт та/або на дно котловану?
5. Яким чином підвішується рулетка в точці закріплення під час передачі позначки від будівельного репера на монтажний горизонт та/або на дно котловану?

### 5.3 Розбивка на місцевості проектної похилої лінії

Нижче (див. рис. 5.3) показана схема та надано опис послідовності розмічування на місцевості проектної похилої лінії.

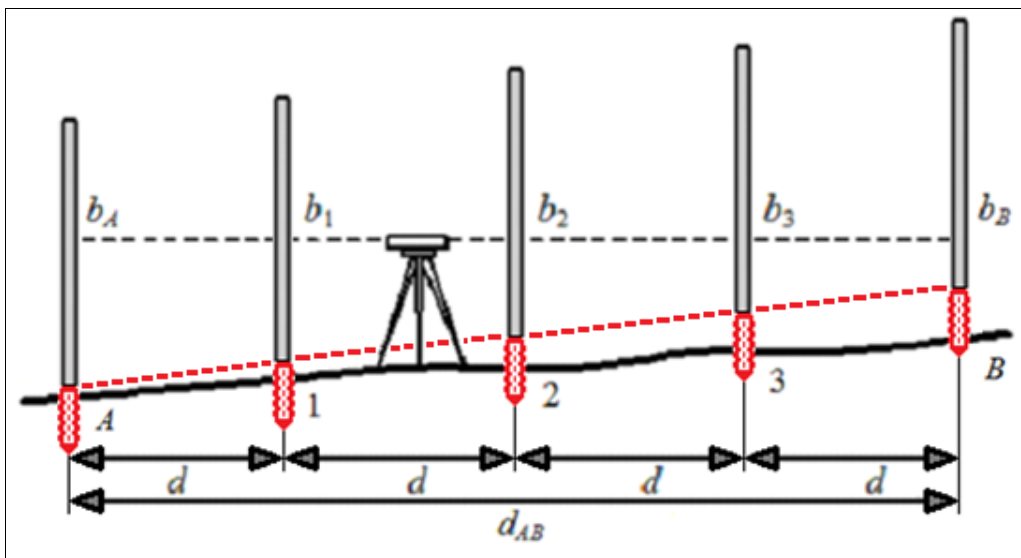


Рисунок 5.3 – Приклад схеми розмічування (розбивки) на місцевості проектної похилої лінії

Етапи і послідовність дій щодо розмічування (розбивки) на місцевості проектної похилої лінії описана нижче.

#### 1. Визначення вихідних даних.

1.1. Визначається проектна позначка точки  $A$ :  $H_A^{np}$ , м.

1.2. Визначається проектна позначка точки  $B$ :  $H_B^{np}$ , м.

1.3. Проектний уклон  $i_{np}$  похилої лінії обчислюється за формулою:

$$i_{np} = \frac{H_B^{np} - H_A^{np}}{d_{AB}}. \quad (5.5)$$

$d_{AB}$  – довжина між точками точки  $A$  та  $B$ , м.

1.4. Розраховується довжина  $d$  (м) інтервалів за формулою:

$$d = d_{AB} / n, \quad (5.6)$$

де  $n$  – задане число інтервалів.

## 2. Порядок дій на станції.

2.1. Після виносу в натуру проектної позначки  $A$  і встановлення нівеліру між точками  $A$  та  $B$ , беруть відлік  $b_A$  по чорній стороні рейки, встановленій в проектній точці  $A$ .

2.2. Обчислюють проектні відліки  $b_1, b_2, b_3$  та  $b_B$  по чорній стороні рейки відповідно в точках 1, 2, 3 та  $B$  (рис. 6.1):

$$\begin{aligned} b_1 &= b_A + 1000 \cdot i_{np} \cdot d; \\ b_2 &= b_1 + 1000 \cdot i_{np} \cdot d; \\ b_3 &= b_2 + 1000 \cdot i_{np} \cdot d; \\ b_B &= b_3 + 1000 \cdot i_{np} \cdot d. \end{aligned} \quad (5.7)$$

де 1000 – перевідний коефіцієнт з метрів у міліметри.

2.3. Установлюють рейку в точках 1, 2, 3 та  $B$  (рис. 6.1) відповідно з проектними відліками  $b_1, b_2, b_3$  та  $b_B$  і закріплюють ці точки на місцевості.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 5.3

1. Який вигляд має схема розмічування на місцевості проектної похилої лінії?
2. Визначення яких вихідних даних необхідне для розмічування на місцевості проектної похилої лінії?
3. Що включає порядок дій на станції під час розбивки на місцевості проектної похилої лінії?
4. За якою формулою визначають проектний уклон похилої лінії?
5. Як обчислюють проектні відліки по рейках в точках під час розбивки на місцевості проектної похилої лінії?



#### 5.4 Розрахунок виносу в натуру геодезичного об'єкта

До складу геодезичних робіт, що виконуються на будівельному майданчику, входить, серед іншого, створення геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика для винесення в натуру основних або головних розмічувальних осей будівель і споруд поза межами будівельного майданчика, побудови зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі.

У залежності від необхідної точності виносу в натуру точок проекту, їх розміщення відносно пунктів існуючої геодезичної мережі та наявності геодезичних приладів, визначають спосіб виконання розмічувальних робіт (способом кутової засічки або способом полярних координат). Після цього розраховують розмічувальні елементи і складають розмічувальне креслення (схему) на кожний вид розмічувальних робіт.

Вихідними даними для розрахунку виносу в натуру геодезичного об'єкта є вихідні координати  $x_i$  і  $y_i$  опорних геодезичних пунктів **pp I** та **pp II**, а також, визначені графічно з топографічного плану, координати кутової точки будівельної сітки **A1** (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Координати  $x_i$  і  $y_i$  опорних геодезичних пунктів **pp I** та **pp II** і кутової точки будівельної сітки **A1**

Позначення точок	Координати точок, м	
	$x_i$	$y_i$
<b>I</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>pp I</b>	181,470	393,760
<b>pp II</b>	192,799	480,987
<b>A1</b>	153,420	439,990

Основним завданням розрахунку виносу в натуру геодезичного об'єкта є обчислення за вибраним способом розмічувальних елементів, до яких належать горизонтальні кути  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  і  $\gamma$  та відстані (довжини ліній)  $d_1$ ,  $d_2$  і  $d_2$  між опорними (**pp I** і **pp II**) та шуканими на місцевості (**A1**) кутовими точками (рис. 5.4).

Етапи розрахунку виносу в натуру геодезичного об'єкта описані нижче.

1. Для одержання розмічувальних елементів планового розмічування способом полярних координат (горизонтальних кутів і довжин ліній) спочатку, за відомими координатами  $x_i$  і  $y_i$  двох опорних геодезичних пунктів **pp I** та **pp II** і кутової точки будівельної сітки A1 (табл. 5.4), шляхом вирішення оберненої геодезичної задачі обчислюють довжини ліній та їх дирекційні кути (табл. 5.5).

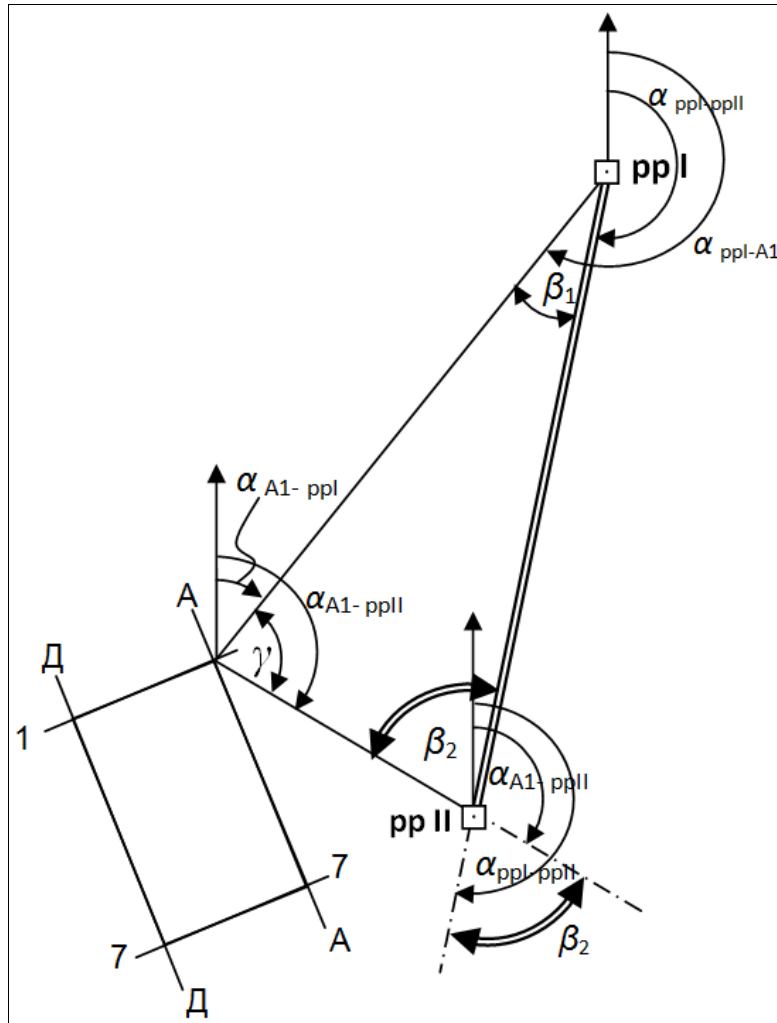


Рисунок 5.4 – Обчислення горизонтальних кутів для виносу точки A1

2. Обчислюють розмічувальні горизонтальні кути  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  та  $\gamma$  (рис. 5.4) як різниці дирекційних кутів правого і лівого напрямків (за даними табл. 5.5):

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \alpha_{\text{ppI-A1}} - \alpha_{\text{ppI-ppII}} = 121^\circ 14' 50,0'' - 82^\circ 35' 59,6'' = 38^\circ 38' 50,4'', \\ \beta_2 &= \alpha_{\text{ppII-ppI}} - \alpha_{\text{A1-ppII}} = 82^\circ 35' 59,6'' - 46^\circ 09' 11,6'' = 36^\circ 26' 48,0'', \\ \gamma &= \alpha_{\text{A1-ppII}} - \alpha_{\text{A1-ppI}} = 46^\circ 09' 11,6'' - 301^\circ 14' 50,0'' + 360^\circ = 104^\circ 54' 21,6''. \end{aligned} \quad (5.8)$$

Напрямки всіх дирекційних кутів розраховують від точок, в яких обчислюються горизонтальні кути.

Контроль обчислення всіх кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  та  $\gamma$  виконують за сумою цих кутів, яка має дорівнювати теоретичній:

$$\beta_1 + \beta_2 + \gamma = 38^\circ 38' 50,4'' + 36^\circ 26' 48,0'' + 104^\circ 54' 21,6'' = 180^\circ 00' 00''. \quad (5.9)$$

Таблиця 5.5 – Приклад вирішення оберненої геодезичної задачі для обчислення довжин ліній та їх дирекційних кутів

№ п/п	Дані та формули для розрахунку	Напрямки ліній		
		ppI-ppII	ppI-A1	ppII-A1
1	2	3	4	5
1	$y_k$ , м	480,987	439,990	439,990
2	$y_n$ , м	393,760	393,760	480,987
3	$\Delta y = y_k - y_n$ , м	87,227	46,230	-40,997
4	$x_k$ , м	192,799	153,420	153,420
5	$x_n$ , м	181,470	181,470	192,799
6	$\Delta x = x_k - x_n$ , м	11,329	-28,050	-39,379
7	$\text{tg } r = \Delta y / \Delta x$	7,6994439050	-1,6481283422	1,0410878895
8	$r = \arctg(\Delta y / \Delta x)$ , ° ( ' '' )	82,5998768253 (82°35'59,6'')	-58,7527652347 (-58°45'10,0'')	46,1532304672 (46°09'11,6'')
	Чверть (напрямок)	I (ПнСх)	II (ПдСх)	III (ПдЗх)
9	$\alpha_{пр}$ , ° ' ''	$\alpha_{ppI-ppII}$	$\alpha_{ppI-A1}$	$\alpha_{ppII-A1}$
		82°35'59,6''	121°14'50,0''	226°09'11,6''
10	$\alpha_{об} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ$ , ° ' ''	$\alpha_{ppII-ppI}$	$\alpha_{A1-ppI}$	$\alpha_{A1-ppII}$
		262°35'59,6''	301°14'50,0''	46°09'11,6''
11	$d = \Delta x / \cos r$ , м	87,960	54,074	56,846
12	$d = \Delta y / \sin r$ , м	87,960	54,074	56,846
13	$d = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{0,5}$ , м	87,960	54,074	56,846
14	$d_{сеп}$ , м	87,960	54,074	56,846

З використанням прямокутних координат дирекційний кут лінії АВ визначають із прямокутного трикутника АВС (рис. 5.5) шляхом вирішення оберненої геодезичної задачі в послідовності, яка описана нижче.

1. Визначають прирости координат  $\Delta X_{AB}$  та  $\Delta Y_{AB}$ :

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A \quad \text{та} \quad \Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A. \quad (5.10)$$

2. За знаками приростів координат  $\Delta X_{AB}$  та  $\Delta Y_{AB}$  визначають чверть, в якій знаходиться задана лінія (рис. 5.6).

3. Обчислюють румб  $r_{AB}$  лінії АВ за формулою:

$$r_{AB} = \text{arctg}(\Delta Y_{AB} / \Delta X_{AB}). \quad (5.11)$$

4. В залежності від чверті, в якій знаходиться лінія АВ, її дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  обчислюють за однією з формул:

$$\begin{aligned} \alpha_{AB} &= r_{AB} - \text{для I чверті (ПнСх)}; \\ \alpha_{AB} &= 180^\circ - r_{AB} - \text{для II чверті (ПдСх)}; \\ \alpha_{AB} &= r_{AB} + 180^\circ - \text{для III чверті (ПдЗх)}; \\ \alpha_{AB} &= 360^\circ - r_{AB} - \text{для IV чверті (ПнЗх)}. \end{aligned} \quad (5.12)$$

Для прикладу обчислимо дирекційний кут  $\alpha_{pp.II-pp.I}$  лінії **pp.II-pp.I** за координатами, які приведені в табл. 5.4.

Спочатку обчислимо прирости координат  $\Delta X_{pp.II-pp.I}$  та  $\Delta Y_{pp.II-pp.I}$ :

$$\begin{aligned} \Delta X_{pp.II-pp.I} &= X_{pp.I} - X_{pp.II} = 181,470 - 192,799 = -11,329 \text{ м}; \\ \Delta Y_{pp.II-pp.I} &= Y_{pp.I} - Y_{pp.II} = 393,760 - 480,987 = -87,227 \text{ м}. \end{aligned}$$

За знаками приростів координат  $\Delta X_{pp.II-pp.I}$  та  $\Delta Y_{pp.II-pp.I}$  (за допомогою рис. 5.6) визначаємо, що дана лінія знаходиться у III чверті (ПдЗх).

Далі за формулою (5.11) визначаємо румб лінії **pp.II-pp.I**:

$$\begin{aligned} r_{pp.II-pp.I} &= \text{arctg}(\Delta Y_{pp.II-pp.I} / \Delta X_{pp.II-pp.I}) = \text{arctg}(-87,227 / -11,329) = \\ &= \text{arctg} 7,699444 = 82,599877 = 82^\circ 35' 59,6''. \end{aligned}$$

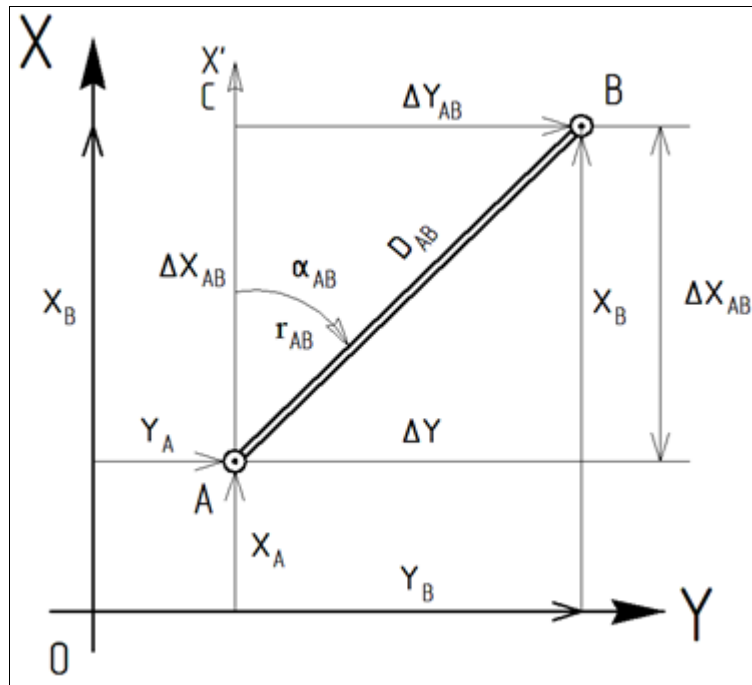


Рисунок 5.5 – Геометрична схема вирішення оберненої геодезичної задачі при визначенні дирекційного кута лінії АВ

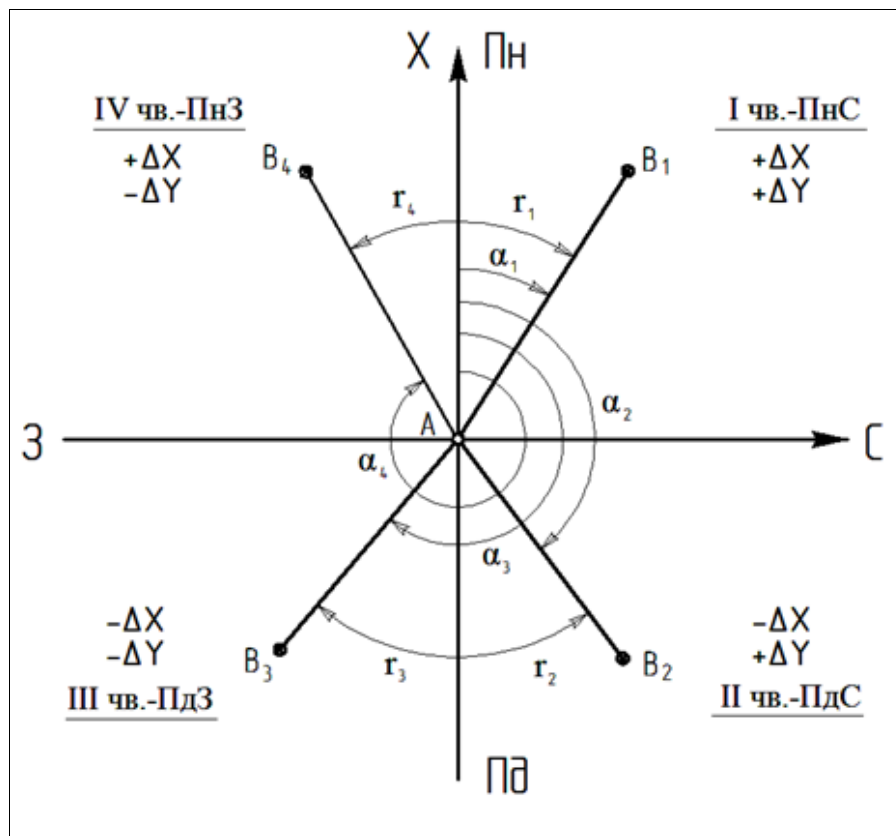


Рисунок 5.6 – Зв'язок між румбами та дирекційними кутами ліній різних напрямів

З урахуванням того, що лінія **pp.II-pp.I** знаходиться в III чверті, її дирекційний кут, який обчислюють за формулою для цієї чверті, складе:

$$\alpha_{pp.II-pp.I} = \gamma_{pp.II-pp.I} + 180^\circ = 82^\circ 35' 59,6'' + 180^\circ = 262^\circ 35' 59,6''.$$

3. Виконується креслення схеми розмічування горизонтальних кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  та  $\gamma$  для виносу точки A1 від пунктів полігонометрії **pp.I** і **pp.II** (рис. 5.7).

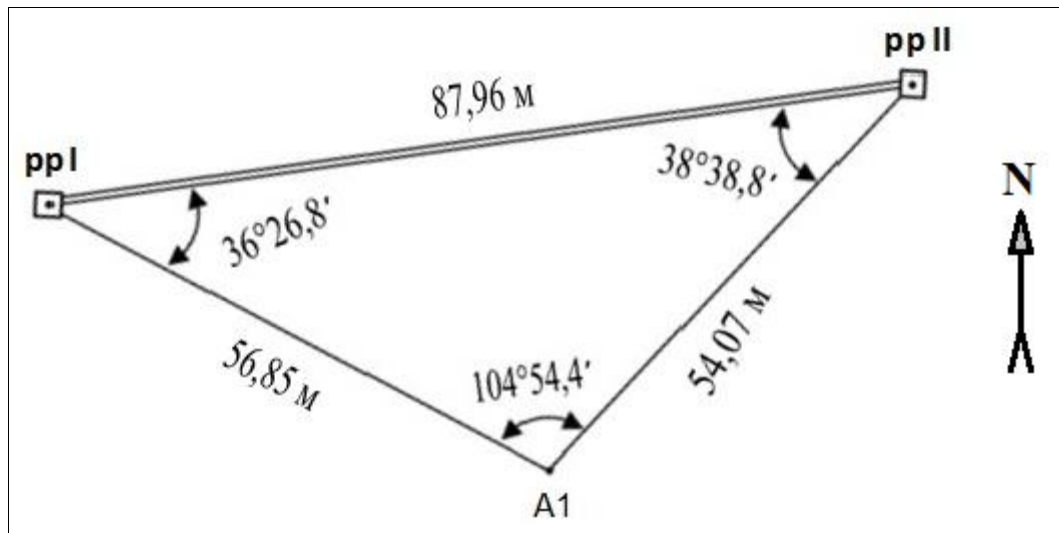


Рисунок 5.7 – Приклад схеми розмічування горизонтальних кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  та  $\gamma$  для виносу точки A1 від пунктів полігонометрії **pp.I** і **pp.II**

4. З урахуванням характеристики об'єкту будівництва визначають середні квадратичні похибки кутових і лінійних вимірювань при побудові розмічувальної сітки будівельного майданчика (табл. 5.6).

Умови забезпечення точності (середні квадратичні похибки) кутових вимірювань представлені у табл. 5.7.

Умови забезпечення точності (середні квадратичні похибки) лінійних вимірювань представлені у табл. 5.8 та 5.9.

Відносна середня квадратична похибка  $m_d$  лінійних вимірів дорівнює:

$$m_d = d/T, \quad (5.13)$$

де  $T$  – знаменник відносної похибки.

Таблиця 5.6 – Умови забезпечення точності (середні квадратичні похибки) кутових і лінійних вимірювань

№ п/п	Характеристика об'єкту будівництва	Середні квадратичні похибка	
		кутових вимірювань, "	лінійних вимірювань, мм
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Підприємства і споруди на ділянках площею більше ніж 1 км <sup>2</sup> та/або окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови понад 100 га	±3"	2 мм для <i>L</i> до 50 м та/або 1/25000 для <i>L</i> понад 50 м
2	Підприємства і споруди на ділянках площею менше ніж 1 км <sup>2</sup> та/або окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови від 10 га до 100 га	±5"	5 мм для <i>L</i> до 50 м та/або 1/10000 для <i>L</i> понад 50 м
3	Окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови менше ніж 10 га та/або дороги, інженерні комунікації в межах територій, що забудовуються	±10"	10 мм для <i>L</i> до 50 м та/або 1/5000 для <i>L</i> понад 50 м
4	Дороги, інженерні комунікації територій, які не забудовуються та/або земляні споруди, а також вертикальне планування	±30"	25 мм для <i>L</i> до 50 м та/або 1/2000 для <i>L</i> понад 50 м

Примітка: *L* – довжина, що вимірюється, м.

Таблиця 5.7 – Умови забезпечення точності кутових вимірювань

Процеси, умови вимірів, типи приладів	Середні квадратичні похибки кутових вимірювань					
	3"	5"	10"	20"	30"	45"
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Центрування теодоліта і візирних цілей	Оптичним центриром				Оптичним центриром, нитковим виском	
Фіксування центрів знаків	Кресляркою	Керном	Олівцем, шпилькою		Шпилькою	
Типи теодолітів	T2	T5			T30	
Кількість прийомів	2				1	

Таблиця 5.8 – Умови забезпечення точності лінійних вимірювань сталевими рулетками або стрічками

Процеси, умови вимірювань, типи приладів	Відносні середні квадратичні похибки результатів лінійних вимірювань				
	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{15000}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{2000}$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Середня квадратична похибка компарування, мм	–	0,2		0,5	1,5
Укладання в створ	–	За допомогою теодоліта			Візуально
Натяг мірного приладу, Н (кгс)	–	Динамометром, 100 Н (10 кгс)			Вручну
Похибка урахування різниці температур компарування та при вимірюванні, °С	–	Термопара		Термометром	
		0,5	1,0	2,5	
Кількість відліків	–	2 пари відліків та 1 зсув			
Фіксація проміжних точок	–	Кресляркою	Керном	Олівцем	
Визначення перевищення кінців вимірюваної лінії	–	Нівелюванням			
Границі допустимої похибки рулетки або стрічки, мм	Робочий еталон 3-го розряду за ДСТУ 3741: $\Delta = \pm(0,01+0,01/L)$		2-й клас точності за ДСТУ 4179: $\Delta = \pm(0,3+0,15/L)$		3-й клас точності за ДСТУ 4179: $\Delta = \pm(0,4+0,2/L)$

Примітка:  $L$  – довжина, що вимірюється, м.



Таблиця 5.9 – Умови забезпечення точності лінійних вимірювань тахеометрами, світловіддалемірами або віддалемірами лазерними ручними

Процеси, умови вимірювань, типи приладів	Відносні середні квадратичні похибки результатів лінійних вимірювань				
	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{15000}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{2000}$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Центрування приладів	Оптичним центриром або примусове центрування		Оптичним центриром		Оптичним центриром або виском
Фіксація центрів знаків	Кресляркою		Керном		Олівцем, шпилькою
Похибка вимірювання температури повітря, °С	2	4	5	10	20
Похибка вимірювання атмосферного тиску, кПа (мм рт. ст.)	0,50 (4)	0,90 (7)	1,23 (10)	2,70 (20)	6,70 (50)
Визначення перевищення кінців вимірюваної лінії	Нівелюванням				
Середні квадратичні похибки приладу при вимірюванні (згідно з ГОСТ 19223-90)	$1+2 \cdot D$	$2+2 \cdot D$		$3+3 \cdot D$	$5+5 \cdot D$

Примітка:  $D$  – довжина, що вимірюється, км.

## 5. Розрахунок точності розмічувальних горизонтальних кутів.

**5.1.** Середня квадратична похибка виносу на місцевість кутової точки полярним способом обчислюється за формулою:

$$m = \sqrt{\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot d^2 + m_d^2}, \quad (5.14)$$

де  $m_\beta$  – середня квадратична похибка кутових вимірів;

$\rho''$  – радіан ( $\rho'' = 206265''$ );

$d$  – відстань від пункту триангуляції до точки виносу;

$m_d$  – середня квадратична похибка відкладання відстані  $d$ ;

$T$  – знаменник відносної лінійної похибки.

**5.2.** Середня квадратична похибка виносу на місцевість кутової точки способом прямої кутової засічки:

$$m = \frac{b \cdot m_\beta}{\rho \cdot \sin \gamma} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} = \frac{b \cdot m_\beta}{\rho \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2)} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}, \quad (5.15)$$

де  $\gamma$  – кут засічки;

$b$  – відстань між вихідними пунктами триангуляції.

## 6. Складання розмічувального креслення.

Зазвичай розмічувальне креслення складається в крупному масштабі (1:500, 1:200) або схематично (довжини ліній і кути зображують приблизно таким чином, щоб їх було зручно записувати). Тобто, якщо довжина лінії невелика, то її можна збільшити, щоб помістити значення довжини і т.п. Лінійні розміри на розмічувальному кресленні виписують із точністю до 0,01 м, а кутові – до 0,1'.

Схему розмічувального креслення складають на аркуші зручного формату (наприклад, на аркуші формату А4), наносячи на неї наступні необхідні дані (див. приклад на рис. 5.7):

- орієнтування за напрямом північ-південь;
- відстані між геодезичними пунктами і до точки виносу;
- розмічувальні кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  кут засічки  $\gamma$ .

На схемі також можуть бути нанесені планові координати геодезичних пунктів і точки виносу та дирекційні кути всіх напрямків.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 5.4

1. З якою метою здійснюється винос в натуру геодезичного об'єкту?
2. Які є способи виконання розмічувальних робіт?
3. Як виконується обчислення розмічувальних кутів?
4. Від яких умов залежить середня квадратична похибка кутових та лінійних вимірів?
5. Що входить до складу розмічувального креслення?

### **5.5 Розрахунок виносу на місцевість кутової точки будівельної сітки**

Нижче (рис. 5.8) показана схема виносу на місцевість кутової точки будівельної сітки способом кутової засічки.

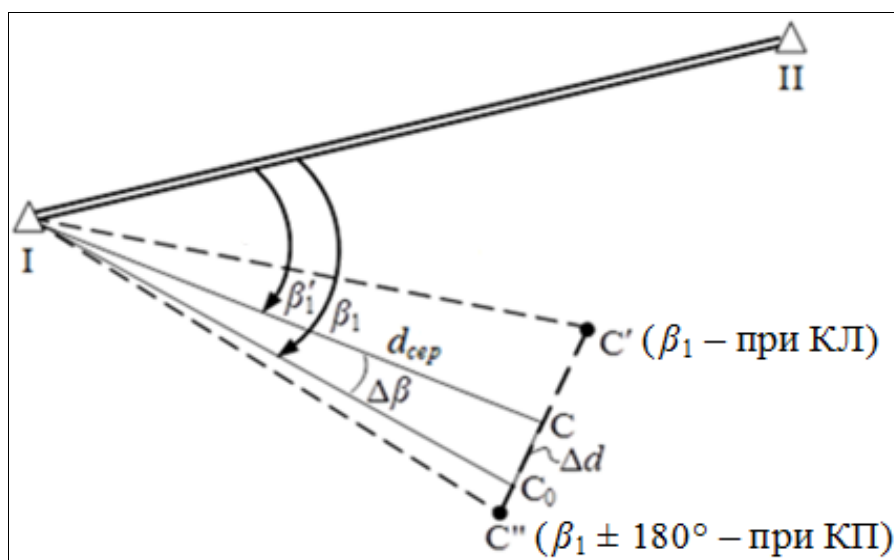


Рисунок 5.8 – Схема виносу кутової точки будівельної сітки (способом кутової засічки): I – геодезичний пункт, де встановлений теодоліт; II – геодезичний пункт, на який наводять зорову трубу теодоліту; інші пояснення – у тексті

Етапи розрахунку виносу на місцевість кутової точки будівельної сітки способом кутової засічки описані нижче.

1. Побудова горизонтального розмічувального кута  $\beta_1$  для виносу на місцевість кутової точки будівельної сітки.

1.1. Установлюють теодоліт у робоче положення на геодезичному пункті. При положенні вертикального круга з ліва (КЛ) встановлюють на горизонтальному крузі (ГК) відлік  $0^{\circ}00'00''$ . Потім закріплюють алідаду та наводять зорову трубу на інший геодезичний пункт. Закріплюють лімб ГК.

1.2. Поворотом алідади відкладають при КЛ на лімбі ГК кут  $\beta_1$  (на рис. 8.1 кут  $\beta_1$  відкладений вправо), з точністю, що відповідає точності теодоліта, який застосовується (наприклад, для 2Т30П –  $t = 30''$ ). В створі візирної осі на проектній відстані  $d_{сер}$ , яка визначається згідно з порядком етапу 2, фіксують на місцевості кутову точку (на рис. 8.1 – це точка С').

1.3. З метою виключення колімаційної похибки таку саму побудову виконують при положенні вертикального круга з права (КП):  $\beta_1 \pm 180^{\circ}$ , а також фіксують друге положення кутової точки (на рис. 8.1 – це точка С'').

1.4. Визначають і фіксують на місцевості середину відрізка С'С'' (на рис. 8.1 – це точка С).

1.5. Для побудови (виносу) кута  $\beta_1$  з підвищеною точністю (рис. 5.8), вимірюють знайдений в першому наближенні кут кількома прийомами і визначають його більш точно значення  $\beta_1'$ .

1.6. Знаходять різницю  $\Delta\beta''$  між проектним  $\beta_1$  і вимірним  $\beta_1'$  кутами:

$$\Delta\beta'' = \beta_1 - \beta_1'. \quad (5.16)$$

1.7. Обчислюють лінійну поправку (редукцію)  $\Delta d$  за формулою:

$$\Delta d = d_{сер} \cdot \Delta\beta'' / \rho'', \quad (5.17)$$

де  $\Delta\beta''$  – різниця між проектним  $\beta_1$  і вимірним  $\beta_1'$  кутами, '';  
 $\rho''$  – радіан ( $\rho'' = 206265''$ ).

1.8. Відкладають лінійну поправку  $\Delta d$  від точки С, залежно від знака (на рис. 5.8 – це знак «+»), у сторону точки С' або С'' та закріплюють на місцевості чи будівельному майданчику точку С<sub>0</sub>.

**2. Побудова (або відкладання) на місцевості проектної відстані від геодезичного пункту до точки виносу.**

2.1. Спочатку від геодезичного пункту в напрямку до точки виносу за допомогою мірної стрічки або рулетки відкладають проектну відстань  $d_{сер}$  і тимчасово фіксують кінцеву точку В' (рис. 5.9).

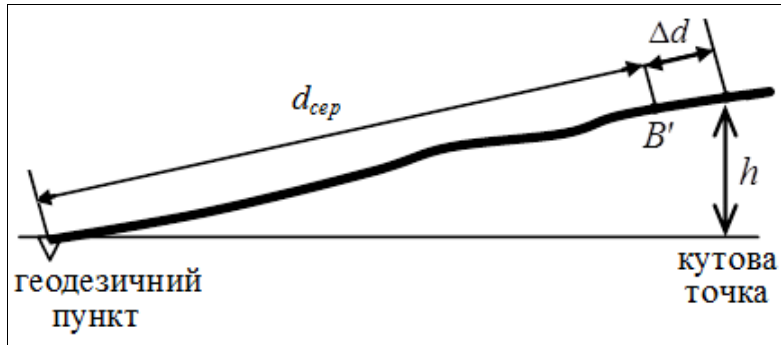


Рисунок 5.9 – Схема побудови (відкладання) на місцевості проектної відстані (пояснення позначень у тексті)

2.2. Обчислюють поправки в проектну відстань.

2.2.1. За компарування мірної стрічки або рулетки  $\Delta d_K$ :

$$\Delta d_K = d_{сер} \cdot \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}, \quad (5.18)$$

де  $\ell$ ,  $\ell_0$  – відповідно фактична (визначена в результаті компарування) та номінальна довжина рулетки, м.

2.2.2. За температурний вплив  $\Delta d_t$ :

$$\Delta d_t = d_{сер} \cdot \alpha \cdot (t - t_0), \quad (5.19)$$

де  $t$ ,  $t_0$  – відповідно температура вимірювання та компарування,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\alpha$  – коефіцієнт розширення сталі ( $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$ ).

2.2.3. За нахил лінії до горизонту  $\Delta d_h$ :

$$\Delta d_h = \frac{h^2}{2 \cdot d_{сер}}, \quad (5.20)$$

де  $h$  – перевищення між кінцевими точками (кутовою точкою та геодезичним пунктом) проектної відстані  $d_{сер}$ , м, яке визначається за формулою:

$$h = H_T - H_{П}, \quad (5.21)$$

де  $H_T$ ,  $H_{П}$  – відповідно позначки кутової точки та геодезичного пункту.

2.3. Обчислюють загальну поправку  $\Delta d$ :

$$\Delta d = \Delta d_K + \Delta d_t + \Delta d_h. \quad (5.22)$$

2.4. Загальну поправку  $\Delta d$  відкладають з урахуванням загального знака вправо (уперед – знак «+») або вліво (назад – знак «-») від точки  $B'$  (на рис. 5.9 – загальна поправка  $\Delta d$  має знак «+») і фіксують точку виносу на місцевості чи будівельному майданчику.

#### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 5.5

1. Які дії потрібно виконати для виносу на місцевість розмічувального кута?
2. Як виключається колімаційна похибка?
3. Що потрібно зробити для побудови кута з підвищеною точністю?
4. За якою формулою обчислюють лінійну поправку (редукцію)?
5. Які дії потрібно виконати для виносу на місцевість проектної відстані від геодезичного пункту до точки виносу?

#### *Питання для самоперевірки до теми № 5*

1. Який порядок дій на станції під час виносу в натуру проектної позначки?
2. Який порядок дій на станціях під час передачі позначки від будівельного репера на монтажний горизонт та/або на дно котловану?
3. Що включає порядок дій на станції під час розбивки на місцевості проектної похилої лінії?
4. Які є способи виконання розмічувальних робіт?
5. Які дії потрібно виконати для виносу на місцевість розмічувального кута?

## 6 ПОБУДОВА ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПОВЗДОВЖНІХ ПРОФІЛІВ І ПОПЕРЕЧНИКІВ ТРАС ТА ІНШИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ ТЕХНІЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

Дана тема присвячена проектуванню профілю траси автодороги та профілю пальово-рейкового водомірного поста за результатами технічного нівелювання та з використанням інших вихідних матеріалів (позначок вихідних реперів, даних пікетажного журналу, значень дирекційних кутів, заданих елементів кругової кривої повороту траси, положення першої й останньої паль тощо).

### 6.1 Проектування профілю траси автодороги

**Мета** проектування профілю траси автодороги полягає у визначенні висотних позначок пікетів траси і побудова фактичного й проектного профілів.

**Вихідні дані** для проектування профілю траси автодороги:

- позначки вихідних (початкового та кінцевого) реперів (наприклад,  $H_{Rp1} = 135,597$  м та  $H_{Rp2} = 135,329$  м);
- пікетажний журнал (рис. 6.1);
- журнал технічного нівелювання траси (табл. 6.1);
- дирекційний кут ділянки траси автодороги до її повороту (наприклад,  $\alpha = 168^\circ 14'$ );
- елементи повороту траси: кут повороту (наприклад,  $\theta = 20^\circ 48'$ ) та радіус кривої (наприклад,  $R = 100$  м).

**Етапи і порядок дій** при проектуванні профілю траси наведені нижче.

#### 1. Обчислення висотних позначок пікетів.

1.1. На кожній станції обчислюють перевищення між зв'язуючими точками за чорними і червоними відліками (табл. 6.1 – графи 6 і 7):

$$h_{чор} = a_{чор} - в_{чор}; h_{чер} = a_{чер} - в_{чер}; h_{сер} = 0,5 \cdot (h_{чор} + h_{чер}).$$

1.2. Обчислюють суму вимірних перевищень  $\Sigma h_i$  та теоретичну суму перевищень  $\Sigma h_{теор}$  і записують їх значення під таблицею:  $\Sigma h_{сер} = -0,250$  м;  $\Sigma h_{теор} = H_{Rp2} - H_{Rp1} = 135,329 - 135,597 = -0,268$  м.

1.3. Обчислюють фактичну  $f_h$  і граничну  $f_{h,зр} = \pm 10\sqrt{n}$  нев'язки, причому має бути:  $f_h \leq f_{h,зр}$ .

1.4. Обчислюють в графі 8 (див. табл. 6.1) виправлені перевищення:

$h_i^0 = h_i + \varepsilon$ , де  $\varepsilon = -f_n/n$ . Контроль виконують за формулою:  $\sum_1^n \varepsilon = -f_h$ .

1.5. Обчислюють в графі 10 позначки пікетів:  $H_i = H_{i-1} + h_i^0$ .

1.6. Обчислюють в графі 9 горизонти приладів на станціях 2, 4 і 5:

$$ГП = H_{i \text{ зад.}} + a_{i \text{ зад. чор}}$$

$$ГП_2 = H_{ПК0} + a_{\text{чорПК0}} = 134,307 + 2,048 = 136,355 \text{ м};$$

$$ГП_4 = H_{ПК2} + a_{\text{чорПК2}} = 135,874 + 2,292 = 138,166 \text{ м};$$

$$ГП_5 = H_{ПК3} + a_{\text{чорПК3}} = 137,843 + 0,051 = 137,894 \text{ м}.$$

1.7. Обчислюють в графі 10 висотні позначки проміжних пікетів на станціях 2,4 і 5:  $H_{i \text{ пром}} = H_{ГП} - c_{i \text{ пром}}$

$$H_{+60} = ГП_2 - c_{+60} = 136,355 - 2,911 = 133,444 \text{ м};$$

$$H_{П20} = ГП_4 - c_{П20} = 138,166 - 0,029 = 138,137 \text{ м};$$

$$H_{Л20} = ГП_4 - c_{Л20} = 138,166 - 0,562 = 137,604 \text{ м};$$

$$H_{+40} = ГП_5 - c_{+40} = 137,894 - 2,085 = 135,809 \text{ м}.$$

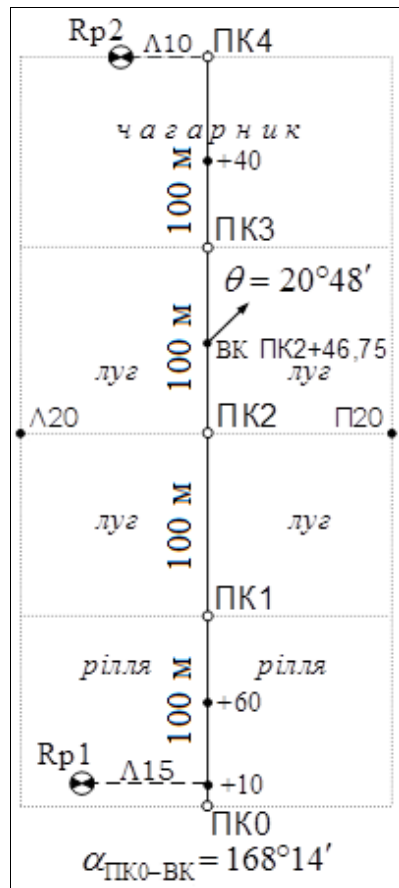


Рисунок 6.1 – Пікетажний журнал



Таблиця 6.1 – Журнал технічного нівелювання траси

№ станції	№ рейкових точок	Відліки по рейці, мм			Перевищення, $h$ , м			Горизонт приладу, $H_{пр}$ , м	Позначки, $H_b$ , м
		задні, $a$	передні, $b$	проміжні, $c$	обчислені	середні	виправлені		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Rp 1	5038			-1,289	-0,003	-1,290		135,597
	ПК 0	0354	6327		-1,285	-1,287			134,307
2	ПК 0	6735		2911	+0,600	-0,003	+0,596	136,355	134,307
	+60	2048	6135		+0,598	+0,599			133,444
3	ПК 1	6557			+0,975	-0,003	+0,971		134,903
	ПК 2	1870	5582		+0,973	+0,974			135,874
4	ПК 2	6978		0029	+1,971	-0,003	+1,969	138,166	135,874
	П 20	2292	5007	0562	+1,973	+1,972			138,137
5	ПК 3	4737		2085	-2,913	-0,003	-2,918	137,894	137,843
	+40	0051	7650		-2,917	-2,915			135,809
6	ПК 4	5645			+0,408	-0,003	+0,404		134,925
	Rp 2	0959	5237		+0,406	+0,407			135,329
		[43264] - [43764] = = -500 мм			[+ 7,904] [- 8,404] -0,500	[+ 3,952] [- 4,202] -0,250	[+ 3,940] [- 4,208] -0,268		

$$\sum h_{cep} = -0,250 \text{ м};$$

$$\sum h_{meop} = H_{Rp2} - H_{Rp1} = 135,329 - 135,597 = -0,268 \text{ м};$$

$$f_h = \sum h_{cep} - \sum h_{meop} = -0,250 - (-0,268) = +0,018 \text{ м} = +18 \text{ мм};$$

$$f_{h, zp} = \pm 10 \cdot \sqrt{n} = \pm 10 \cdot \sqrt{6} = \pm 24 \text{ мм}.$$

2. Побудова фактичного профілю траси на міліметровому папері (виконується в масштабах: горизонтальний 1:2000, вертикальний 1:200, поперечника 1:500).

2.1. На аркуші міліметрового паперу необхідного розміру (наприклад, формату А4) креслять **сітку профілю** (рис. 6.2).

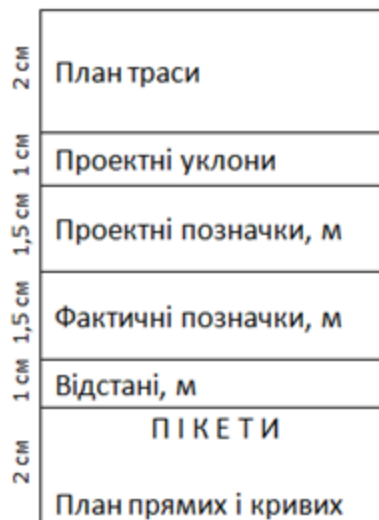


Рисунок 6.2 – Зразок і розміри сітки профілю

2.2. У графі «Відстані, м» відкладають у масштабі 1:2000 пікети і плюсові точки та вказують наступні відстані:

- між пікетами (не завжди);
- від заднього пікету до плюсової точки;
- між плюсовими точками.

Прикладом може бути плюсова точка + 60, що знаходиться між ПК 0 та ПК 1 на відстані 60 м від ПК 0 за ходом траси.

2.3. У графі «Пікети» записують номери пікетів і плюсових точок.

2.4. У графі «Фактичні позначки, м» над пікетами і плюсовими точками виписують (з табл. 6.1) їх позначки, закруглив їх до сотих часток метра.

2.5. Придавши лінії **умовного горизонту** (рис. 6.3) позначку 130 м, з таким розрахунком, щоб точка + 60, яка має найменшу позначку 133,44 м, була віддалена від неї на 2-3 см. Потім від лінії умовного горизонту в масштабі 1:200 вверх над пікетами і плюсовими точками відкладають різниці між їх фактичними позначками і позначкою умовного горизонту (наприклад, для ПК 0:  $134,31 - 130 = 4,31$  м; для + 60:  $133,44 - 130 = 3,44$  м).

2.6. З'єднавши верхні кінці відкладених різниць прямими лініями, отримуємо фактичний профіль місцевості за напрямком ПК 0 - ПК 4 (рис. 6.3).

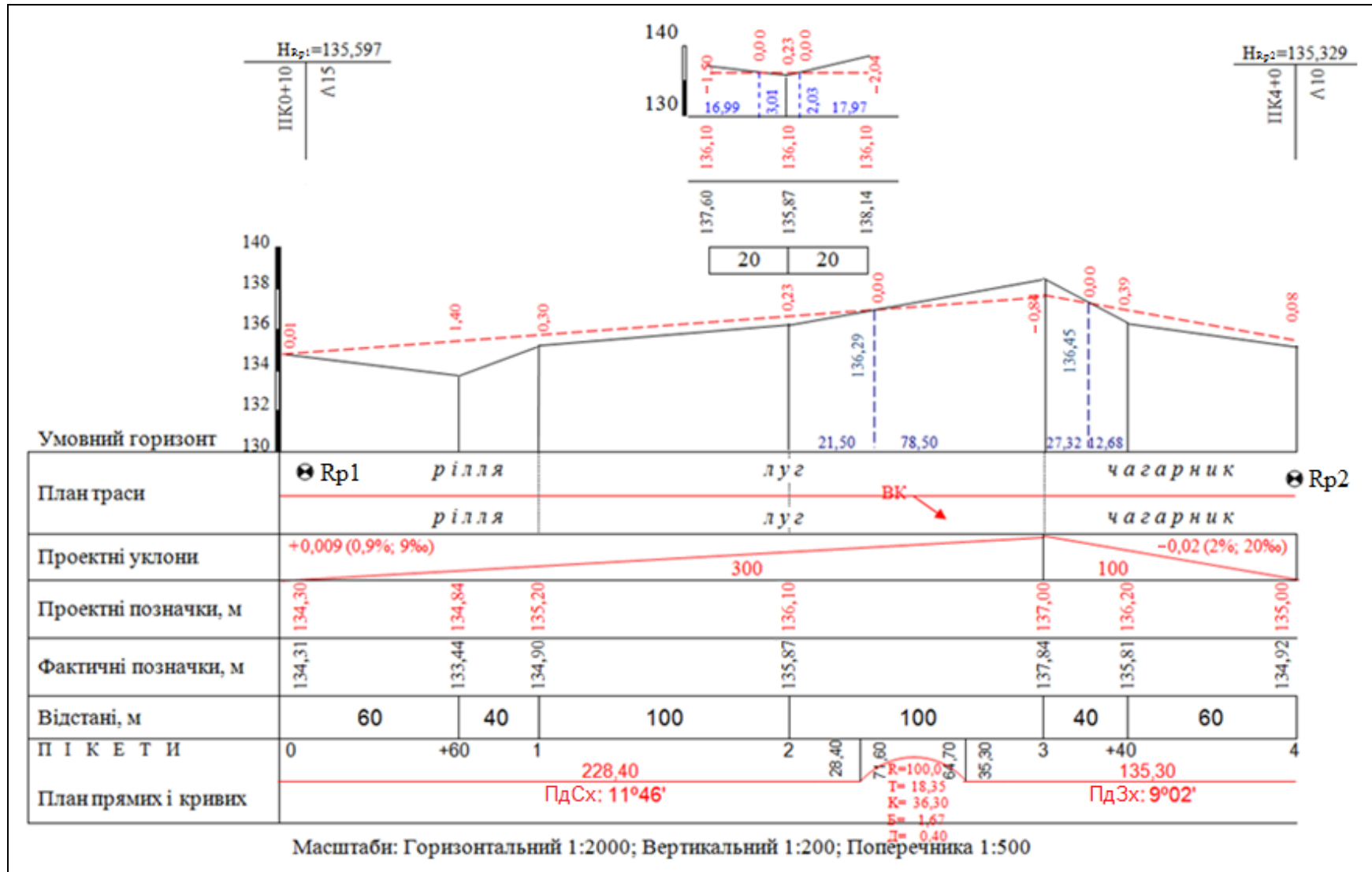


Рисунок 6.3 – Повздовжній профіль траси і поперечника



За відомими кутом  $\theta$  повороту траси та радіусом  $R$  закруглення траси основні елементи кругової кривої (тангенс  $T$ , криву  $K$ , бісектрису  $B$  і домір  $D$ ) можна обчислити за системою формул:

$$\left. \begin{aligned} T &= R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \\ K &= R \cdot \frac{\theta}{\rho}; \\ B &= 2 \cdot R \cdot \frac{\left(\sin \frac{\theta}{4}\right)^2}{\cos \frac{\theta}{2}}; \\ D &= 2 \cdot T - K = R \cdot \left(2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} - \frac{\theta}{\rho}\right). \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

де  $\rho$  – радіан ( $\rho = 206265'' = 3437,75' = 57,3^\circ$ ).

**Пікетажні положення** головних точок обчислюють за системою формул:

$$\left. \begin{aligned} \text{ПКр} &= \text{ВК} - T; \\ \text{ККр} &= \text{ПКр} + K; \\ \text{СКр} &= \text{ПКр} + \frac{1}{2} \cdot K. \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

**Контроль розрахунку** виконують за системою формул:

$$\left. \begin{aligned} \text{ККр} &= \text{ВК} + T - D; \\ \text{СКр} &= \text{ККр} - \frac{1}{2} \cdot K. \end{aligned} \right\} \quad (6.3)$$

**Приклад.** Нехай вершина кута ВК знаходиться на ПК 2+46,75 (рис. 6.3), кут повороту траси  $\theta = 20^\circ 48'$  та радіус закруглення  $R = 100$  м.

Підставивши значення  $\theta$  та  $R$  у систему формул (6.1) отримаємо:

$$\begin{aligned} T &= 18,35 \text{ м}; \\ K &= 36,30 \text{ м}; \\ B &= 1,67 \text{ м}; \\ D &= 0,40 \text{ м}. \end{aligned}$$

Обчислимо (з контролем розрахунку) за формулами (6.2) та (6.3) пікетажні положення початку, кінця і середини кругової кривої:

<u>пікетажні положення (6.2):</u>		<u>контроль розрахунку (6.3):</u>	
ВК	ПК 2 + 46,75	ВК	ПК 2 + 46,75
$-T$	18,35	$+T$	18,35
ПКр	ПК 2 + 28,40		ПК 2 + 65,10
$+K$	36,30	$-D$	0,40
ККр	ПК 2 + 64,70	ККр	ПК 2 + 64,70
ПКр	ПК 2 + 28,40	ККр	ПК 2 + 64,70
$+1/2 \cdot K$	18,15	$-1/2 \cdot K$	18,15
СКр	ПК 2 + 46,55	СКр	ПК 2 + 46,55

Графу «План прямих і кривих» (рис. 6.2 та 6.3) заповнюють згідно з результатами розрахунків пікетажного положення головних точок кругової кривої (див. **Приклад**). Початок і кінець кривої (рис. 6.3) відмічають перпендикулярами, проведеними від лінії плану траси прямих і кривих до лінії пікетів. Поруч з перпендикулярами записують відстані від початку (28,40 м і 71,60 м) та кінця (64,70 м і 35,30 м) кривої до найближчих пікетів (відповідно до ПК 2 та ПК 3). При повороті траси вправо випуклість кривої направляють уверх (рис. 6.3), а при повороті вліво – униз.

На прямих ділянках траси – від ПК 0 до початку кривої та від кінця кривої до ПК 4 (рис. 6.3), виписують їх довжини (228,70 м та 135,30 м) і дирекційні кути ( $168^{\circ}14'$  та  $189^{\circ}02'$ ) або румби (ПдСх:  $11^{\circ}46'$  та ПдЗх:  $9^{\circ}02'$ ).

Напрямок траси після її повороту визначається за таким правилом: **дирекційний кут осі траси після її повороту дорівнює дирекційному куту осі траси до повороту плюс правий (або мінус лівий) кут повороту траси.**

Для наведеного прикладу напрямок траси після її повороту складе:

$$\alpha_{\text{ККр-ПК4}} = \alpha_{\text{ПК0-ПКр}} + \theta = 168^{\circ}14' + 20^{\circ}48' = 189^{\circ}02'.$$

**7.** Побудова профілю поперечника на пікеті ПК 2 в масштабі 1:500.

Профіль поперечника будують за спрощеною профільною сіткою в однаковому горизонтальному і вертикальному масштабах (наприклад, 1:500 чи іншому). Для цього із журналу технічного нівелювання (табл. 6.1) виписують фактичні позначки ПК 2 (135,87 м) і двох точок П 20 (138,14 м) та Л 20 (137,60 м). Далі побудова поперечного профілю відбувається за правилами побудови поздовжнього профілю (рис. 6.3).

**8.** Оформлення профілю виконують з використанням умовних знаків.

## Питання для самоперевірки базових знань до пп. 6.1

1. Які вихідні дані потрібні для побудови профілю траси автодороги та з якою метою виконується ця робота?
2. В якому порядку виконується обчислення висотних позначок пікетів для побудови профілю траси автодороги?
3. Як здійснюється побудування фактичного профілю траси та які основні умови враховують під час побудування проектного профілю траси?
4. Який вигляд має схема основних елементів і положення головних точок кругової кривої (кривої повороту траси) та за якими формулами їх обчислюють?
5. За яким правилом та формулою визначають напрямок траси після її повороту?

### **6.2 Проектування профілю пальово-рейкового водомірного поста**

Рівень води є найважливішим гідрологічним показником, який в комплексі з іншими показниками вимірюється на гідрологічних постах.

Рівневі спостереження – це вимірювання рівней води у водоймах і водотоках у визначеному місці у конкретний час. Місце, де вимірюють рівні води, має відповідати певним вимогам, обладнується спеціальними спорудами, приладами та має назву – водомірний пост (водпост).

Серед багатьох типів водомірних постів, які використовуються в Україні та світі, найпростішими та найбільш розповсюдженими є прості – рейкові, пальові, змішані (пальово-рейкові тощо). Вибір конкретного типу поста визначається амплітудою коливання рівнів води у водному об'єкті, профілем берегового схилу, особливостями гідрологічного режиму, наявністю гідротехнічних споруд тощо.

#### ***6.2.1 Система відліків і позначок на водомірному посту***

Для виконання рівневих спостережень на водпостах використовують наступну систему відліків і позначок: «нуль графіка поста», «нулі спостережень» і «приводки» водомірних пристроїв (на водпостах користуються умовною (місцевою) та балтійською системами висот).

«Нуль графіка поста» – це умовна площина, відносно якої проводять спостереження за рівнями води на водпостах. Положення його позначки визначається нівелюванням від репера водомірного поста і вважається постійною для всього періоду функціонування поста. Нуль графіка поста призначають на 0,5 м нижче мінімального історичного рівня води в створі водпоста. При дуже малих глибинах русла позначка нуля графіка поста дорівнює мінімальній позначці дна в створі водомірного поста або трохи нижче від неї.

«Нуль спостережень» – це висотна площина, від якої проводиться відлік рівня води у строки спостереження. На рейковому водпосту – це площина нуля рейки, а на пальовому – площина головки палі, над якою проводять спостереження. На пальовому посту ця величина непостійна, адже рівень води завжди змінюється, отож відлік рівня води проводять на різних палях, над якою у строк спостереження стоїть горизонт води.

«Приводка» (паль, рейок) – перевищення нулів спостережень (паль або рейок) над нулем графіка поста. Приводки паль (рейок), як і відліки рівнів, визначаються в сантиметрах. Вони обчислюються для кожної палі (рейки) на етапі проектування водпоста і теж регулярно перевіряються контрольним нівелюванням.

Знявши відлік по рейці та додавши до нього величину приводки визначають рівень води над «0» графіка поста. На рис. 6.5 показано схему рівневих спостережень на пальовому водпосту (у строк спостереження приведений рівень води на посту дорівнює:  $40 \text{ см} + 240 \text{ см} = 280 \text{ см}$  над «0» графіка поста або  $2,80 + 121,00 = 123,80 \text{ м БС}$ ).

### **6.2.2 Обладнання простих водомірних постів**

Водомірні пости комплектуються стандартними водомірними пристроями (відповідно типу і виду) і реперами, при цьому водомірні пристрої безпосередньо використовуються для вимірювання рівня води, а репери – для контролю висотної системи рівневих спостережень (нуля графіка поста та нулів спостережень). Реперів на водомірному посту встановлюють два – основний (прихований) та контрольний.

Тип посту залежить від амплітуди коливання рівней води й інших умов. Якщо амплітуди коливання рівней води до 3 м, то встановлюють рейковий пост (рейки стандартні з металу, дерева, пластика з поділками через кожні 1-2 см, приклад подано на рис. 6.6).



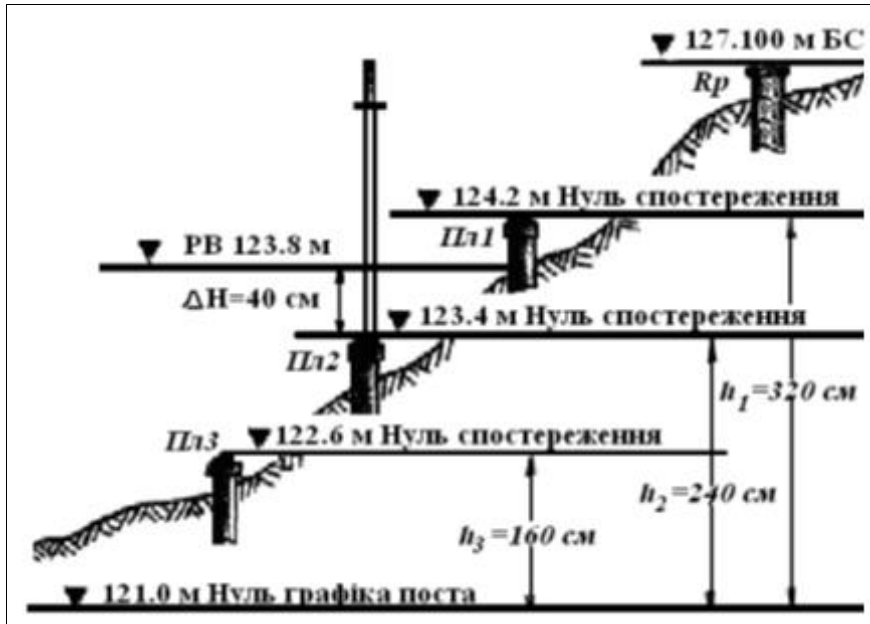


Рисунок 6.5 – Висотна система рівневих спостережень на пальовому водпосту: *R<sub>р</sub>* – репер; *БС* – Балтійська система; *Пл1*, *Пл2*, *Пл3* – відповідно палі 1, 2, 3; *h<sub>1</sub>*, *h<sub>2</sub>*, *h<sub>3</sub>* – приводки відповідно паль 1, 2, 3; *PВ* – рівень води на посту

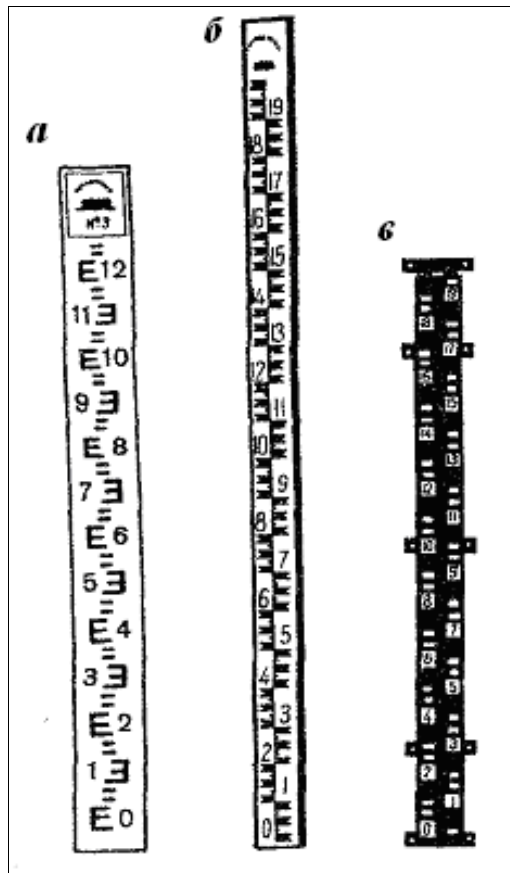


Рисунок 6.6 – Приклади стандартних стаціонарних водомірних рейок:  
а) дерев'яна; б) металева емальована; в) чавунна

Якщо коливання рівней більше ніж 3 м, то споруджують пальовий водпост шляхом закріплення в ґрунті паль (див. приклад на рис. 6.5). На пальових водомірних постах можуть бути використані, наприклад, металеві палі ПИ-20 і переносні водомірні рейки ГР-104 та/або ГР-23 (рис. 6.7).

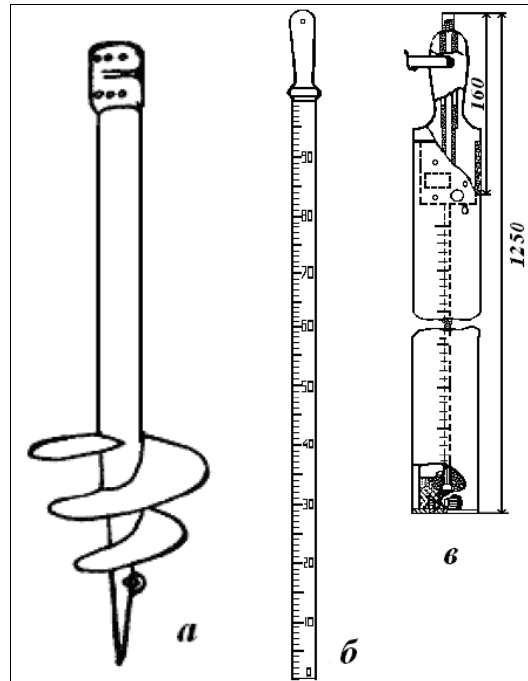


Рисунок 6.7 – Пристрої пальового водпоста:

а – стандартна металева палія ПИ-20; б – переносна водомірна рейка ГР-104;  
в – переносна водомірна рейка із заспокоювачем ГР-23

Палі розташовують на береговому схилі перпендикулярно до напрямку русла річки від максимальних позначок берегу до мінімальних (встановлюють візуально або опитуючи місцевих). Принцип розміщення – перевищення між головками суміжних паль має бути 0,40-0,80 м, а головки мають виглядати над землею на 0,10-0,15 м. Перша та остання палі повинні бути, відповідно, вище і нижче максимального та мінімального історичних рівнів приблизно на 0,25-0,50 м.

### **6.2.3 Дослідження для проектування водомірних постів**

При організації водомірних постів для рівневих спостережень виконують наступне:

– здійснюють вибір ділянки для водпоста (щоб ділянка задовольняла певним умовам) і виконують нівелювання берегового схилу та проміри глибин в руслі річки в обраному створі;

- проектують пальовий (рейковий або змішаний) водомірний пост з урахуванням історичних екстремальних рівнів води (максимального і мінімального), профілю берегового схилу і русла річки в обраному створі;
- обладнують водомірний пост, здійснюють прив'язку репера поста до пунктів державної геодезичної (нівелірної) мережі (у метрах БС) і виконують нівелювання усіх водомірних пристроїв.

#### **6.2.4 Проектування пальових та рейкових водомірних постів**

Для проектування водомірного поста потрібна наступна інформація: 1) журнал нівелювання берегового схилу; 2) журнал промірів глибин в руслі річки в створі водпоста; 3) позначки рівня високих вод (РВВ), рівня низьких вод (РНВ) та робочого рівня води (РРВ).

При проектуванні потрібно зробити: 1) обробити дані нівелювання; 2) дані промірів перевести в єдину систему висот (позначок) з даними нівелювання; 3) побудувати профіль берегового схилу; 4) виконати проектування пальового (рейкового) водомірного поста (вибрати місце встановлення рейки або паль), тобто визначити координати постових пристроїв – відстань від постійного початку (реперу) і позначки нулів спостережень, а також визначити позначку «0» графіка поста; 5) обчислити приводки водомірних пристроїв (паль, рейок).

Проект пальового (рейкового) водпоста (рис. 6.8) доповнюють горизонтальними лініями і позначками «0» графіка поста, рівня високих вод (РВВ), рівня низьких вод (РНВ) та за необхідності робочого рівня води (РРВ).

Першу палю проектують на позначці, що перевищує позначку РВВ на 0,25-0,50 м. Інші палі розташовують приблизно рівномірно по висоті з перевищеннями між суміжними палями від 0,40 м до 0,80 м. Позначка останньої палі має бути вище позначки нуля графіка поста, але нижче позначки РНВ. Відстані між палями в створі водпоста визначаються умовами берегового схилу і русла річки в обраному створі.

Дані проектування необхідні для винесення в натуру та закріплення в обраному створі водомірних пристроїв (паль, рейок) та контрольного репера поста.

Креслення проекту пальового водомірного поста виконують на аркуші міліметрового паперу формату А4 в обраних горизонтальному і вертикальному масштабах (див. приклад на рис. 6.8).

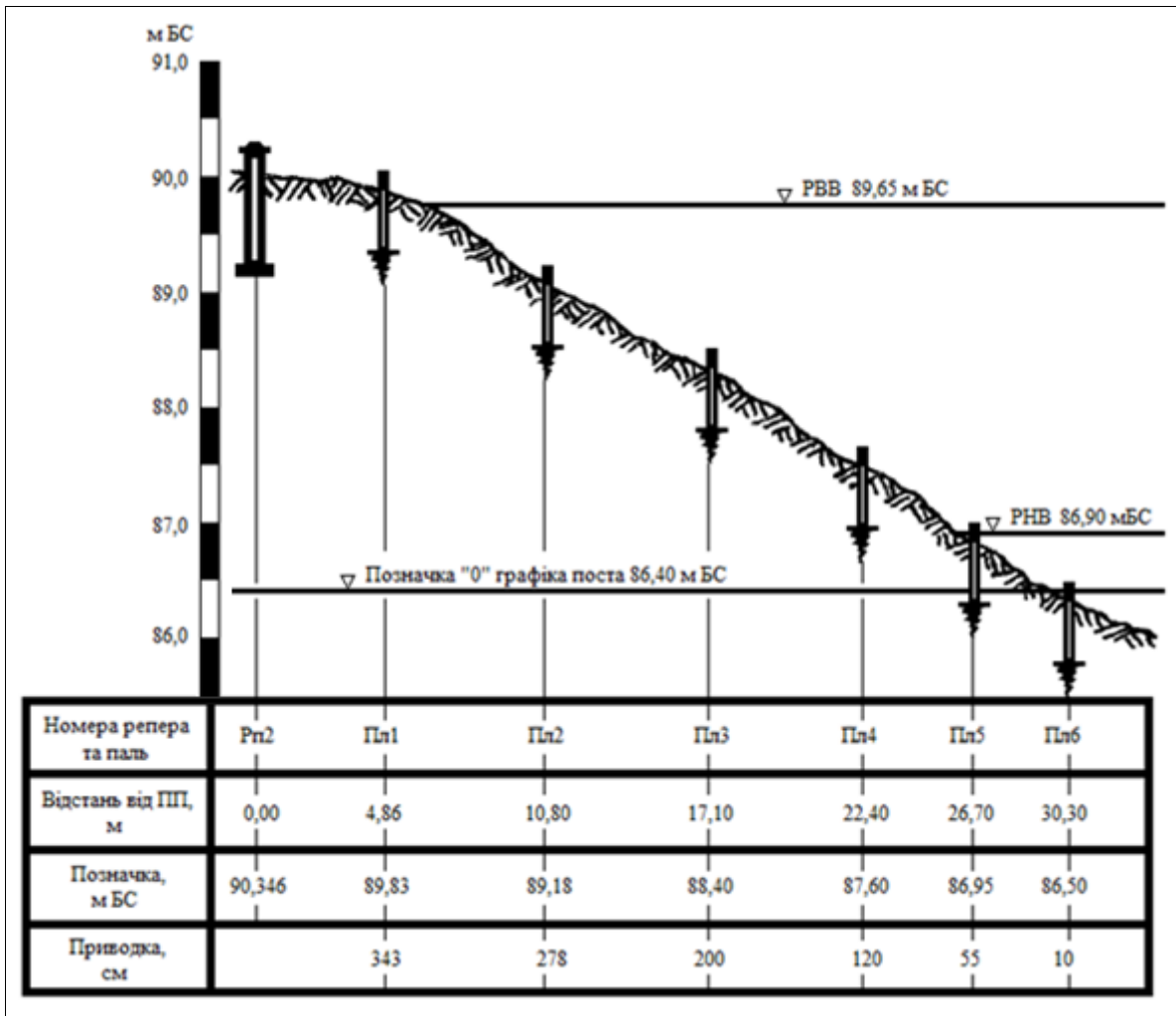


Рисунок 6.8 – Профіль пального водомірного поста

Питання для самоперевірки базових знань до пп. 6.2

1. Які вихідні дані необхідні для проектування пальново-рейкового водомірного поста?
2. В якій послідовності здійснюється проектування пальново-рейкового водомірного поста?
3. З урахуванням яких умов проектують висотне положення першої й останньої палі та суміжних палі між ними?
4. Що таке «приводка» та як вона визначається і навіщо потрібна на пальново-рейковому водомірному посту?
5. Який вигляд має проект пальново-рейкового водомірного поста?

*Питання для самоперевірки до теми № 6*

1. В якому порядку виконується обчислення висотних позначок пікетів для побудови профілю траси автодороги?
2. Який вигляд має схема основних елементів і положення головних точок кругової кривої (кривої повороту траси) та за якими формулами їх обчислюють?
3. За яким правилом та формулою визначають напрямок траси після її повороту?
4. Які вихідні дані необхідні для проектування пальово-рейкового водомірного поста?
5. З урахуванням яких умов проектують висотне положення першої й останньої палі та суміжних паль між ними?

## 7 ВИКОНАННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ НІВЕЛЮВАННЯ ІІІ ТА ІV КЛАСІВ

Нівелірні мережі ІІІ та ІV класів проектуються всередині полігонів вищого класу у вигляді окремих ходів або систем ходів з вузловими точками і призначаються для висотного обґрунтування мереж згущення, топографічних знімачів або вирішення інших інженерних задач.

### Організація і виконання нівелювання ІІІ та ІV класів включає:

- складання технічного проекту і рекогносцировку місцевості;
- закладання нівелірних знаків (реперів і марок);
- перевірки і дослідження приладів;
- виконання польових робіт;
- обробку результатів польових вимірювань і обчислення висот пунктів нівелювання.

### Технічний проект ходів нівелювання ІІІ та ІV класів установлює:

- перелік робіт;
- обсяг робіт і їх кошторис;
- порядок виконання і технічні вказівки щодо виконання робіт.

Проектування ходів виконується на картах масштабу 1:100000 і уточнюється в деталях на картах більш крупного масштабу.

Спочатку на карту наносять наявні в даній місцевості вихідні пункти нівелювання І, ІІ класів і раніше прокладених ходів нівелювання ІІІ, ІV класів, а також існуючі та знову запроєктовані пункти тріангуляції і полігонометрії. У межах полігону ІІ класу спочатку намічають ходи нівелювання ІІІ класу, а потім у межах полігону ІІІ класу – ходи нівелювання ІV класу.

Нівелірні лінії розташовують так, щоб всюди, за винятком гірських і важкопрохідних районів, висоти були передані геометричним нівелюванням на всі пункти тріангуляції і полігонометрії.

У гірських і важкопрохідних районах треба прагнути до отримання найбільшого числа пунктів з нівелірними знаками.

### У процесі рекогносцировки місцевості:

- перевіряється збереженість вихідних пунктів;
- вибираються місця закладки нових реперів і марок, які повинні закладатися в таких місцях, де можуть бути забезпечені їх нерухомість, довготривале збереження і зручність користування ними;
- уточнюється технічний проект.

У випадках, коли проектується тільки лінії нівелювання III та IV класів, рекомендується рекогносцировку місцевості виконувати одночасно із закладанням знаків. Нівелірні ходи III і IV класів закріплюють стінними і ґрунтовими реперами не рідше, ніж через 5 км.

Нівелювання III і IV класів виконують нівелірами, що задовольняють вимогам (нормам), які зазначені у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Вимоги до нівелірів, які призначені для нівелювання III та IV класів

№ п/п	Найменування характеристик	Норми по класах	
		III	IV
1	Збільшення зорової труби, не менше, крат	24	20-22
2	Ціна поділки циліндричного рівня, "/2 мм	$\leq 30$	
3	Коефіцієнт ниткового віддалеміра	100±1	
4	Діапазон роботи компенсатора, не менше, ' (кутові хвилини)	±15'	
5	Середня квадратична похибка установки лінії візування, " (кутові секунди)	$\leq 0,5''$	
6	Систематична похибка роботи компенсатора на 1' нахилу приладу, " (кутові секунди)	$\leq 0,3''$	
7	Зміна кута $i$ при зміні температури на 1°C, " (кутові секунди)	$\leq 0,8''$	
8	Середня квадратична похибка вимірювання перевищення на 1 км подвійного ходу, мм	$\leq 3$	$\leq 6$

Цим вимогам відповідають нівеліри Н-05, НБ, НА-1, Н-2, Н-3 та нівеліри з компенсатором типу Н-ЗКЛ, НИК-3М або їхні аналоги.

Нівелювання III класу виконують за допомогою штрихових інварних рейок типу РН-05, при використанні нівелірів Н-05, НБ, НА-1, Н-2 з плоскопаралельною пластиною, або шашкових триметрових двосторонніх рейок типу РН-3, при використанні нівелірів серії Н-3 або Н-ЗКЛ.

Нівелювання IV класу виконують нівелірами серії Н-3 або Н-ЗКЛ з використанням шашкових триметрових двосторонніх рейок типу РН-3.

Під час нівелювання застосовуються 2 рейки з різними п'ятками (наприклад, 4687 і 4786).

Перед початком робіт нівеліри і рейки досліджують і перевіряють. Порядок виконання перевірок і досліджень нівелірів серії Н-3 і рейок РН-3 розглянутий в темі 2 і лабораторних роботах 3 та 4.

**Полеві роботи при нівелюванні III класу** виконують способом із середини в прямому і зворотному напрямках секціями по 20-30 км.

Нормальна довжина візирного променя становить 75 м. Відстані від нівеліра до рейок вимірюють тонким тросом, просмоленою лінвою або по віддалемірних нитках.

Нерівність плечей на станціях має бути не більше 2 м, а накопичення їх по секції – не більше 5 м.

Висота візирного променя над підстильною поверхнею повинна бути не менше 0,3 м.

При роботі на станції нівелір захищають від сонячних променів за допомогою парасольки. Рейки встановлюють на костилі або башмаки прямовисно за допомогою круглого рівня.

Нівелювання виконують у періоди спокійних і чітких зображень.

У сонячні літні дні у зв'язку з сильним впливом рефракції не слід проводити нівелювання III класу протягом 1-1,5 годин після сходу і перед заходом сонця.

Нівелювання на станції виконують за наступними етапами (рис. 7.1):

**1** – устанавлюють нівелір у робоче положення та наводять трубу на чорну сторону задньої рейки  $P_1$  і, після приведення бульбашки циліндричного рівня елеваційним гвинтом на середину (суміщають зображення бульбашки) та її повного заспокоєння, знімають відліки  $a_{чор}$ ,  $a_{чор}'$ ,  $a_{чор}''$ , відповідно, по середній і віддалемірним ниткам сітки ниток (при використанні нівеліра з компенсатором всі спостереження виконують відразу після візування на рейку);

**2** – візують на чорну сторону передньої рейки  $P_2$  і, виконавши ті ж дії, які виконувалися при візуванні на чорну сторону задньої рейки  $P_1$ , беруть відліки  $b_{чор}$ ,  $b_{чор}'$ ,  $b_{чор}''$ ;

**3** – за сигналом спостерігача реєчники обертають рейки червоною стороною, після чого спостерігач по середній нитці сітки ниток на рейці  $P_2$  робить відлік  $b_{чер}$ ;

**4** – візують на червону сторону задньої рейки  $P_1$  і знімають по середній нитці сітки ниток відлік  $a_{чер}$ .



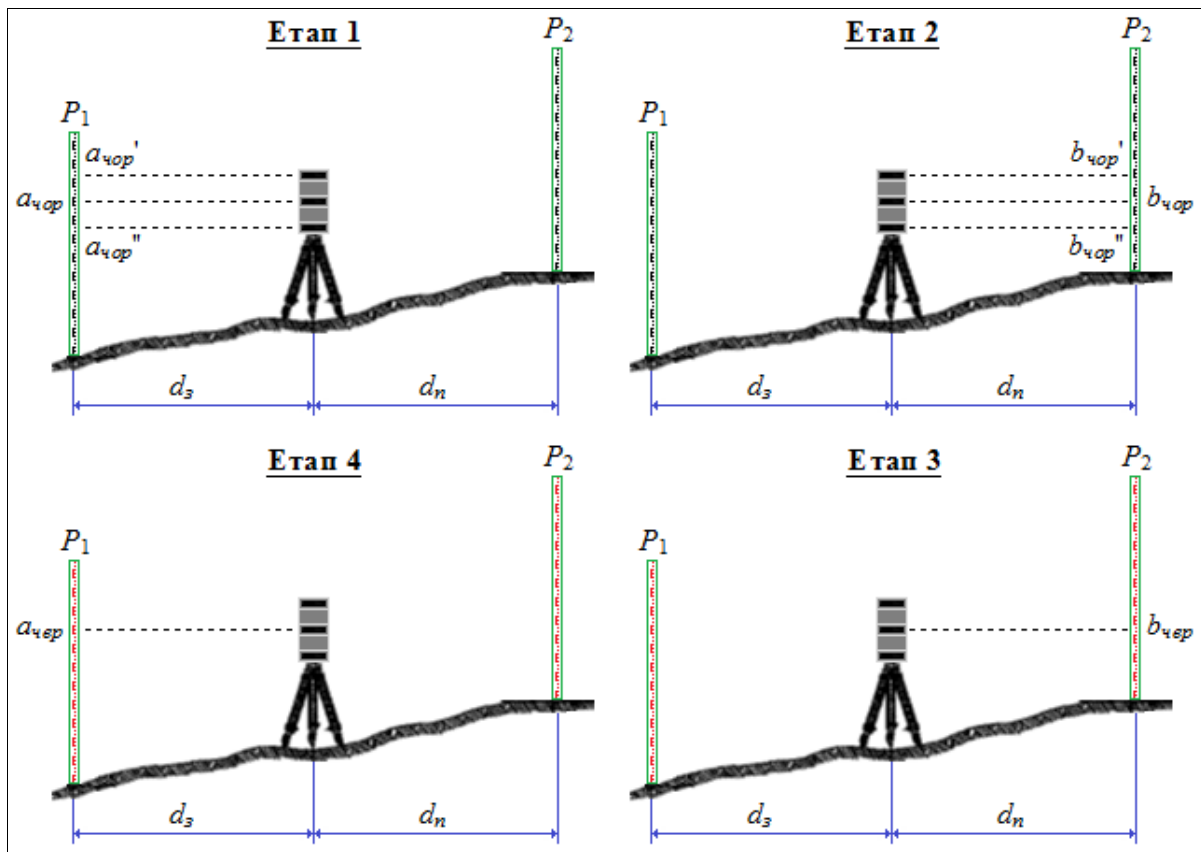


Рисунок 7.1 – Схема етапів нівелювання III класу на станції (пояснення позначень у тексті)

Результати спостережень (1)-(8) на станціях записують у польовий журнал установленної форми (табл. 7.2). Етапи обчислень і контрольних розрахунків на станції та порядок їх запису до журналу наведені нижче.

1. За відліками по віддалемірних нитках підраховують відстані від нівеліра до задньої  $d_з$  і передньої  $d_п$  рейок, порівнюють їх з результатами безпосереднього вимірювання тросом (линвою) та обчислюють нерівність плечей  $\Delta d$ :

$$d_з = a_{чор''} - a_{чор'} = (9) = (3) - (2) = 1380 - 1060 = 320;$$

$$d_п = b_{чор''} - b_{чор'} = (10) = (6) - (5) = 1917 - 1595 = 322;$$

$$\Delta d = d_з - d_п = (13) = (9) - (10) = 320 - 322 = -2.$$

2. За відліками на задній і передній рейках підраховують контрольні перевищення, отримані за віддалемірними нитками, і контрольне значення нерівності плечей  $\Delta d$ :

$$h' = a_{чор'} - b_{чор'} = (11) = (2) - (5) = 1060 - 1595 = -535;$$

$$h'' = a_{чор''} - b_{чор''} = (12) = (3) - (6) = 1380 - 1917 = -537;$$

$$\Delta d = h' - h'' = (13) = (12) - (11) = -537 - (-535) = -2.$$

Таблиця 7.2 – Журнал нівелювання III класу

Нівелір Н-3, № 254879  
Спостерігач: Іванов І. І.

Дата 12.07.2011 р.  
Обчислювач: Петров П. П.

Номера штативів та рейок	Спостереження за далекомірними нитками		Контрольні перевищення	Спостереження за середньою ниткою		Перевищення, мм	Середнє перевищення, мм	
	задня	передня		задня	передня			
1 1-2	1060 (2)	1595 (5)	-535 (11)	1220 (1)	1758 (4)	-538 (14)	-537,5 (19)	
	1380 (3)	1917 (6)	-537 (12)	5903 (8)	6540 (7)	-637 (15)		
	320 (9)	322 (10)	-2/-2 (13)	4683 (16)	4782 (17)	+99 (18)		
2 2-1	1350	0381	+969	1610	0641	+969	+968,5	
	1871	0901	+970	6393	5325	+1068		
	521	520	+1/-1	4783	4684	-99		
3 1-2	1281	0742	+539	1584	1041	+543	+542,5	
	1886	1341	+545	6266	5824	+442		
	605	599	+6/+5	4682	4783	+101		
4 2-1	2730	0957	+1773	2828	1055	+1773	+1772,5	
	2926	1154	+1772	7611	5739	+1872		
	196	197	-1/+4	4783	4684	-99		
Посторінкові контрольні розрахунки	1642 (20)	1638 (21)	+5496 (22) +2748 (23)	<u>33415</u> (24) <u>27923</u> (25) +5492 (28)	27923 (25)	+5492 (26) +2746 (29)	+2746 (27)	
Об'єднаний підсумок по секції від ґрунтового репера 4217 до стінної марки 587								
16 (42)	30853 (30)	30855 (31)	+7227 (32) +7225 (33)	<u>714612</u> (34) <u>700155</u> (35) +14457 (38)	700155 (35)	+14457 (36) +7228,5 (39)	+7228,5 (37)	
	6,2 км (41)		-2 (40)					
Об'єднані підсумки по секції в прямому та зворотному напрямках								
Середнє перевищення:				Середнє перевищення:				
– у прямому ході			+7228,5 мм	з прямого та зворотного ходів			+7234,8 мм	
– у зворотному ході			-7241,0 мм	Поправка на середню довжину пари рейок:				
Отримана нев'язка:			-12,5 мм	+0,11 мм × (+7,2) = 0,8 мм				
Гранична нев'язка:			±10 мм · √6,2 = ±24,9 мм	Виправлене середнє перевищення:				+7235,5 мм

Примітки:

- (1)-(8) – черговість записів спостережених величин на станції;
- (9)-(19) – черговість записів результатів обчислень та контрольних розрахунків на станції;
- (20)-(29) – черговість записів результатів виконання посторінкових контрольних розрахунків;
- (30)-(42) – черговість записів результатів виконання розрахунків об'єднаного підсумку по секції.

3. Різниці (13) повинні дати однакові результати, а отримане число (нерівність плечей) записують у чисельник, але якщо хід тільки почався, то це ж число повторюють ще раз у знаменнику.

4. Обчислюють перевищення за відліками на чорній  $h_{чор}$  і червоній  $h_{чер}$  сторонах рейок та їх різницю  $\Delta h_0$ , яка є величиною розбіжності нулів червоних сторін на задній і передній рейках:

$$\begin{aligned} h_{чор} &= a_{чор} - b_{чор} = (14) = (1) - (4) = 1220 - 1758 = -538; \\ h_{чер} &= a_{чер} - b_{чер} = (15) = (8) - (7) = 5903 - 6540 = -637; \\ \Delta h_0 &= h_{чор} - h_{чер} = (18) = (14) - (15) = -538 - (-637) = +99. \end{aligned}$$

5. Отримана різниця  $\Delta h_0$  не повинна відхилитися від знайденої при дослідженнях цих рейок на більш ніж  $\pm 3$  мм.

6. З використанням величин, які обчислюють як різниці відліків по червоній і чорній сторонах задньої  $h_{0,з}$  та передньої  $h_{0,п}$  рейок, визначають різницю нулів червоних сторін задньої та передньої рейок  $\Delta h_0$ , а також виконують контроль цих обчислень (шляхом порівняння  $\Delta h_0$ ):

$$\begin{aligned} h_{0,з} &= (16) = (8) - (1) = 5903 - 1220 = 4683; \\ h_{0,п} &= (17) = (7) - (4) = 6540 - 1758 = 4782; \\ \Delta h_0 &= (18) = (17) - (16) = 4782 - 4683 = +99; \\ \Delta h_0 &= (18) = +99. \end{aligned}$$

7. Потім обчислюють середнє з перевищень  $h_{сер}$  за відліками по чорній  $h_{чор}$  і червоній  $h_{чер}$  сторонам рейок (19) з урахуванням різниці нулів червоних сторін пари рейок  $\Delta h_0$ :

$$h_{сер} = \frac{h_{чор} + (h_{чер} \pm \Delta h_0)}{2}. \quad (7.1)$$

8. Контроль спостережень на станції полягає у наступному:

– розходження між значеннями перевищень, отриманими за чорними і червоними сторонами рейок, з урахуванням різниці нулів червоних сторін пари рейок, не повинне перевищувати  $\pm 3$  мм;

– якщо розходження між значеннями перевищень, отриманими за чорними і червоними сторонами рейок, з урахуванням різниці нулів червоних сторін пари рейок, перевищує  $\pm 3$  мм, то спостереження на станції виконують ще раз, змінивши попередньо на 3-5 см висоту нівеліра.

Одночасно з польовими спостереженнями виконують посторінковий контроль, який складається з обчислення:

– сум різниць відліків по віддалемірним ниткам на задній і передній рейках: (20) =  $\Sigma(9)$  та (21) =  $\Sigma(10)$ ;

– суми контрольних перевищень  $(22) = \Sigma[(11) + (12)]$ , яку далі ділять навпіл і отримують  $(23)$  – контрольне перевищення на сторінці;

– суми відліків на задній рейці по чорній та червоній сторонах:

$$(24) = \Sigma[(1) + (8)];$$

– суми відліків на передній рейці по чорній та червоній сторонах:

$$(25) = \Sigma[(4) + (7)];$$

– суми перевищень:  $(26) = \Sigma[(14) + (15)];$

– суми середніх перевищень:  $(27) = \Sigma(19).$

При відсутності помилок повинні виконуватися такі рівності:

– при парному числі штативів на сторінці:

$$(28) = (24) - (25) = (26) \quad \text{та} \quad (29) = (26)/2 = (27);$$

– при непарному числі штативів на сторінці до суми  $(26)$  слід додати величину різниці нулів червоних сторін пари рейок  $\Delta h_0$  з тим знаком, який вона мала на останньому штативі;

– сума контрольних перевищень  $(23)$  не повинна виходити за межі суми середніх перевищень  $(27) \pm 3 \cdot n$ , де  $n$  – кількість станцій на сторінці.

Наприкінці ходу виконують об'єднаний підсумок по секції  $(30)$ - $(42)$  в прямому та зворотному напрямках (табл. 7.2), який здійснюють за даними посторінкових контрольних обчислень.

Після завершення нівелювання по секції в прямому та зворотному напрямках виконують розрахунки і формують об'єднані підсумки (табл. 7.2).

При перервах у роботі:

– нівелювання слід закінчувати на постійному репері або на трьох кілках, які є точками останніх двох станцій (кілки забивають у дно ям глибиною 0,3 м і присилають землею);

– після перерви знову вимірюють перевищення на останній станції, а при необхідності і на передостанній;

– якщо перевищення змінилося не більш ніж на 3 мм, то хід продовжують;

– якщо перевищення змінилося більш ніж на 3 мм, то нівелювання по секції виконують заново від постійного знака.

При прив'язці нівелірних ходів до стінних марок виконують наступне:

– застосовують підвісну рейку довжиною 1,2 м з такими ж поділками, як на основних рейках;

– нуль на підвісній рейці при її підвісці поєднується з центром марки;

– при відсутності підвісної рейки допускається використання лінійки з міліметровими поділками.

Крім того, прив'язку нівелірного ходу до стінної марки допускається виконати таким чином: на стіні, на якій встановлена марка, відзначають проекцію трьох ниток нівеліра, а потім заміряють сталевую рулеткою або лінійкою відстані від центра марки до проекції ниток.

У кожному випадку спостереження виконують двічі, змінюючи перед повторними спостереженнями висоту нівеліра не менш ніж на 3 см.

Під час прокладання нівелірних ходів III класу складають їх схему, на якій показують:

- усі репери та марки;
- місцеві предмети, на які передані позначки;
- перевищення за основними ходами і за ходами, які прив'язуються, їх довжини та кількості станцій.

Обробка результатів нівелювання III класу включає:

- перевірку обчислень у польових журналах (табл. 7.2) та виконання посторінкового контролю й об'єднаних підсумків по секції;
- складання відомості перевищень, які виправляються за довжиною середнього метра пари рейок;
- визначення висотної нев'язки, ув'язку перевищень і обчислення всіх позначок (висот) точок ходу.

Гранична висотна нев'язка  $f_{h_{zp}}$  у нівелірних ходах III класу визначається за формулою:

$$f_{h_{zp}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(\text{км})}}, \quad (7.2)$$

де  $L_{(\text{км})}$  – довжина ходу, км.

Якщо фактична нев'язка  $f_h$  не перевищує допустиму, тобто  $f_h \leq f_{h_{zp}}$ , то проводять вирівнювання нівелірної мережі одним із строгих способів, заснованих на принципі методу найменших квадратів. За виправленими перевищеннями обчислюють позначки (висоти) постійних та тимчасових реперів, а їх значення заносять до каталогу висот пунктів нівелювання.

**Польові роботи при нівелюванні IV класу** виконують в одному напрямку між пунктами, висоти яких визначені нівелюванням II та III класів.

Довжина ліній нівелювання IV класу не повинна перевищувати 8 км на забудованій території та 12 км на незабудованій.

Нормальна довжина візирного променя приймається рівною 100 м. Якщо нівелювання виконують нівеліром, труба якого має збільшення не менше 30-х, то при відсутності коливань зображень дозволено збільшувати довжину візирного променя до 150 м. Відстані від нівеліра до рейок можна вимірювати віддалеміром.

Нерівність плечей на станції не повинна не більше 5 м, а накопичення в секції – не більше 10 м.

Висота візирного променя над підстильною поверхнею повинна бути не менше 0,2 м.

При виконанні нівелювання на заболоченій місцевості рекомендують застосовувати нівеліри з компенсаторами.

Порядок роботи на станції при прокладанні нівелірних ходів IV класу в основному той же, що і при нівелюванні III класу (див. рис. 7.1).

Етапи нівелювання на станції виконують у такому порядку:

**1** – установлюють нівелір у робоче положення та наводять трубу на чорну сторону задньої рейки, приводять бульбашку рівня елеваційним гвинтом на середину (суміщають зображення бульбашки), після повного заспокоєння бульбашки знімають відліки по верхній і середній ниткам;

**2** – наводять трубу на чорну сторону передньої рейки і виконують дії, як і на першому етапі;

**3** – наводять трубу на червону сторону передньої рейки та знімають відлік по середній нитці сітки ниток;

**4** – наводять трубу на червону сторону задньої рейки та беруть відлік по середній нитці сітки ниток.

Результати спостережень записують у польовий журнал (табл. 7.3).

За наявними на станції відліками (1)-(6) обчислюють:

– половину відстані в віддалемірних одиницях до задньої і передньої рейок: (7) = (2) – (1) та (8) = (4) – (3), при цьому їх коливання не повинне перевищувати 2,5 м (при  $K = 100$  коливання складає 25 одиниць);

– різницю нулів червоної та чорної сторін задньої і передньої рейок: (9) = (6) – (2) та (10) = (5) – (4);

– перевищення по чорних сторонах рейок: (11) = (2) – (4);

– перевищення по червоних сторонах рейок: (12) = (6) – (5);

– середнє перевищення на станції: (13) = [(11) + (12) ±  $\Delta h_0$ ] / 2, де  $\Delta h_0$  – різниця нулів червоних сторін пари рейок, отримана при їх дослідженні;

– різницю нулів червоних сторін пари рейок за результатами нівелювання: (14) = (10) – (9), при цьому відхилення величини (14) від  $\Delta h_0$  допускається не більше ±5 мм;

– контроль спостережень на станції полягає у визначенні розбіжності між значеннями перевищень, визначених по чорних і червоних сторонах рейок, з урахуванням різниці нулів червоних сторін пари рейок, яка не повинна перевищувати ±5 мм, а якщо ця розбіжність перевищує ±5 мм, то спостереження на станції виконують знову, змінивши попередньо на 3-5 см висоту нівеліра.

### Таблиця 7.3 – Журнал нівелювання IV класу

Нівелір Н-3, № 254879  
Спостерігач: Петров П. П.

Дата 07.07.2011 р.  
Обчислювач: Іванов І. І.

Номера станцій та рейок	Далекомірні відстані до задньої та передньої рейок	Відліки на рейках, мм		Перевищення, мм	Середнє перевищення, мм
		задня	передня		
	407 (7)	0245 (2)	2521 (4)		
1	410 (8)	0649 (1)	2931 (3)	-2282 (11)	
1-2	-6/-6	5436 (6)	7619 (5)	-2183 (12)	-2282 (13)
		4787 (9)	4688 (10)	-99 (14)	
	152	0201	1490		
2	147	0353	1637	-1284	
2-1	+5/-1	5040	6425	-1385	-1284
		4687	4788	+101	
	325	0275	0930		
3	319	0600	1249	-649	
1-2	+6/+5	5386	5936	-550	-650
		4786	4687	-99	
	119	1165	0239		
4	120	1284	0359	+925	
2-1	-1/+4	5971	5146	+825	+925
		4687	4787	+100	
Посторінкові контрольні розрахунки	1999 (20)	- 24719 (15) 31302 (16) +6583 (18)	31302 (16)	-6583 (17) -3292 (19)	-3191 (20)
Контрольні розрахунки наприкінці ходу					
49 (30)	27526 (28) 5,5 км (29)	- 363920 (22) 382052 (23) -18132 (25)	382052 (23)	-18132 (24) -9066 (26)	-9065 (27)

#### Примітки:

- (1)-(6) – черговість записів спостережених величин на станції;
- (7)-(14) – черговість записів результатів обчислень та контрольних розрахунків на станції;
- (15)-(21) – черговість записів результатів виконання посторінкових контрольних розрахунків;
- (22)-(30) – черговість записів результатів виконання контрольних розрахунків наприкінці ходу.



Одночасно з виконанням польової роботи здійснюють посторінковий контроль обчислень, для цього знаходять:

– суми відліків по середніх нитках на чорних і червоних сторонах окремо задньої (15) та передньої (16) рейок;

– суму перевищень (17), обчислених по чорних і червоних сторонах рейок, яка повинна дорівнювати різниці (18) = (15) – (16);

– при непарному числі станцій на сторінці журналу отриману суму перевищень (17) виправляють на величину різниці висот нулів червоних сторін пари рейок  $\Delta h_0$  з тим знаком, який  $\Delta h_0$  мала на останньому штативі;

– половина виправленої суми (17) / 2 = (19) має дорівнювати сумі середніх перевищень (20), однак за рахунок округлення чисел їх останній знак може відрізнятись на половину числа станцій на сторінці;

– розраховують суму половинних віддалей від нівеліра до рейок (21).

Наприкінці ходу виконують контрольні розрахунки (табл. 7.3), які здійснюють з використанням даних посторінкових контрольних обчислень. Черговість виконання та записів результатів контрольних розрахунків наприкінці ходу (22)-(28) аналогічні виконанню та записам результатів посторінкового контролю обчислень (15)-(21). Крім того, наприкінці ходу здійснюють підсумовування загальної довжини ходу  $L_{(км)}$  в кілометрах (29) та загальної кількості станцій  $n$  (30).

При кількості станцій  $n < 15$  на 1 км ходу, гранична висотна нев'язка  $f_{h_{zp}}$  у нівелірних ходах IV класу визначається за формулою:

$$f_{h_{zp}} = \pm 20 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}}. \quad (7.3)$$

При великих ухилах, коли кількість станцій  $n > 15$  на 1 км ходу, гранична висотна нев'язка  $f_{h_{zp}}$  визначається за формулою:

$$f_{h_{zp}} = \pm 5 \text{ мм} \cdot \sqrt{n}. \quad (7.4)$$

Якщо фактична нев'язка  $f_h$  не перевищує допустиму, тобто  $f_h \leq f_{h_{zp}}$ , то результати нівелювання мереж IV класу з достатнім числом вихідних пунктів допускається вирівнювати спрощеним способом. За виправленими перевищеннями обчислюють позначки (висоти) постійних та тимчасових реперів, а їх значення, як і за результатами нівелювання мереж III класу, заносять до каталогу висот пунктів нівелювання.



## **7.1 Обробка результатів нівелювання III та IV класів на прикладі вирівнювання одиночного нівелірного ходу та системи ходів прив'язки вузлового (контрольного) реперу до державної нівелірної мережі**

Обробка результатів нівелювання III та IV класів складається з попередніх і вирівнювальних обчислень.

Під час попередніх обчислень виконують наступне:

- перевірку матеріалів досліджень нівелірів і рейок;
- контроль польових обчислень у журналах нівелювання;
- складання відомостей перевищень;
- обчислення за попередніми вихідними даними висот нівелірних знаків спрощеними способами вирівнювання.

Вирівнювальні обчислення виконують з метою отримання ймовірних значень висот нівелірних знаків. Їх вважають остаточними, якщо вони виконані строгими способами на основі остаточних вихідних даних.

Далі представлений докладний зміст і порядок попередніх обчислень а також спрощеного способу вирівнювання одиночного нівелірного ходу.

### ***7.1.1 Попередні обчислення***

Вірність результатів нівелювання забезпечується надійним контролем їх виконання. З цією метою в дві руки перевіряють:

- польові журнали, де заново обчислюються перевищення і числа, що їх контролюють (посторінкові та об'єднані підсумки кожної секції);
- матеріали досліджень нівелірів і рейок, де переконуються в правильності використання отриманих результатів в обчисленнях перевищень.

Помічені помилки виправляються червоним чорнилом: закреслюється невірний результат і над ним записується вірний.

Відомості перевищень для обчислення висот знаків нівелювання III та IV класів складаються на кожну лінію.

У відомість нівелювання IV класу (табл. 7.4) з польових журналів виписують:

- типи та номери знаків;
- довжини секцій і число станцій;
- перевищення, виправлені поправкою за середню довжину метра рейок;
- дається опис місця розташування нівелірних знаків.

Внизу під рискою записують підсумкові значення:

- довжини ходу;
- кількості станцій;
- загального перевищення.

Таблиця 7.4 – Відомість перевищень і висот знаків нівелювання одиночного нівелірного ходу IV класу

Тип і № знаку	Місцеположення знаку	Відстань між знаками, км	Кількість станцій	Перевищення, м, поправки до перевищень, мм	Висота знака над рівнем моря, м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Грунтовий репер <b>14</b>	400 м на схід від с. Качури та 5 м на північ від дороги «Качури – Калістратівка»			+8	<b>141,820</b>
Стінний репер 133	с/мт Зайцеве, у західній стіні ТЕЦ	5,4	67	+1,081	142,91
Марка 3129	с. Петрівка, у стіні сільського клубу	4,8	54	+7,793	150,71
Волок	Пункт триангуляції 3 класу, 200 м на південь від с. Васюки та 10 м на схід від дороги «Васюки – Миронівка»	6,5	93	+10 –2,050	148,67
Марка <b>0594</b>	с. Сало, у західній стіні магазину	4,5	62	+7 +1,960	<b>150,635</b>
		21,2	276	+8,784	+8,815
$f_h = \sum h - (H_{кін} - H_{поч}) = +8784 - 8815 = -31 \text{ мм};$ $f_{h_{доп}} = \pm 20 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 20 \text{ мм} \cdot \sqrt{21,2} = \pm 92 \text{ мм}$					

Відомість перевищень III класу доповнюється ще трьома графами:

- перевищень зворотного ходу;
- різниці між перевищеннями прямого і зворотного ходів;
- середнього перевищення;

Крім того, у відомості перевищень III класу в графі 4 у знаменнику записують число станцій по секціях зворотного ходу.

### 7.1.2 Вирівнювальні обчислення

При виконанні геодезичних робіт окрім необхідних вимірювань виконують також і надлишкові вимірювання, які потім дають можливість:

- надійно контролювати вимірювання;
- підвищувати точність шуканих елементів;
- оцінювати точність визначення цих елементів.

Однак, при наявності надлишкових вимірів виникає неоднозначність отримання визначених величин, що призводить до нев'язки.

Для усунення невідповідностей, пов'язаних з виникненням нев'язки, математично виконується вирівнювання геодезичних вимірювань, в результаті якого знаходять поправки до виміряних величин.

Одиночний нівелірний хід, який прокладений між двома вихідними пунктами, або хід, побудований у формі замкнутого полігона, містить одне єдине надлишкове вимірювання.

Таким чином, в одиночному нівелірному ході внаслідок неминучих похибок, які супроводжують вимірювання перевищення, сума перевищень всього ходу не буде дорівнювати різниці висот вихідних реперів та/або марок, що обов'язково призводить до появи нев'язки.

Шукані поправки визначають шляхом розподілу отриманої нев'язки з оберненим знаком пропорційно зворотним вагам виміряних перевищень за секціями.

Вирівняні перевищення знаходять шляхом виправлення виміряних перевищень знайденими поправками.

За вирівняними перевищеннями обчислюються вирівняні найбільш надійні значення висот проміжних реперів.

Оцінка точності проведених вимірювань в одиночному нівелірному ході може бути виконана за різницею між перевищеннями, виміряними в секціях ходу в прямому і зворотному напрямках.

Відомо, що система ходів з однією вузловою точкою містить  $n - 1$  надлишкових вимірювань, де  $n$  – число ходів-ланок, які сходяться у вузловій точці. Найбільш надійне значення висоти вузлового репера в цьому випадку визначається за принципом вагового середнього з урахуванням ваг виміряних перевищень у ходах, що утворюють цю мережу.

Вирівнювання нівелірних мереж з багатьма вузловими точками виконується строго за методом найменших квадратів корелатним або параметричним способами.

Для нівелірних мереж з невеликим числом вузлових точок можна застосовувати такі наближені (спрощені) способи вирівнювання:

- спосіб еквівалентної заміни, заснований на ваговому середньому;
- спосіб послідовних наближень, заснований на параметричному способі вирівнювання;
- спосіб полігонів, заснований на корелатному способі вирівнювання.

### 7.1.3 Вирівнювання одиночного нівелірного ходу

Найбільш простим є вирівнювання (обчислення висот проміжних пунктів і оцінка точності їх визначення) одиночного ходу, що спирається на два вихідних пункти. Очевидно, що в цьому випадку сума перевищень ходу повинна бути дорівнювати різниці висот кінцевого і початкового пунктів. Однак, неминучі похибки нівелювання порушують цю умову, утворюючи нев'язку  $f_h$  ходу:

$$f_h = \sum h - (H_{\text{кін}} - H_{\text{поч}}), \quad (7.5)$$

де  $\sum h$  – сума середніх перевищень ходу;

$H_{\text{кін}}$  та  $H_{\text{поч}}$  – відповідно позначки (висоти) кінцевої та початкової марок або реперів (кінцевого і початкового вихідних пунктів).

Приймаючи в якості граничної похибки її подвоєне значення (для прямого і зворотного ходу або окремих секції ходу чи нівелірного полігону відповідного класу), для визначення допустимих нев'язок  $f_{h_{\text{доп}}}$  (в мм) використовують формули (7.2) та (7.3).

Порівнюючи значення отриманої нев'язки ходу  $f_h$  з величиною допустимої нев'язки ходу  $f_{h_{\text{доп}}}$  переконуються в придатності польових вимірювань.

Для отримання вирівняних значень перевищень нев'язку ходу  $f_h$  розподіляють з протилежним знаком пропорційно довжинам секцій, тобто:

$$v_{h_i} = -\frac{f_h}{L} l_i, \quad (7.6)$$

де  $v_{h_i}$  – поправка в перевищення  $i$ -ї секції, мм;

$l_i$  – довжина  $i$ -ї секції, км;

$L$  – довжина нівелірного ходу (полігону), км.

Якщо кількість станцій на один кілометр ходу в різних секціях значно відрізняється, то нев'язку розподіляють пропорційно кількості станцій:

$$v_h = -\frac{f_h}{N}n_i, \quad (7.7)$$

де  $N$  – кількість станцій в нівелірному ході (полігоні);

$n_i$  – кількість станцій  $i$ -й секції.

Ймовірне значення висот знаків обчислюють від початкового пункту до кінцевого, додаючи послідовно вирівняні перевищення секцій ходу. Висоти знаків III класу записують до 0,001 м, а IV класу – до 0,01 м (табл. 7.4).

Оцінку точності польових вимірювань в одиночному нівелірному ході виконують за різницями подвійних вимірів. Середню квадратичну похибку середнього перевищення за ходом (в полігоні) в 1 км обчислюють двічі, відповідно за основною та контрольною формулами:

$$m_{км} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{L}} \quad \text{або} \quad m_{км} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{[L]}}, \quad (7.8)$$

де  $\Delta$  – різниця між перевищеннями у прямому і зворотному ході у секції нівелірного ходу (полігону), мм;

$[L]$  – довжина ходу, км;

$L$  – довжина секції, км;

$n$  – кількість різниць.

Різниця  $\Delta$  між перевищеннями у прямому  $h_{np}$  і зворотному  $h_{зв}$  ході у секції нівелірного ходу (полігону) визначається за формулою

$$\Delta = h_{np} + h_{зв}, \quad (7.9)$$

Оцінка точності вирівняних значень полягає обчисленні середніх квадратичних похибок  $M_{H_i}$  проміжних реперів у ході:

$$M_{H_i} = \frac{m_{км}}{\sqrt{P_{H_i}}}, \quad (7.10)$$

де  $P_{H_i}$  – вага позначки проміжного репера.

### 7.1.4 Вирівнювання нівелірної мережі з однією вузловою точкою

При вирівнюванні систем нівелірних ходів (нівелірної мережі), які перетинаються в одній вузловій точці, спочатку визначають ймовірне значення висоти вузлової точки, а потім, приймаючи кожну ланку системи за розімкнутий хід між двома вихідними пунктами, урівноважують його звичайним способом, як це розглянуто вище.

Висота  $H_K$  вузлової точки  $K$  обчислюється за формулою загальної арифметичної середини, яка стосовно прикладу, наведеному в табл. 7.5, буде мати вигляд:

$$H_K = \frac{(H_A + h_{AK}) \cdot p_{AK} + (H_B + h_{BK}) \cdot p_{BK} + (H_C + h_{CK}) \cdot p_{CK}}{p_{AK} + p_{BK} + p_{CK}}, \quad (7.11)$$

де у дужках представлені приватні значення висоти вузлової точки  $K$ , отримані підсумовуванням вихідних висот з відповідними загальними перевищеннями ліній нівелювання.

На практиці допускається використання робочої формули загальної арифметичної середини, яка для прикладу в табл. 7.5 буде мати вигляд:

$$H_K = H_0 + \frac{p_1 \varepsilon_1 + p_2 \varepsilon_2 + p_3 \varepsilon_3}{p_1 + p_2 + p_3} = H_0 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]}, \quad (7.12)$$

де  $H_0$  – наближене значення позначки (можна приймати найменше приватне значення вузлової точки);

$\varepsilon_i = H_i - H_0$  – різниці (залишки) між приватними позначками  $H_i$  вузлової точки  $K$ , отриманими за кожним ходом, і наближеною позначкою;

$p_1, p_2, p_3, [p]$  – ваги приватних значень висот вузлової точки і сума цих ваг.

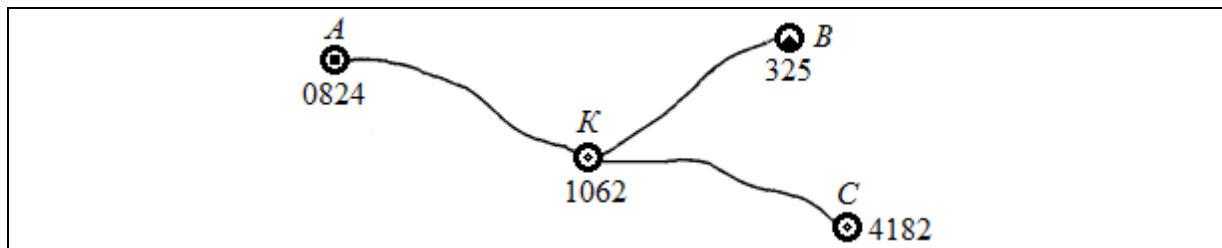
Ваги приватних значень висот вузлової точки визначають за формулою:

$$p_i = \frac{c}{L_i}, \quad (7.13)$$

де  $c$  – постійне число (наприклад, 100), яке обирається таким чином, щоб значення ваг виражалися для зручності обчислень невеликими числами;

$L_i$  – довжини окремих ходів у даній мережі, км.

Таблиця 7.5 – Вирівнювання висоти ґрунтового репера 1062 III класу



№ вихідного пункту	Довжини ходів, $L$ , км	Висоти вихідних пунктів, м	Перевищення, $h$ , м	Попередні висоти, $H$ , м	Залишок, $\varepsilon$ , мм	Ваги, $p = 100/L$	Добуток, $p\varepsilon$ , мм	Поправки, $v$ , мм	Контроль, $pv$ , мм	$pv^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0824	84,0	123,949	-15,477	108,472	+30	1,19	+35,7	-2	-2,4	5
325	116,5	98,654	+9,862	108,516	+74	0,86	+63,6	+42	+36,1	1517
4182	98,4	112,663	-4,221	108,442	0	1,02	0	-32	-32,6	1044
			$H_0 =$	108,442		$[p] =$	$[p\varepsilon] =$			$[pv^2] =$
			$H_K =$	108,474		3,07	+99,3			2566

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}} = \pm \sqrt{\frac{2566}{3-1}} = 35,8 \text{ мм}; \quad m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{c}} = \frac{35,8}{\sqrt{100}} = 3,6 \text{ мм};$$

$$M_{H_K} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{35,8}{\sqrt{3,07}} = 20,4 \text{ мм}$$

За наявності якісно неоднорідних ліній нівелювання, коли кількість станцій ходу  $n_i$  на 1 км у різних ходах значно відрізняється одне від іншого, ваги  $p_i$ , обчислюють за формулою:

$$p_i = \frac{c}{n_i}. \quad (7.14)$$

Величину  $c$  можна визначити за формулою:

$$c = (L_{\min} + L_{\max})/2, \quad (7.15)$$

де  $L_{\min}$  та  $L_{\max}$  – відповідно довжина мінімального та максимального ходів у даній мережі, км.

Після отримання ймовірного значення висоти  $H_K$  вузлової точки  $K$  визначають фактичні нев'язки  $v_1, v_2, v_3$  кожного з трьох ходів і порівнюють їх з допустимою нев'язкою  $f_{h_{\text{дон}}}$  для даного класу нівелювання:

$$\begin{aligned}v_1 &= H_K^1 - H_K, \\v_2 &= H_K^2 - H_K, \\v_3 &= H_K^3 - H_K,\end{aligned}\tag{7.16}$$

де  $v_1, v_2, v_3$  – фактичні нев'язки кожного з трьох ходів;  
 $H_K^1, H_K^2, H_K^3$  – приватні позначки вузлової точки;  
 $H_K$  – ймовірного значення висоти вузлової точки  $K$ .

Характеристикою точності вимірювань є середня квадратична похибка одиниці ваги  $\mu$ :

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}},\tag{7.17}$$

де  $v$  – поправки (або нев'язки із зворотним знаком  $v_i = -f_{h_i}$ );  
 $p$  – ваги окремих ходів;  
 $n$  – кількість всіх ходів;  
 $k$  – кількість вузлових точок.

Середню квадратичну похибку перевищення ходу довжиною в 1 км визначають за формулою:

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{c}}.\tag{7.18}$$

Середня квадратична похибка  $M_{H_K}$  зрівняного найбільш надійного значення висоти  $H_K$  вузлової точки  $K$  визначається за формулою:

$$M_{H_K} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}},\tag{7.19}$$

де  $[p]$  – сума ваг всіх ходів.



**7.1.4 Визначення врівноваженої висоти вузлової точки і точок одиночних ходів в системі нівелювання III класу та оцінка точності польових вимірів і обчислень**

Вихідні дані для визначення врівноваженої висоти точки: схема системи нівелірних ходів III класу з однією вузловою точкою з результатами нівелювання та вимірювання довжин нівелірних ходів (рис. 7.2).

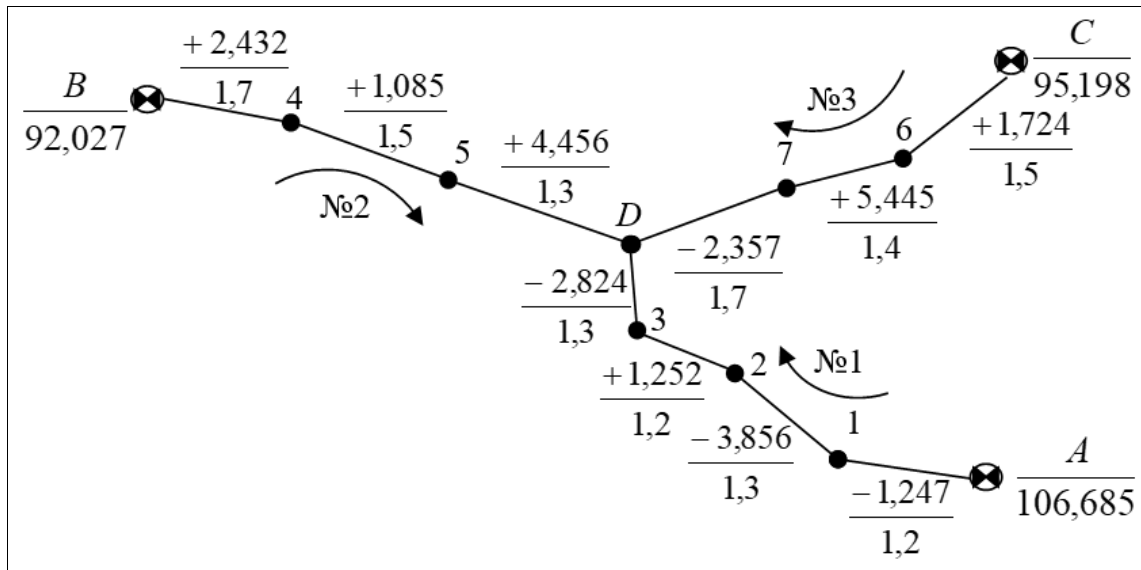


Рисунок 7.2 – Схема системи нівелювання III класу з однією вузловою точкою  $D$ :  
 №1 ( $A-D$ ), №2 ( $B-D$ ), №3 ( $C-D$ ) – номери (позначення) нівелірних ходів;  
 $\leftarrow \uparrow \rightarrow$  – стрілки, які вказують напрями ходів від реперів до вузлової точки;  
 1, 2, 3 – точки ходу  $A-D$ ; 4, 5 – точки ходу  $B-D$ ; 6, 7 – точки ходу  $C-D$ ;  
 $\frac{-3,856}{1,3}$  – значення перевищень (чисельник, м) та довжин (знаменник, км);  
 $\frac{A}{106,685}$  – позначення реперів (чисельник) та їх висот (знаменник, м)

Під час виконання вирівнювання системи нівелірних ходів III класу з однією вузловою точкою (рис. 7.2) вирішують наступні завдання:

**1** – обчислюють врівноважену висоту вузлової точки  $D$  та оцінюють точність польових вимірів і визначення врівноваженої висоти  $H_D$ ;

**2** – виконують врівноваження висот точок 1-7 ходів  $A-D$ ,  $B-D$  та  $C-D$ .

Нижче представлені етапи та послідовність виконання вирівнювання системи нівелірних ходів III класу з однією вузловою точкою.

1. Обчислення врівноваженої висоти вузлової точки  $D$  (табл. 7.6) та оцінка точності польових вимірів і визначення врівноваженої висоти  $H_D$ .

Таблиця 7.6 – Обчислення врівноваженої висоти вузлової точки  $D$

Хід до вузлової точки, $i$	Висоти вихідних точок, $H_{вих}$ , м	Сумарне перевищення за ходом, $h_i$ , м	Довжина ходу, $L_i$ , км	Вага ходу, $p_i = c / L_i$	Висота вузлової точки, $H_D = H_{вих} + h_i$	Поправка, $v_i$ , мм	$v_i^2$	$p_i v_i^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (A-D)	106,685	-6,675	5,0	1,000	100,010	-3	9	9,00
2 (B-D)	92,027	+7,973	4,5	1,111	100,000	+7	49	54,44
3 (C-D)	95,198	+4,812	4,6	1,087	100,010	-3	9	9,78
			$[p] =$	3,198	<b>100,007</b>		$[pv^2] =$	73,22

1.1. Вносять вихідні дані (з схеми на рис. 7.2) у розрахункову таблицю (табл. 7.6, в графі 1-4).

1.2. Визначають постійне число  $c$ , як середню арифметичну величину між довжинами мінімального  $L_{min}$  та максимального  $L_{max}$  ходів у даній системі ходів, округлюють величину  $c$  до цілого числа:

$$c = (L_{min} + L_{max}) / 2 = (4,5 \text{ км} + 5,0 \text{ км}) / 2 = 4,75 \text{ км} \approx 5 \text{ км}.$$

1.3. Обчислюють ваги кожного з ходів  $p_{A-D}$ ,  $p_{B-D}$ ,  $p_{C-D}$ , як відношення постійного числа  $c$  до довжини ходів  $L_{A-D}$ ,  $L_{B-D}$ ,  $L_{C-D}$  (табл. 7.6, графа 5):

$$p_{A-D} = c / L_{A-D} = 5 \text{ км} / 5,0 \text{ км} = 1,000;$$

$$p_{B-D} = c / L_{B-D} = 5 \text{ км} / 4,5 \text{ км} = 1,111;$$

$$p_{C-D} = c / L_{C-D} = 5 \text{ км} / 4,6 \text{ км} = 1,087.$$

1.4. Визначають суму ваг всіх ходів  $[p]$  (табл. 7.6, графа 5 – нижня строчка):

$$[p] = p_{A-D} + p_{B-D} + p_{C-D} = 1,000 + 1,111 + 1,087 = 3,198.$$

1.5. Розраховують висоту вузлової точки  $D$  кожного для з трьох ходів  $H^1_D$ ,  $H^2_D$ ,  $H^3_D$  (табл. 7.6, графа 6):

$$H^1_D = H_A + h_{A-D} = 106,685 \text{ м} + (-6,675) \text{ м} = 100,010 \text{ м},$$

$$H^2_D = H_B + h_{B-D} = 92,027 \text{ м} + (+7,973) \text{ м} = 100,000 \text{ м},$$

$$H^3_D = H_C + h_{C-D} = 95,198 \text{ м} + (+4,812) \text{ м} = 100,010 \text{ м}.$$

**1.6.** Визначають ймовірне значення висоти  $H_D$  вузлової точки  $D$  (табл. 7.6, графа 6 – нижня строчка):

$$H_D = \frac{(H_A + h_{A-D}) \cdot p_{A-D} + (H_B + h_{B-D}) \cdot p_{B-D} + (H_C + h_{C-D}) \cdot p_{C-D}}{p_{A-D} + p_{B-D} + p_{C-D}} =$$

$$= \frac{(106,685 - 6,675) \cdot 1 + (92,027 + 7,973) \cdot 1,111 + (95,198 + 4,812) \cdot 1,087}{1,000 + 1,111 + 1,087} =$$

$$= 100,007 \text{ м.}$$

**1.7.** Визначають поправки для кожного з трьох ходів  $v_{A-D}$ ,  $v_{B-D}$ ,  $v_{C-D}$  (табл. 7.6, графа 7):

$$v_{A-D} = H_D - H_D^1 = 100,007 \text{ м} - 100,001 \text{ м} = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм},$$

$$v_{B-D} = H_D - H_D^2 = 100,007 \text{ м} - 100,000 \text{ м} = +0,007 \text{ м} = +7 \text{ мм},$$

$$v_{C-D} = H_D - H_D^3 = 100,007 \text{ м} - 100,010 \text{ м} = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм}.$$

**1.8.** Порівнюють поправки, які визначені для кожного з трьох ходів  $v_{A-D}$ ,  $v_{B-D}$ ,  $v_{C-D}$  з їх граничними величинами  $f_{h_{zp,i}}$ , які визначають за формулою для нівелювання III класу:

– для нівелірного ходу від репера  $A$  до вузлової точки  $D$

$$f_{h_{zp,A-D}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(\text{км})}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{5,0} = \pm 22,4 \text{ мм} > v_{A-D} = -3 \text{ мм};$$

– для нівелірного ходу від репера  $B$  до вузлової точки  $D$

$$f_{h_{zp,B-D}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(\text{км})}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,5} = \pm 21,2 \text{ мм} > v_{B-D} = +7 \text{ мм};$$

– для нівелірного ходу від репера  $C$  до вузлової точки  $D$

$$f_{h_{zp,C-D}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(\text{км})}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,6} = \pm 21,4 \text{ мм} > v_{C-D} = -3 \text{ мм}.$$

**1.9.** Здійснюють оцінку точності польових вимірів шляхом розрахунку величини середньої квадратичної похибки одиниці ваги  $\mu$  та величини середньої квадратичної похибки виміру перевищення на 1 км ходу  $m_{\text{км}}$ .

Середня квадратична похибка одиниці ваги  $\mu$  дорівнює:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}} = \pm \sqrt{\frac{73,22}{3-1}} = \pm 6,05 \text{ мм.}$$

де  $[pv^2]$  – визначається в табл. 7.6 (див. графи 8 та 9);

$n$  та  $k$  – відповідно кількість всіх ходів та кількість вузлових точок.

Середня квадратична похибка виміру перевищення на 1 км ходу  $m_{\text{км}}$  дорівнює:

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{c}} = \frac{\pm 6,05}{\sqrt{5}} = \pm 2,7 \text{ мм.}$$

**1.10.** Оцінку точності обчислення врівноваженої висоти  $H_D$  вузлової точки  $D$  здійснюють шляхом розрахунку величини середньої квадратичної похибки її визначення  $M_{H_D}$ :

$$M_{H_D} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{\pm 6,05}{\sqrt{3,198}} = \pm 3,4 \text{ мм.}$$

**1.11.** Таким чином, врівноважена висота вузлової точки  $H_D$  складає:

$$H_D = 100,007 \text{ м} \pm 3,4 \text{ мм.}$$

**2.** Далі вирівнюють кожну ланку системи нівелірних ходів III класу як розімкнені ходи між двома вихідними пунктами звичайним способом (табл. 7.7 – хід від репера  $A$  до вузлової точки  $D$ , табл. 7.8 – хід від репера  $B$  до вузлової точки  $D$ , табл. 7.9 – хід від репера  $C$  до вузлової точки  $D$ ).

**2.1.** Вносять вихідні дані (з схеми на рис. 7.2 і з табл. 7.6) у розрахункові таблиці (табл. 7.7-7.9, в назви таблиць, в графи **1-3** – без нижньої строчки, в графу **6** – верхня та нижня строчки, в графу **7**).

**2.2.** Розраховують нев'язку  $f_h$  та порівнюють її величину з граничним значенням  $f_{h,сп}$  для кожного з нівелірних ходів (табл. 7.7-7.9, графи **2, 3, 6** – нижня строчка, перші дві строчки під таблицею):

– для нівелірного ходу від репера  $A$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.7)

$$f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_A) = -6,675 - (-6,678) = +0,003 \text{ м} = +3 \text{ мм,}$$

$$f_{h,сп} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{5,0} = \pm 22,4 \text{ мм;}$$

– для нівелірного ходу від репера  $B$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.8)

$$f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_B) = +7,973 - (+7,980) = -0,007 \text{ м} = -7 \text{ мм,}$$

$$f_{h,сп} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,5} = \pm 21,2 \text{ мм;}$$

– для нівелірного ходу від репера  $C$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.9)

$$f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_C) = +4,812 - (+4,809) = +0,003 \text{ м} = +3 \text{ мм,}$$

$$f_{h,сп} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,6} = \pm 21,4 \text{ мм.}$$

**2.3.** Обчислюють поправки  $v_{h_i}$  до перевищень між точками для всіх ліній ходу (табл. 7.7-7.9, графа **4**).

Наприклад, поправка до перевищення між точками 2 та 3 нівелірного ходу від репера  $A$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.7, графа **4**) буде дорівнювати:

$$v_{h_{2-3}} = -\frac{f_h}{L} \cdot l_{2-3} = -\frac{+3}{5,0} \cdot 1,2 = -0,72 \text{ мм} \approx -1 \text{ мм} = -0,001 \text{ м.}$$

Таблиця 7.7 – Обчислення врівноважених висот точок 1, 2 та 3 від репера  $A$  ( $H_A = 106,685$  м) до вузлової точки  $D$  ( $H_D = 100,007$  м)

Номера точок ходу	Довжина ліній ходу, $l_i$ , км	Перевищення між точками, $h_i$ , м	Поправки, $u_{h_i}$ , м	Виправлені перевищення, $h_{i,випр}$ , м	Вирівняні висоти, $H_i$ , м	Номера точок ходу
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
A	1,2	-1,247	0,000	-1,247	<b>106,685</b>	A
1	1,3	-3,856	-0,001	-3,857	105,438	1
2	1,2	+1,252	-0,001	+1,251	101,581	2
3	1,3	-2,824	-0,001	-2,825	102,832	3
D					<b>100,007</b>	D
	$L = \Sigma l_i =$	$\Sigma h_i =$	$\Sigma u_{h_i} =$	$\Sigma h_{i,випр} =$	$H_D - H_A =$	
	5,0	-6,675	-0,003	-6,678	-6,678	

Нев'язка ходу:  $f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_A) = -6,675 - (-6,678) = +0,003$  м = +3 мм.

Гранична нев'язка:  $f_{h,гп} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{5,0} = \pm 22,4 \text{ мм}$ .

Контроль:  $\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(+0,003 \text{ м}) = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм}$ ;  $\Sigma h_{i,випр} = H_A - H_D = -6,678 \text{ м}$ .

Таблиця 7.8 – Обчислення врівноважених висот точок 4 та 5 в ході від репера  $B$  ( $H_B = 92,027$  м) до вузлової точки  $D$  ( $H_D = 100,007$  м)

Номера точок ходу	Довжина ліній ходу, $l_i$ , км	Перевищення між точками, $h_i$ , м	Поправки, $u_{h_i}$ , м	Виправлені перевищення, $h_{i,випр}$ , м	Вирівняні висоти, $H_i$ , м	Номера точок ходу
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
B	1,7	+2,432	+0,003	+2,435	<b>92,027</b>	B
4	1,5	+1,085	+0,002	+1,087	94,462	4
5	1,3	+4,456	+0,002	+4,458	95,549	5
D					<b>100,007</b>	D
	$L = \Sigma l_i =$	$\Sigma h_i =$	$\Sigma u_{h_i} =$	$\Sigma h_{i,випр} =$	$H_D - H_B =$	
	4,5	+7,973	+0,007	+7,980	+7,980	

Нев'язка ходу:  $f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_B) = +7,973 - (+7,980) = -0,007$  м = -7 мм.

Гранична нев'язка:  $f_{h,гп} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{(км)}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,5} = \pm 21,2 \text{ мм}$ .

Контроль:  $\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(-0,007 \text{ м}) = +0,007 \text{ м}$ ;  $\Sigma h_{i,випр} = H_B - H_D = +7,980 \text{ м}$ .

Таблиця 7.9 – Обчислення врівноважених висот точок 6 та 7 від репера  $C$  ( $H_C = 95,198$  м) до вузлової точки  $D$  ( $H_D = 100,007$  м)

Номера точок ходу	Довжина ліній ходу, $l_i$ , км	Перевищення між точками, $h_i$ , м	Поправки, $u_{h_i}$ , м	Виправлені перевищення, $h_{i,випр}$ , м	Вирівняні висоти, $H_i$ , м	Номера точок ходу
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
$C$	1,5	+1,724	-0,001	+1,723	<b>95,198</b>	$C$
6					96,921	6
7	1,4	+5,445	-0,001	+5,444	102,365	7
	1,7	-2,357	-0,001	-2,358		
$D$					<b>100,007</b>	$D$
	$L = \Sigma l_i =$	$\Sigma h_i =$	$\Sigma u_{h_i} =$	$\Sigma h_{i,випр} =$	$H_D - H_C =$	
	4,6	+4,812	-0,003	+4,809	+4,809	

Нев'язка ходу:  $f_h = \Sigma h_i - (H_D - H_C) = +4,812 - (+4,809) = +0,003$  м = +3 мм.

Гранична нев'язка:  $f_{h,зр} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L(\text{км})} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4,6} = \pm 21,4 \text{ мм}$ .

Контроль:  $\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(+0,003 \text{ м}) = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм}$ ;  $\Sigma h_{i,випр} = H_C - H_D = +4,809 \text{ м}$ .

**2.4.** Контроль обчислення поправок  $u_{h_i}$  до перевищень між точками здійснюють шляхом порівняння суми усіх поправок для всіх ліній ходу  $\Sigma u_{h_i}$  з величиною нев'язки ходу  $f_h$  зі зворотним знаком (табл. 7.7-7.9, остання строчка під таблицею):

– для нівелірного ходу від репера  $A$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.7)

$$\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(+0,003 \text{ м}) = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм};$$

– для нівелірного ходу від репера  $B$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.8)

$$\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(-0,007 \text{ м}) = +7 \text{ мм};$$

– для нівелірного ходу від репера  $C$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.9)

$$\Sigma u_{h_i} = -f_h = -(+0,003 \text{ м}) = -0,003 \text{ м} = -3 \text{ мм}.$$

**2.5.** Визначають виправлені перевищення  $h_{i,випр}$  (табл. 7.7-7.9, графа **5**) та вирівняні висоти точок  $H_i$  (табл. 7.7-7.9, графа **6**).

**2.6.** Контроль обчислення вирівняних висот  $H_i$  здійснюють шляхом порівняння суми виправлених перевищень  $\Sigma h_{i,випр}$  та різниці висот початкового репера і вузлової точки (табл. 7.7-7.9, остання строчка під таблицею):

– для нівелірного ходу від репера  $A$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.7)

$$\Sigma h_{i,випр} = H_D - H_A = -6,678 \text{ м};$$

– для нівелірного ходу від репера  $B$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.8)

$$\Sigma h_{i,випр} = H_D - H_B = +7,980 \text{ м};$$

– для нівелірного ходу від репера  $C$  до вузлової точки  $D$  (табл. 7.9)

$$\Sigma h_{i,випр} = H_D - H_C = +4,809 \text{ м}.$$

## Питання для самоперевірки базових знань до пп. 7.1

1. Що і з якою метою виконують на етапі попередніх обчислень під час обробки результатів нівелювання III та IV класів?
2. Які мета виконання та склад вирівнювальних обчислень під час обробки результатів нівелювання III та IV класів для одиночного нівелірного ходу?
3. З чим пов'язано утворення і як визначають нев'язки нівелірного ходу та за якої умови і яким чином її розподіляють для отримання вирівняних значень перевищень?
4. Яким чином виконуються оцінка точності польових вимірювань та вирівняних значень перевищень в одиночному нівелірному ході?
5. В яких випадках використовують і в чому полягають вирівнювання нівелірної мережі з однією вузловою точкою, способом еквівалентної заміни, способом послідовних наближень та способом полігонів (способом червоних чисел) проф. В. В. Попова?

### **7.2 Передача висотної позначки через водні перешкоди шириною понад 100 м**

Досить часто траса нівелірного ходу перетинає перешкоди (водойми та водотоки, глибокі яри), ширина яких перевищує довжину нормального візирного променя. Способи передачі висот у цьому випадку залежать від протяжності перешкод і місцевих умов.

Нижче розглянуті принципи особливості деяких з них – особливі випадки нівелювання III та IV класів.

#### ***7.2.1 Нівелювання через водні перешкоди***

**1. Нівелювання IV класу через водні перешкоди шириною 200-400 м** дозволяється виконувати з використанням урізу води. З цією метою на протилежних берегах установлюють репери **A** та **D**, а поблизу урізу води викопують відвідні канавки, в яких забивають урізні кілки **B** та **C** на рівень поверхні води (рис. 7.3).

Кілки **B** та **C** в канавках зв'язують нівелюванням відповідно з реперами **A** та **D** на берегах і в результаті отримують відповідні перевищення  $h_{AB}$  і  $h_{CD}$ .

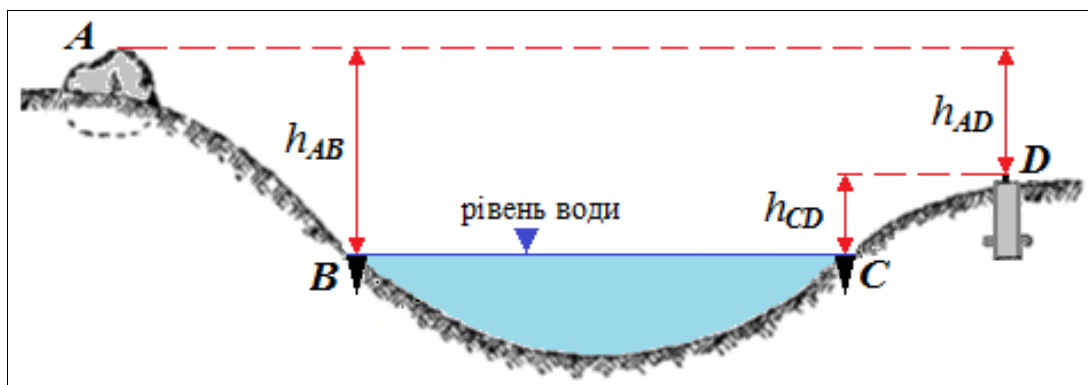


Рисунок 7.3 – Схема визначення перевищення за допомогою рівня води

Якщо вважати рівень води горизонтальним, то перевищення  $h_{AD}$  між реперами  $A$  та  $D$ , як видно з рис. 7.3, буде дорівнювати (табл. 7.10):

$$h_{AD} = h_{AB} - h_{CD}. \quad (7.20)$$

Для контролю, перевищення  $h_{AD}$  повторно визначають з використанням другої пари кілків, які забивають на деякому віддаленні від першої пари. Різниця між перевищеннями не повинна відрізнитися більш ніж на  $\pm 20$  мм. Остаточне перевищення обчислюють як середнє арифметичне з двох значень.

Таблиця 7.10 – Приклад розрахунку перевищення, визначеного шляхом нівелювання IV класу через річку шириною 300 м за допомогою двох пар урізних кілків

Номер пари урізних кілків	Виміряні між реперами та урізом перевищення, м		Визначення перевищення між реперами			
			Перевищення, м		Різниця, мм	
	$h_{AB}$	$h_{CD}$	$h_{AD} = h_{AB} - h_{CD}$	фактична	допустима	
1-а пара	2,598	0,502	2,096	-8	±20	2,100
2-а пара	2,601	0,497	2,104			

**2. Нівелювання III та IV класів через водні перешкоди шириною до 200 м** виконують з дотриманням таких вимог:

- рівності віддалей до передньої та задньої рейок;
- перевищення визначається двома прийомами, змінюючи між першим і другим прийомами висоту приладу на 3-5 см;
- розбіжність перевищень між прийомами допускати не більше  $\pm 4$  мм для III класу та не більше  $\pm 7$  мм для IV класу.



Найгіршим випадком нівелювання вважається такий, при якому один промінь проходить над водою, а інший – над берегом (рис. 7.4, *a*), тому що у даному випадку вплив рефракції буде різним. Однак нівелювання виконується і в цьому випадку, але обов’язково двома прийомами з обох берегів. Перевищення  $h_{TP122-TP1}$ , які визначені з різних берегів, не повинні розбігатися більш ніж на  $\pm 10$  мм. Остаточне перевищення обчислюють як середнє арифметичне з двох значень (табл. 7.11).

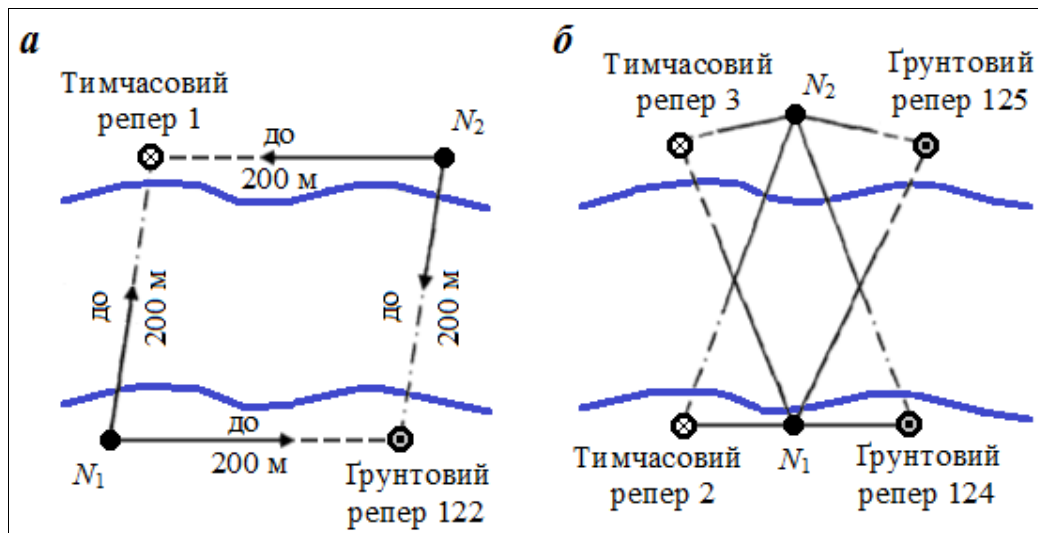


Рисунок 7.4 – Нівелювання через водну перешкоду:  
*a* – шириною до 200 м; *б* – шириною понад 200 м

Таблиця 7.11 – Приклад розрахунку перевищення, визначеного шляхом нівелювання III класу через річку шириною 150 м двома прийомами з обох берегів річки

Берег річки	Вимірне двома прийомами перевищення, $h_{TP122-TP1}$ , м	Різниця, мм		Середнє значення перевищення, м
		фактична	допустима	
Лівий	1,003	+5	$\pm 10$	1,001
Правий	0,998			

**3. Нівелювання III та IV класів через водні перешкоди шириною понад 200 м** можуть бути виконані при нерівних відстанях від нівеліра до рейок, зробивши перший півприйм з одного берега, другий – з іншого (рис. 7.4, *б*).

Якщо перше перевищення буде перебільшене, то настільки ж друге перевищення буде применшене (або навпаки).

Середнє арифметичне з обох перевищень має бути вільним:

- від впливу непаралельності візирної осі й осі рівня;
- від впливу кривини Землі та частково від впливу рефракції.

**4. Нівелювання III та IV класів через водні перешкоди (річки, озера й болота) взимку по льоду** виконують у виняткових випадках з дотриманням наступних умов:

- нівелювання виконують по найбільш короткому шляху;
- на обох берегах водного об'єкту завчасно закладають по два постійних репера;
- перед початком нівелювання по льоду трасу очищають від снігу;
- відстані від нівеліра до рейок мають бути такими ж, як і під час звичайного нівелювання;
- у місцях для постановки рейок пробивають у льоді отвори, в які уморожують дерев'яні кілки довжиною 20-30 см і діаметром 8-10 см з забитими в їх торці цвяхами із сферичними головками;
- у місцях установки нівеліра для кожної ніжки штатива уморожують кілки довжиною 10-15 см і товщиною 8-10 см;
- порядок спостережень і допуски на станціях мають бути такими ж, як і під час звичайного нівелювання.

### 7.2.2 Нівелювання ярів

При перетинанні трасою нівелювання глибокого яру на крутих його схилах, доводиться робити багато іксових точок (рис. 7.5), що веде до швидкого накопичення похибок.

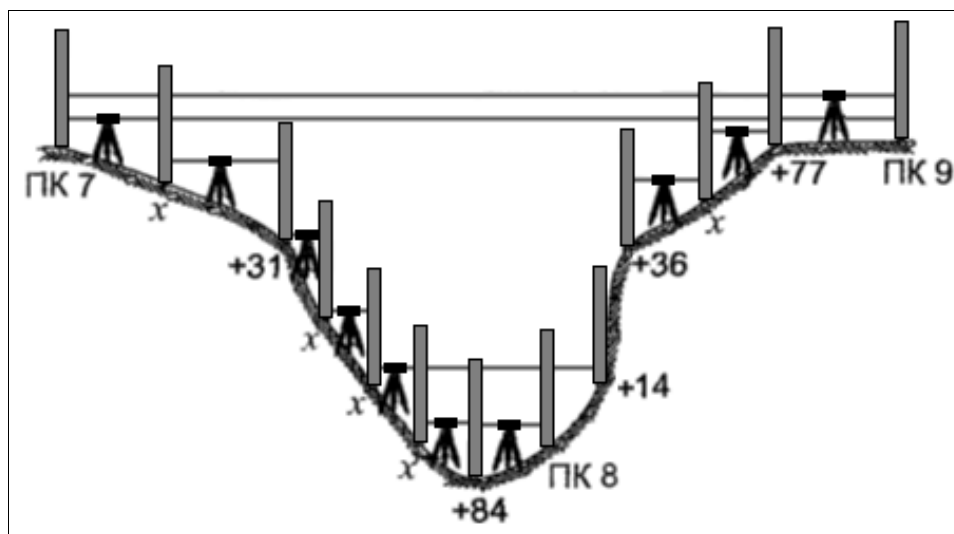


Рисунок 7.5 – Схема нівелювання яру

Для підвищення точності нівелювання, позначку через яр з однієї його бровки (рис. 7.5, ПК 7) на іншу (рис. 7.5, ПК 9) передають так само, як і через річку (див. способи 1-3). Отримані висоти точок на бровках служать потім вихідними даними для нівелювання схилів яру. При спуску в яр слід за можливості брати відліки і на точки, які знаходяться на протилежному схилі яру (рис. 7.5), записуючи їх як проміжні.

#### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 7.2

1. Які випадки нівелювання III і IV класів належать до особливих і які способи передачі висот при цьому використовують?
2. Який вигляд має схема визначення перевищення за допомогою рівня води та формула для обчислення перевищення?
3. Яких вимог необхідно дотримуватися при нівелюванні III і IV класів через річки шириною до 200 м?
4. Чим відрізняється схеми нівелювання через річку (водну перешкоду) шириною менше 200 м від нівелювання через річку шириною більше 200 м?
5. Яким чином здійснюється нівелювання при перетині глибокого яру на крутих його схилах?

#### *Питання для самоперевірки до теми № 7*

1. Які мета виконання та склад вирівнювальних обчислень під час обробки результатів нівелювання III та IV класів для одиночного нівелірного ходу?
2. З чим пов'язано утворення і як визначають нев'язки нівелірного ходу та за якої умови і яким чином її розподіляють для отримання вирівняних значень перевищень?
3. Які випадки нівелювання III і IV класів належать до особливих і які способи передачі висот при цьому використовують?
4. Яких вимог необхідно дотримуватися при нівелюванні III і IV класів через річки шириною до 200 м?
5. Чим відрізняється схеми нівелювання через річку (водну перешкоду) шириною менше 200 м від нівелювання через річку шириною більше 200 м?

## **8 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ**

Основним видом геодезичного забезпечення моніторингу водних об'єктів (річок, озер, каналів, ставків і водосховищ різних розмірів тощо) є передусім планово-висотне обґрунтування гідрологічних (гідрометричних) та гідроекологічних (гідрохімічних і гідробіологічних) робіт. До складу цих робіт входять: висотна прив'язка до реперів Державної геодезичної мережі за допомогою нівеліру, визначення позначок водної та земної поверхні, розбивка й орієнтування магістралі та створів з використанням приладів для лінійних вимірювань, кутомірних приладів і GPS, визначення ширини річки за допомогою теодоліту, GPS, мірної стрічки, тросу, визначення положення поверхневих поплавців або швидкісних вертикалей у гідрометричному створі з використанням теодоліту (при визначенні витрат води поверхневими поплавцями і гідрометричними млинками), виконання промірів глибин на водоймах і водотоках різних розмірів з використанням ехолоту, лоту механічного з вантажем рибоподібної форми, лоту ручного або лотліню), штанги гідрометричної, рейки водомірної переносної, обробка одержаних матеріалів.

Крім того, перед початком польових робіт на водних об'єктах також обов'язково виконується рекогносцировка місцевості (способом GPS або окомірно-бусольна зйомки). Рекогносцировка – це здійснення попередніх огляду і обстеження водного об'єкту та прилеглої місцевості, з метою вибору місць розташування пунктів спостережень і вимірювань. Її можна виконувати з використанням планшету для записів (рис. 8.1), ручної бусолі (рис. 8.2), лотліня (рис. 8.3), лоту механічного (рис. 8.4), приймача GPS (рис. 8.5), ехолоту (рис. 8.6), приладів для лінійних вимірювань (мірних стрічок, рулеток, лазерних віддалемірів), годинника (бажано з секундною стрілкою), плавзасобів тощо.

Висотне обґрунтування необхідне для проведення робіт у єдиній Державній системі висот. Також, висотне обґрунтування потрібне при виконанні ряду гідрологічних і гідроекологічних робіт. Наприклад, під час організації водомірних постів, для визначення уклонів водної поверхні, шорсткості і деформацій русел тощо. Для збереження висотних позначок у районі проведення робіт закладається один або два репери – основний і контрольний. Висотні позначки цих реперів визначаються нівелюванням до реперів Державної висотної мережі.

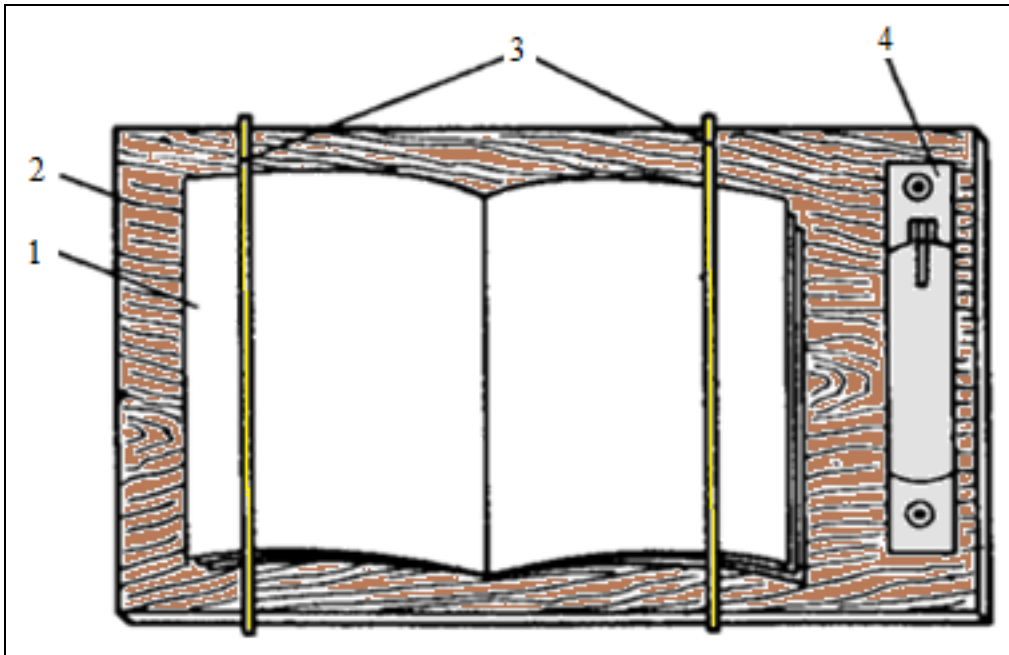


Рисунок 8.1 – Планшет для записі вимірювань:

1 – польовий журнал, 2 – лист фанери, 3 – гумка, 4 – футляр з олівцем

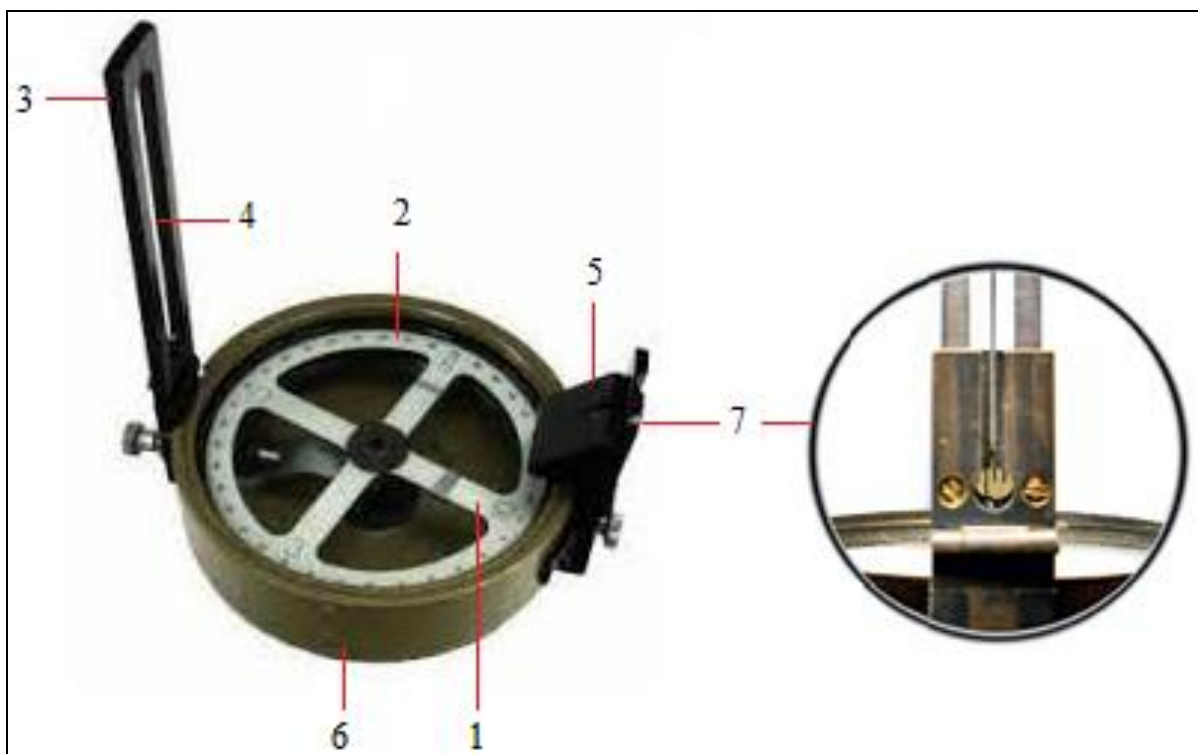


Рисунок 8.2 – Ручна бусоль БШ-1 (бусоль Шмалькальдера):

1 – магнітна стрілка, 2 – лімб, 3 – предметний діоптр, 4 – візирна нитка, 5 – діоптр для ока, 6 – кільце для захисту, 7 – призматична лупа

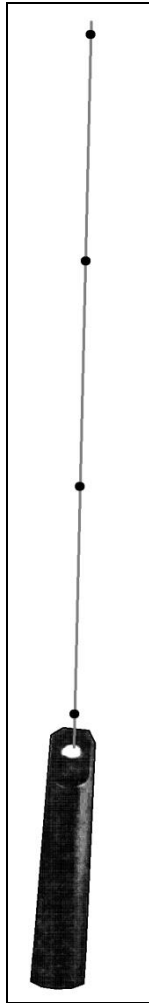


Рисунок 8.3 – Лот промірний ручний (лотлінь)  
ЛПР-48 з вантажем та розміченим лінем (або тросом)

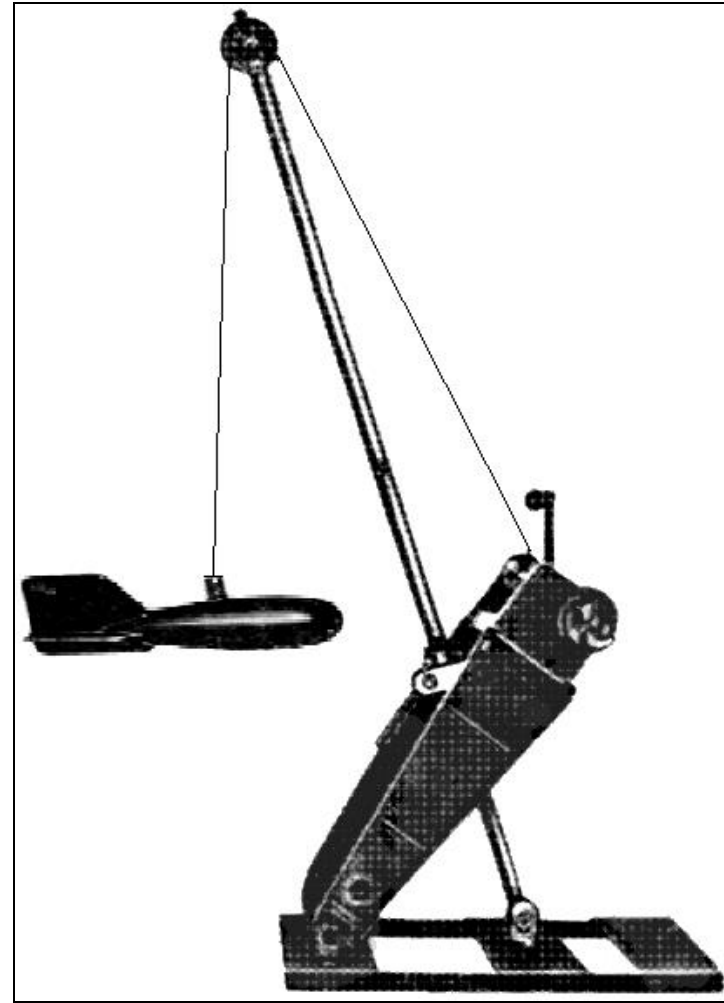


Рисунок 8.4 – Лот механічний (гідрометрична лебідка)  
«Нева» (ПН-23) з вантажем рибоподібної форми

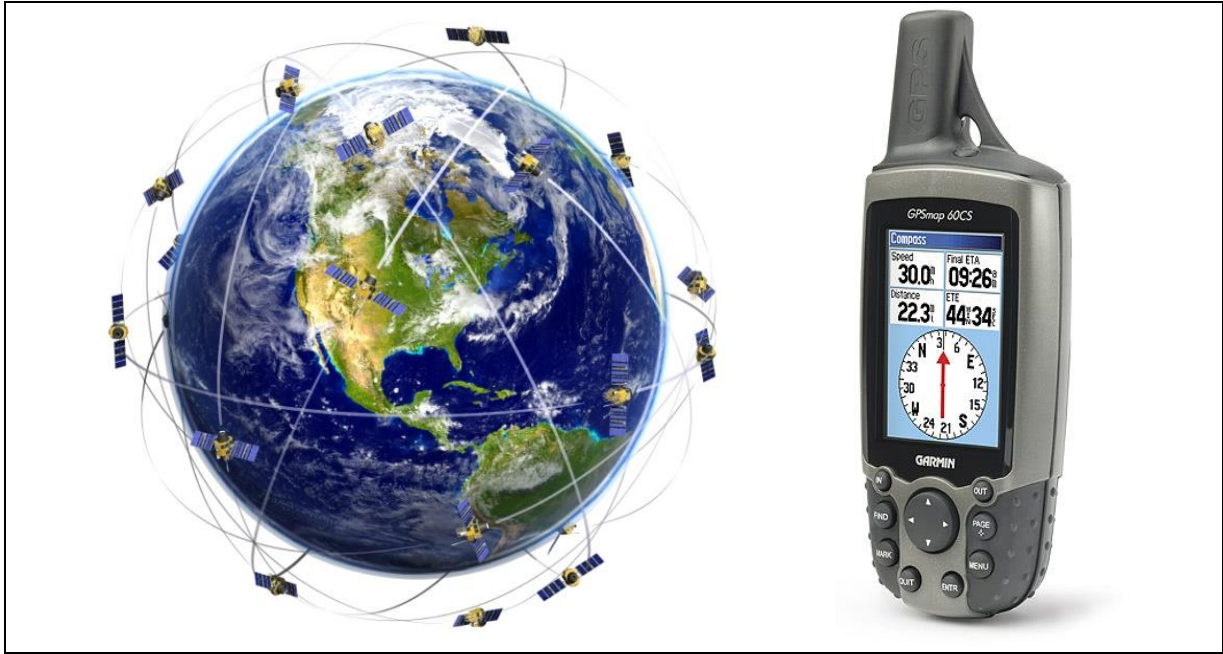


Рисунок 8.5 – Орбітальне угруповання супутників системи GPS та цивільний GPS навігатор «GPSmap 60CS» (фірма «Garmin»)

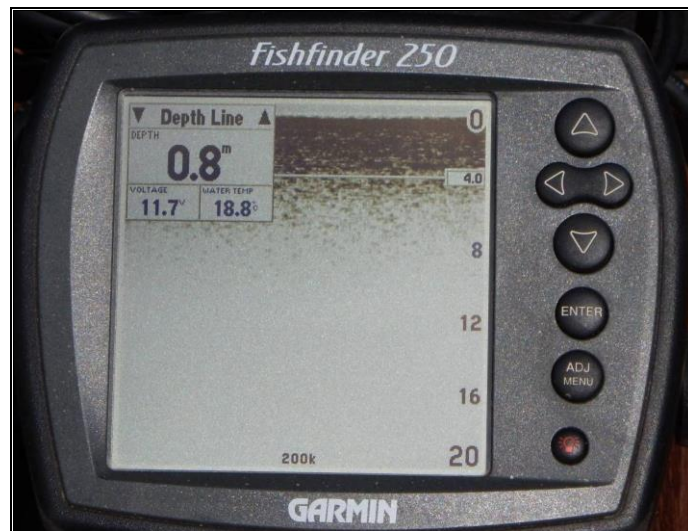


Рисунок 8.6 – Екран електронного ехолоту «Fishfinder 250» (фірма «Garmin»)

Для координування станцій (визначення і фіксації місця положення) гідроекологічних робіт, промірних вертикалей (для визначення глибин) й інших досліджень на водних об'єктах (в системі WGS-84) застосовують сучасну технологію GPS (Global Positioning System). GPS приймачі дають географічні координати, висоту, швидкість та напрям руху, електронну карту місцевості тощо.

Слід зазначити, що однією з найважливіших передумов збереження, відновлення та примноження водних ресурсів є формування суворих водоохоронних обмежень використання прибережних захисних смуг водойм і водотоків, що мають запобігати забрудненню водних об'єктів, знищенню біорізноманіття тощо. Саме тому законодавством України (перш за все, Водним і Земельним кодексами України) прибережні захисні смуги і водоохоронні зони оголошено територіями обмеженого господарського використання. У зв'язку з цим, геодезичне забезпечення досліджень стану земель водного фонду має важливе значення, особливо при визначенні ширини та положення прибережних захисних смуг водних об'єктів.

## **8.1 Побудова профілю поперечного перерізу річки та визначення основних морфометричних характеристик її русла**

Проміри глибин водойм і водотоків – це вид натурних вимірювань, який дозволяє отримати інформацію про розподіл глибин, характер і ґрунт дна водних об'єктів.

### ***8.1.1 Виконання промірів глибин на водних об'єктах***

До комплексу промірних робіт на річках різних розмірів входять:

- 1) розбивка магістралі і промірних створів (див. рис. 8.7);
- 2) визначення і закріплення промірних вертикалей на плані (в створі);
- 3) фіксація рівнів води на початку і по завершенню промірних робіт (на основному або тимчасовому водомірному посту);
- 4) власне вимірювання глибин у створі;
- 5) визначення характеру ґрунту дна водойми.

Існує два методи промірів глибин:

- дискретний (глибини вимірюються в окремих точках);
- метод безперервної зйомки глибин.

До приладів для вимірів глибин механічним способом в окремих точках відносяться – жердина гідрометрична, штанга гідрометрична, лот ручний, переносні рейки (водомірні та нівелірні), лот механічний.

Виконання промірів глибин дискретним методом з використанням акустичних способів реалізується за допомогою ехолотів з точковими показниками глибин.



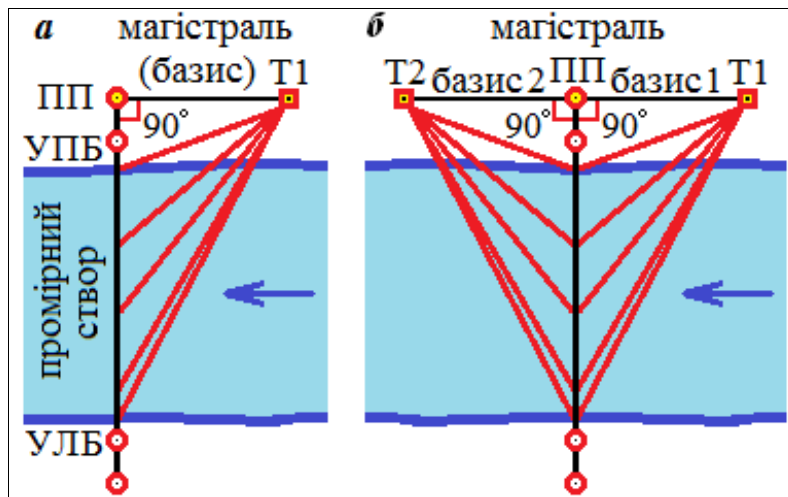


Рисунок 8.7 – Схема розбивки і закріплення магістралі (базису) та промірних створів і засічок (координування) промірних вертикалей одним (а) або двома (б) теодолітами: Т1, Т2 – положення теодолітів; ПП – положення постійного початку в промірному створі (точка на магістралі); УПБ, УЛБ – відповідно урізи правого та лівого берегів річки

Для виконання дискретних промірів на малій річці використовують:

- 1) теодоліт або ручна бусоль, стрічка землемірна або рулетка, тички, кілки – для розбивки магістралі та створів;
- 2) розмічений ланцюг (линь, стрічка землемірна або рулетка) та їздовий канат – для координування положення промірних вертикалей та переміщення човна у створі;
- 3) штанга гідрометрична (рейка нівелірна, переносна водомірна рейка, лот ручний) – для виконання промірів глибин на вертикалях.

Для виконання промірних робіт здійснюється прив'язка створів до планової основи через магістраль – це умовна лінія, пряма або ламана, яка прокладається вздовж водного об'єкта по обраному маршруту і відносно якої намічаються промірні створи (рис. 8.8).

Магістраль виконує роль базису (спільний постійний початок для створів), закріплюється на місцевості тичками або кілками. Створи намічають перпендикулярно до магістралі. Якщо можна пройти суходолом, магістраль прокладають берегом паралельно руслу, для її орієнтування беруть азимут по бусолі (теодоліту). В разі неможливості просування суходолом вздовж річки або роботі в акваторії озера, водосховища, моря в якості магістралі використовують плавучий ланцюг (трос з пінопластовими поплавцями через кожні 5 м), який також орієнтують по азимуту.

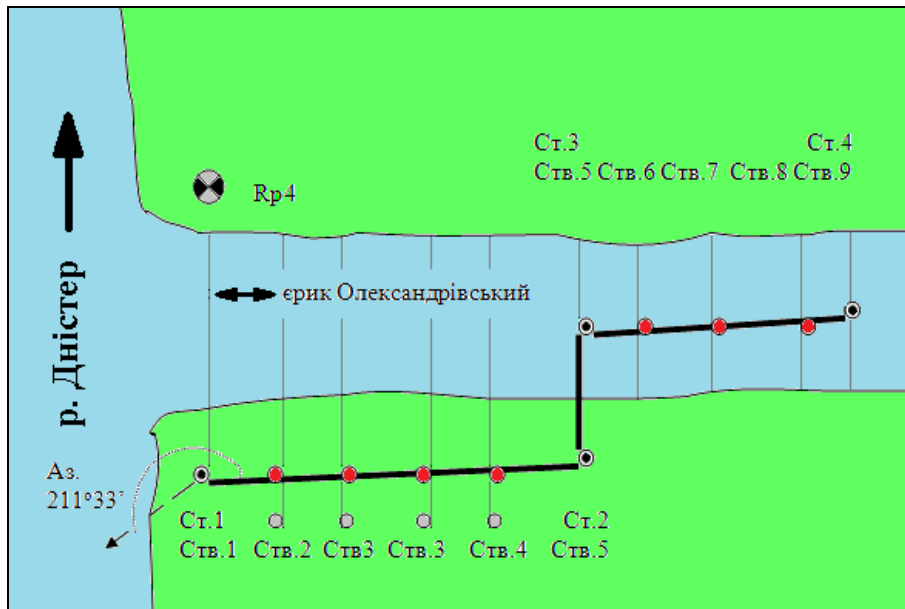


Рисунок 8.8 – Приклад схеми ділянки магістрального ходу

На кожному створі намічають промірні точки, кількість і відстань між якими, а також спосіб закріплення, залежать від ширини річки.

Координування промірів глибин при використанні дискретного методу – це визначення місця положення промірних вертикалей відносно обраного базису, тобто безпосередній вимір відстаней від постійного початку промірного створу до точок, у яких вимірюються глибини у водоймі. Найпростіше координування промірних точок виконується за допомогою мірної стрічки або рулетки, розміченого канату або тросу.

За необхідності, точки на магістралі, а отже і промірні створи, можуть бути прив'язані до Державної геодезичної мережі, для чого закладають репери і проводять відповідне нівелювання. В залежності від розміру річки для визначення її ширини використовують різні геодезичні прилади: теодоліт, GPS, мірну стрічку, розмічений трос тощо.

Замальовують схему магістралі та створів (абрис) і записують їх азимути та відстані між ними. Проміри в створах роблять в два ходи, фіксуючи результати вимірювань в книжку КГ-2.

На морях, озерах, затоках, лиманах, водосховищах проміри глибин і товщі намулу у останні десятиріччя виконують за допомогою ехолоту та приймачів GPS.

Акустичний спосіб промірів глибин з використанням електронного ехолоту дає можливість виконувати безперервні проміри глибин. Сучасні ехолоти (рис 8.6) забезпечують автоматизоване вимірювання глибин з високою точністю, швидкістю та достатньо прості у використанні.

Визначення глибини ехолотом засновано на зв'язку відстані та часу проходження ультразвукових імпульсів від вібратора-випромінювача через водне середовище до дна і назад до вібратора-приймача. Швидкість розповсюдження ультразвуку у воді залежить здебільш від її температури та солоності. Тому для забезпечення необхідної точності вимірювання глибин перед початком промірів виконують градування ехолота по температурі та солоності води в місці виконання робіт (або обирають відповідний режим вимірювання за допомогою програмного інтерфейсу).

Для малих річок широке застосування знайшли малогабаритні ехолоти. Основні частини ехолотів: центральний прилад, блок живлення, вібратор-випромінювач, допоміжне обладнання та пристосування. Центральний прилад автоматично записує глибини та координати, керує ультразвуковими імпульсами. Сучасні ехолоти мають компактні розміри, інтеграцію з комп'ютером та навігатором GPS.

Під час виконання промірів глибин ехолот зазвичай обслуговує один оператор, який вмикає прилад, робить записи вимірювань (або фіксацію вимірювань на GPS) та вимикає прилад після закінчення робіт. Всі операції виконують згідно інструкції (керівництва з експлуатації) до ехолоту.

На нешироких річках і озерах, а також на ставках, проміри глибин виконують вздовж розміченого тросу, при проходженні човна по тросу оператор здійснює фіксацію даних вимірювань в моменти суміщення випромінювача з мітками на тросі. При цьому неохопленими можуть залишитися прибережні мілини з глибинами менш ніж 0,5 м (у випадках, коли неможливо підійти з приладом або є обмеження щодо мінімальної глибини вимірювання ехолотом), ширину таких мілководь визначають рулеткою, а глибину – рейкою.

Дані промірів глибин використовуються для побудови поздовжнього та/або поперечного профілів водойм і водотоків.

### ***8.1.2 Обробка результатів вимірювань***

При обробці даних промірних робіт в книжці КГ-2 за матеріалами вимірювань виконують графічну побудову профілів поперечного перерізу в окремих створах річки (або каналу) та обчислюють морфометричні характеристики русла в створі (рис. 8.9).

Профіль річки є найбільш зручним для аналізу і подальшого використання результатів промірів глибин.



Побудова профілю водного перерізу водойми виконується у визначених масштабах (вертикальному, горизонтальному) на аркушах міліметровому папері формату А4, по вертикалі відкладається глибина до дна (зверху вниз), а по горизонталі – відстані від постійного початку. Відкладені точки з'єднують ламаною лінією і отримують лінію дна.

На профілі відмічається положення та відмітка робочого рівня води в умовних метрах або метрах БС, дата промірів, під графіком у вигляді таблиці, у відповідних місцях рядків, виписують:

- номери промірних вертикалей та коди урізів води;
- відстані від постійного початку (в метрах);
- глибини на промірних вертикалях (в метрах);
- відмітки дна на промірних вертикалях (в умовних метрах або БС);
- характер ґрунту дна.

Позначки дна отримують як різницю позначки поверхні води (робочого рівня води) та глибини на промірних вертикалях.

Масштаб для побудови підбирають в залежності від ширини русла (відстані від берега до берега) і характеру глибин у створі. Масштаб має бути кратним 2, 5 або 10. Наприклад, якщо горизонтальний масштаб в 1 см 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 м, то вертикальний – в 1 см 0,5, 1, 2, 5 м. Зліва розміщують дві колонки для головних морфометричних характеристик.

Кожний профіль будується на окремому аркуші, а всі записи та побудова виконуються простим олівцем (підписи і розмірності мають бути акуратними і чіткими). Профіль треба підписати, вказати масштаби, прізвища виконавця і особи, яка перевірила правильність креслення.

Для кожного профілю поперечного перерізу обчислюють такі морфометричні характеристики:

- робочий рівень води,  $H$  (м БС);
- ширина річки,  $B$  (м);
- площа водного перерізу,  $w$  (м<sup>2</sup>);
- середня глибина,  $h_{сер}$  (м);
- максимальна глибина,  $h_{max}$  (м);
- довжина змоченого периметру (лінії дна),  $\chi$  (м);
- гідравлічний радіус,  $R$  (м);
- параметр Глушкова,  $\Gamma$  (м<sup>-1</sup>).

Робочий рівень води  $H$  отримують як середньоарифметичне значення рівнів на початку та у кінці промірів.

Ширина річки  $B$  дорівнює різниці між відстанями від постійного початку до урізів дальнього і ближнього берегів або за даними GPS.

Водний переріз русла річки, озера або іншої водойми – це простір, обмежений знизу – дном, з боків – берегами, зверху – поверхнею води. Площу водного перерізу  $w$  та змочений периметр  $\chi$  розраховують в табличній формі (табл. 8.1) або за допомогою відповідної схеми (рис. 8.10).

Середня глибина  $h_{сер}$  визначається шляхом ділення загальної площі водного перерізу на ширину річки в промірному створі за формулою:

$$h_{сер} = \frac{w}{B}. \quad (8.1)$$

Максимальна глибина  $h_{max}$  виписується з даних промірів (табл. 8.1).

Гідравлічний радіус  $R$  визначається шляхом ділення загальної площі водного перерізу на величину змоченого периметра:

$$R = \frac{w}{\chi}. \quad (8.2)$$

Параметр Глушкова  $\Gamma$  (характеристика взаємодії між руслом, яке розмивається, і потоком води в руслі) визначається за формулою:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{h_{сер}}. \quad (8.3)$$

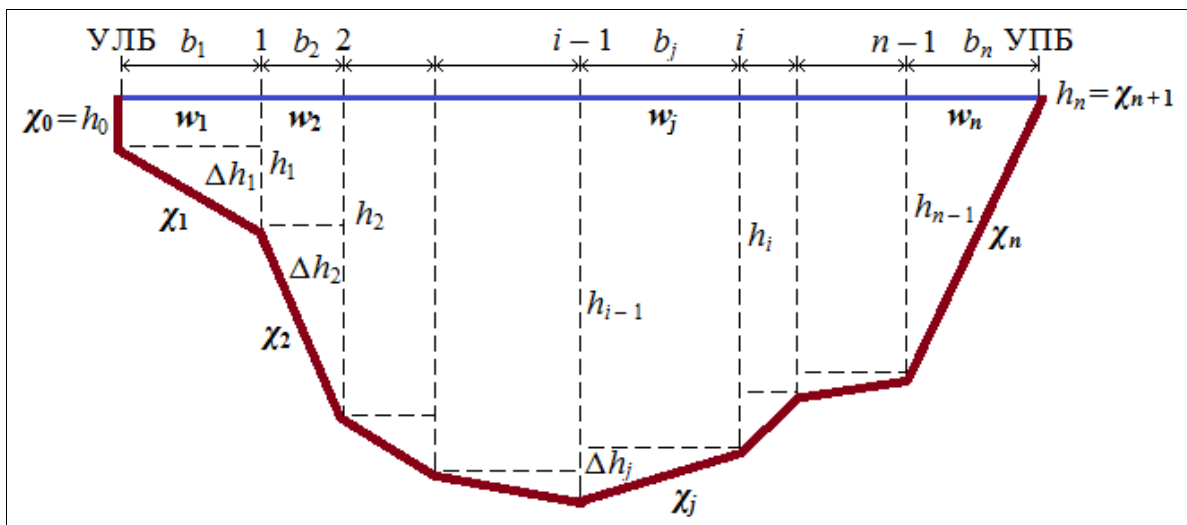


Рисунок 8.10 – Схема обчислення площі водного перерізу річки (або каналу) та змоченого периметра або довжини лінії дна річки у промірному створі (пояснення наведені в тексті та у табл. 8.1)

Таблиця 8.1 – Результати визначення площі водного перерізу та змоченого периметру за даними промірів глибин 24 листопада 2018 р., річка Курудорова – пункт місто Біляївка (створ № 6 ), позначка поверхні води -0,20 м БС (грунт дна – намул)

Коди урізів, номера вертикалі, $i$	Відстань від постійного початку до урізів води і вертикалі, $b_i$ , м	Глибина на вертикалі, $h_i$ , м	Позначка дна, м БС	Площа водного перерізу, $w$ , м <sup>2</sup>			Довжина змоченого периметру, $\chi$ , м				
				Відстань між промірними вертикалями, $b_j = b_i - b_{i-1}$ , м	Глибина між промірними вертикалями, $h_j = (h_i + h_{i-1})/2$ , м	Площа між промірними вертикалями, $w_j = b_j \cdot h_j$ , м <sup>2</sup>	$b_j^2$ , м <sup>2</sup>	Різниця глибин між промірними вертикалями $\Delta h_j = h_i - h_{i-1}$ , м	$\Delta h_j^2$ , м <sup>2</sup>	$\chi_j^2 = b_j^2 + \Delta h_j^2$ , м <sup>2</sup>	$\chi_j = (b_j^2 + \Delta h_j^2)^{0.5}$ , м
УЛБ	8,0	0,00	-0,20								
1	9,0	0,02	-0,22	1,00	0,01	0,01	1,00	0,02	0,0004	1,0004	1,00
2	10,0	0,20	-0,40	1,00	0,11	0,11	1,00	0,18	0,0324	1,0324	1,02
3	11,0	0,25	-0,45	1,00	0,22	0,22	1,00	0,05	0,0025	1,0025	1,00
4	12,0	0,29	-0,49	1,00	0,27	0,27	1,00	0,04	0,0016	1,0016	1,00
5	13,0	0,34	-0,54	1,00	0,32	0,32	1,00	0,05	0,0025	1,0025	1,00
6	14,0	0,39	-0,59	1,00	0,36	0,36	1,00	0,05	0,0025	1,0025	1,00
7	15,0	0,48	-0,68	1,00	0,44	0,44	1,00	0,09	0,0081	1,0081	1,00
8	16,0	0,63	-0,83	1,00	0,56	0,56	1,00	0,15	0,0225	1,0225	1,01
9	17,0	0,90	-1,10	1,00	0,76	0,76	1,00	0,27	0,0729	1,0729	1,04
10	18,0	1,03	-1,23	1,00	0,96	0,96	1,00	0,13	0,0169	1,0169	1,01
11	19,0	1,10	-1,30	1,00	1,06	1,06	1,00	0,07	0,0049	1,0049	1,00
12	20,0	1,00	-1,20	1,00	1,05	1,05	1,00	-0,10	0,0100	1,0100	1,00
13	21,0	0,81	-1,01	1,00	0,90	0,90	1,00	-0,19	0,0361	1,0361	1,02
14	22,0	0,57	-0,77	1,00	0,69	0,69	1,00	-0,24	0,0576	1,0576	1,03
15	23,0	0,38	-0,58	1,00	0,48	0,48	1,00	-0,19	0,0361	1,0361	1,02
16	24,0	0,23	-0,43	1,00	0,30	0,30	1,00	-0,15	0,0225	1,0225	1,01
17	25,0	0,21	-0,41	1,00	0,22	0,22	1,00	-0,04	0,0016	1,0016	1,00
18	26,0	0,18	-0,38	1,00	0,20	0,20	1,00	-0,03	0,0009	1,0009	1,00
19	27,0	0,10	-0,30	1,00	0,14	0,14	1,00	-0,08	0,0064	1,0064	1,00
20	28,0	0,05	-0,25	1,00	0,08	0,08	1,00	-0,05	0,0025	1,0025	1,00
УПБ	29,0	0,00	-0,20	1,00	0,02	0,02	1,00	-0,05	0,0025	1,0025	1,00
$w = \sum w_j = \underline{9,15}$ м <sup>2</sup>							$\chi = \sum \chi_j = \underline{21,16}$ м				

Примітка: УЛБ та УПБ – відповідно урізи лівого та правого берегів.

Нижче наведений **приклад** розрахунку основних морфометричних характеристик р. Курудорова – м. Біляївка (створ № 6), які обчислені з використанням даних промірів глибин (від 24.11.2018 р.) і результатів визначення площі водного перерізу та змоченого периметру (табл. 8.1). Результати округлені до трьох значущих цифр (наприклад, 21,16 м = 21,2 м).

Робочий рівень води (позначка поверхні води) у період промірів глибин (див. табл. 8.1) становив:  $H = -0,20$  м БС.

Ширина річки визначена як різниця між відстанями від постійного початку до урізів дальнього (в табл. 8.1 – УПБ) і ближнього (в табл. 8.1 – УЛБ) берегів:  $B = 29,0$  м –  $8,0$  м =  $21,0$  м.

Площа водного перерізу за результатами виконаних розрахунків (див. табл. 8.1) складає:  $w = 9,15$  м<sup>2</sup>.

Середня глибина обчислена за формулою (8.1) як відношення площі водного перерізу до ширини річки:  $h_{сер} = w/B = 9,15$  м<sup>2</sup>/ $21,0$  м =  $0,44$  м.

Максимальна глибина за даними промірів глибин (див. табл. 8.1) дорівнює:  $h_{max} = 1,10$  м.

Довжина змоченого периметру (лінії дна) за результатами виконаних розрахунків (див. табл. 8.1) складає:  $\chi = 21,2$  м.

Гідравлічний радіус обчислений за формулою (8.2) як відношення площі водного перерізу до довжини змоченого периметру (лінії дна) річки:  $R = w/\chi = 9,15$  м<sup>2</sup>/ $21,2$  м =  $0,43$  м.

Параметр Глушкова обчислений за формулою (8.3) з використанням ширини та середньої глибини річки:  $\Gamma = B^{0,5}/h_{сер} = 21,0^{0,5}/0,44 = 10,4$  м<sup>-1</sup>.

Для визначення позначок поверхні води на ділянці промірів глибин облаштовують тимчасовий водомірний пост. Дані вимірювання рівня води на початку ( $H_{поч}$ ) і в кінці ( $H_{кін}$ ) промірів дозволяють визначити робочий рівень ( $H$ ). Якщо різниця між  $H_{поч}$  та  $H_{кін}$  не перевищує  $\pm 2$  см, то  $H$  приймають рівним для всіх промірів глибин у створі. Позначки дна річки визначають відніманням виміряних глибин від позначки поверхні води ( $H - h_i$ ).

За даними промірів глибин також може бути побудований план рельєфу дна водойми (водотоку чи їх окремих ділянок) у горизонталях (лініях рівних позначок дна) або ізобатах (лініях рівних глибин). Для креслення плану використовують простий олівець. На плані вказуються такі відомості: масштаб, прізвища виконавців і особи, яка перевірила правильність креслення, підписані ізолінії, напрям на північ, назву, позначку рівня води та дату промірів глибин.

Нижче показаний приклад плану ділянки річки, побудованого в ізобатах (рис. 8.11).



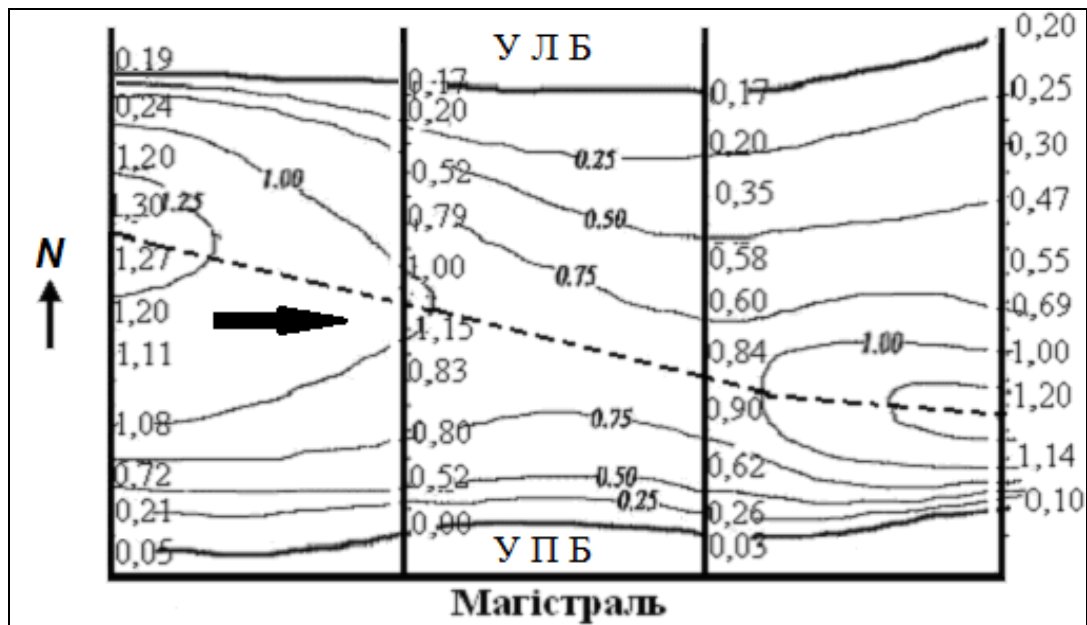


Рисунок 8.11 – Приклад плану ділянки річки в ізобатах (1,55 м БС, 12.08.2017 р.)

На аркуш білого паперу формату А3 в масштабі наносять магістраль та перпендикулярно до неї – створи, в яких наносять і з'єднують урізи берегів (лівого і правого), послідовно наносять точки промірів і зліва від кожної точки виписують величини позначок дна (м БС). Через поле точок проводять горизонталі – лінії рівних висот (позначок). Отримані ізолінії мають бути суцільними і можуть замикатись. На ізолініях треба виписати відповідні їх значення глибини або висоти (позначки). Також пунктиром з'єднують точки з максимальними глибинами в створах, отримуючи лінію фарватеру (лінія найбільших глибин або найменших позначок).

Побудова повздовжнього профілю водойми (озера, водосховища, ставка тощо) виконується на аркуші міліметрового паперу формату А4. Однак, через велику різницю між довжиною (кілометри) та глибиною (метри), під час побудови повздовжнього профілю водойми вертикальний масштаб беруть детальнішим ніж горизонтальний.

Відстань між промірними вертикалями визначають за даними GPS, з використанням координат точок, в яких вимірювалась глибина. На профілі наносять лінію дна водойми, а також вказують ґрунт її дна.

Внизу під профілем розміщують таблицю з вхідними даними, а ліворуч від вертикальної осі – таблицю з основними морфометричними характеристиками (рис. 8.12).

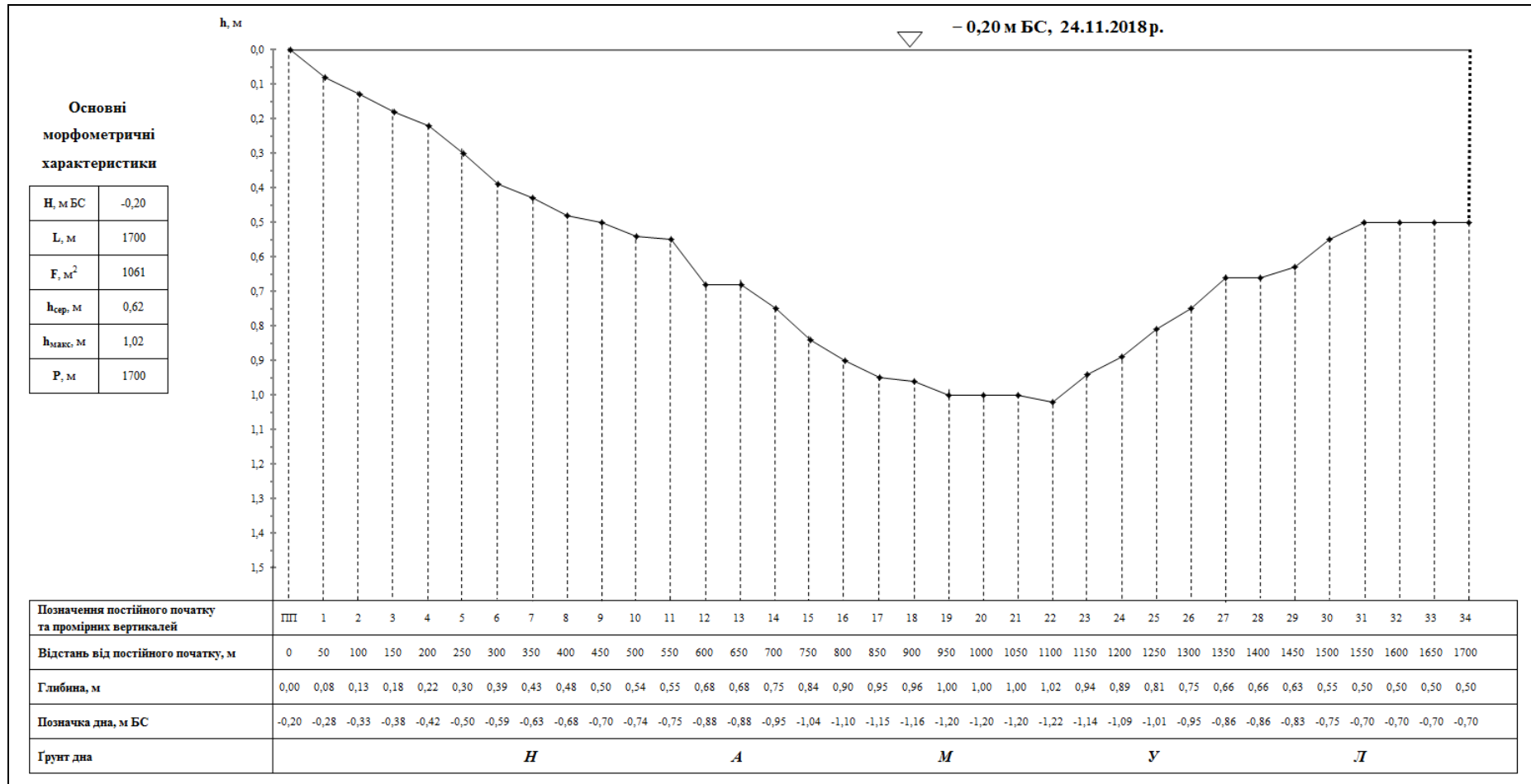


Рисунок 8.12 – Приклад поздовжнього профілю озера Біле

## Питання для самоперевірки базових знань до пп. 8.1

1. З використанням яких матеріалів здійснюють побудову профілю поперечного перерізу річки та яка мета виконання цієї роботи?
2. Яким чином виконують побудову профілю водного перерізу річки?
3. Які основні морфометричні характеристики обчислюють для профілю поперечного перерізу річки в створі водомірного поста?
4. Що таке середня глибина і гідравлічний радіус та як обчислюються їх значення для профілю поперечного перерізу річки?
5. Розрахунки яких морфометричних характеристик виконуються у табличній формі?

## **8.2 Визначення ширини та положення прибережних захисних смуг водних об'єктів**

У відповідності до статті 58 (пункт 1) Земельного кодексу України (ЗКУ) та статті 4 Водного кодексу України (ВКУ) до земель водного фонду належать землі, зайняті:

- морями, річками, озерами, водосховищами, іншими водними об'єктами, болотами, а також островами, не зайнятими лісами;
- прибережними захисними смугами вздовж морів, річок та навколо водойм, крім земель, зайнятих лісами;
- гідротехнічними, іншими водогосподарськими спорудами та каналами, а також землі, виділені під смуги відведення для них;
- береговими смугами водних шляхів.

Прибережні захисні смуги (ПЗС) водних об'єктів є останнім бар'єром на шляху негативних антропогенних впливів, що формуються на водозборі, тому від їх стану певною мірою залежить якість води у водотоках і водоймах та стан гідробіонтів.

### ***8.2.1 Терміни та законодавчі обмеження в межах прибережних захисних смуг як земель водного фонду***

Згідно з статтею 60 (пункт 1) ЗКУ та статтею 1 ВКУ ПЗС – це частина водоохоронної зони відповідної ширини вздовж річки, моря, навколо водойм, на якій встановлено більш суворий режим господарської діяльності, ніж на решті території водоохоронної зони.

Згідно статті 87 ВКУ водоохоронна зона (ВЗ) є природоохоронною територією господарської діяльності, що регулюється. ВЗ встановлюються для створення сприятливого режиму водних об'єктів, попередження їх забруднення, засмічення і вичерпання, знищення навколоводних рослин і тварин, а також зменшення коливань стоку вздовж річок, морів та навколо озер, водосховищ і інших водойм. Це означає, що на території ПЗС заборонено розорювати землі, займатися городництвом і садівництвом, влаштовувати літні табори для худоби, бази відпочинку, дачі, гаражі, стоянки та мийки автомобілів і т.п. На території ПЗС дозволяється будувати лише гідротехнічні, гідрометричні та лінійні споруди.

Відповідно до вимог статті 88 ВКУ та статті 60 (пункт 2) ЗКУ ПЗС встановлюється вздовж обох берегів річок, струмків і потічків та навколо водойм уздовж урізу води у меженний період.

Якщо водний об'єкт є джерелом питного водопостачання, то ПЗС включають у зону санітарної охорони. На місцевості (в натурі) межі ПЗС і ВЗ водних об'єктів закріплюють спеціальними водоохоронними знаками.

Класифікація річок України здійснюється у відповідності до статті 79 ВКУ. Залежно від водозбірної площі басейну річки поділяються на великі, середні та малі.

До великих належать річки, які розташовані у кількох географічних зонах і мають площу водозбору **понад 50 тис. км<sup>2</sup>**.

До середніх належать річки, які мають площу водозбору **від 2 тис. км<sup>2</sup> до 50 тис. км<sup>2</sup>**.

До малих належать річки з площею водозбору **до 2 тис. км<sup>2</sup>**.

Водозбір (річковий басейн) – це частина земної поверхні і товщі ґрунтів, стік води з якої послідовно через пов'язані водойми і водотоки здійснюється в море, лиман або озеро.

Переліки великих і середніх річок із зазначенням інформації щодо площі їх водозбору складаються центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері розвитку водного господарства, і розміщуються на його офіційному веб-сайті. Наприклад, на сьогодні в Одеській області таким органом є Басейнове управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю (URL: <https://oouvr.gov.ua/>).

Згідно з статтею 1 ВКУ водойма – це безстічний або із сповільненим стоком поверхневий водний об'єкт. Водний об'єкт – це природний або створений штучно елемент довкілля, в якому зосереджуються води (море, лиман, річка, струмок, озеро, водосховище, ставок, канал (крім каналу на зрошувальних і осушувальних системах), а також водоносний горизонт).

До штучних водойм належать водосховища та ставки.

Водосховище – це штучна водойма місткістю більше 1 млн. м<sup>3</sup>, збудована для створення запасу води та регулювання її стоку.

Ставок – це штучно створена водойма місткістю не більше 1 млн. м<sup>3</sup>.

У статті 88 ВКУ та статті 60 (пункт 2) ЗКУ вказано, що ПЗС встановлюються по берегах річок і навколо водойм уздовж урізу води (у меженний період) шириною: 25 м – для малих річок, струмків і потічків, а також ставків площею менше 3 га; **50 м** – для середніх річок, водосховищ на них і ставків площею більше 3 га; **100 м** – для великих річок, водосховищ на них і озер.

Якщо крутизна схилу більше 3° (перевищення між двома точками схилу становить більше 0,05 м на 1 м схилу), то мінімальна ширина ПЗС подвоюється.

Уріз води – це межа води на березі водного об'єкта (берегова лінія).

Меженний період (межень) – це період річного циклу, протягом якого спостерігається низька водність.

Водність – це характеристика величини річкового стоку за певний проміжок часу відносно його середньої багаторічної величини.

Крім того, згідно статті 60 (пункт 3) ЗКУ та статті 88 ВКУ уздовж морів та навколо морських заток і лиманів встановлюється ПЗС шириною не менше двох кілометрів від урізу води.

Слід зазначити, що в статті 88 ВКУ не вказується водність року (багатоводний, маловодний, середній за водністю рік та/або його забезпеченість) у меженний період якого визначається положення урізу води, необхідного для встановлення ПЗС по берегах річки.

Однак, у статті 82 ВКУ вказано, що визначення обсягів регулювання стоку штучними водоймами для будь-яких за розміром річок має здійснюватися урахуванням обсягу стоку даної річки «в розрахунковий маловодний рік, який спостерігається один раз у двадцять років», тобто в дуже маловодний рік забезпеченістю  $P=95\%$ .

З урахуванням вище викладеного приймається, що положення урізу води, необхідного для встановлення ширини та меж ПЗС по берегах річки, треба визначати для меженного періоду в розрахунковий маловодний рік, який спостерігається один раз у двадцять років забезпеченістю  $P=95\%$ . Крім того, враховуючи те, що значна кількість малих річок степової зони України у меженний період дуже маловодного року забезпеченістю  $P=95\%$  пересихає навіть у природних умовах (в руслі річки немає води), а також те, що у ВКУ не зазначено як визначати внутрішню межу ПЗС річок,

які у меженний період пересихають, вимірювання ширини і меж ПЗС таких річок виконують від середини їх русла (зазвичай, лінії найбільших глибин), тобто коли внутрішня межа ПЗС співпадає з місцем, в якому зникає вода перед повним пересиханням русла.

ПЗС встановлюються на земельних ділянках всіх категорій земель, крім земель морського і внутрішнього водного транспорту. Землі ПЗС перебувають у державній та комунальній власності та можуть надаватися в користування лише для цілей, визначених ВКУ. Передача таких земель у приватну власність не передбачена.

У межах існуючих населених пунктів ПЗС встановлюється з урахуванням містобудівної документації. ПЗС в межах населених пунктів встановлюються згідно з комплексними планами просторового розвитку територій територіальних громад, генеральними планами населених пунктів, а в разі їх відсутності або якщо зазначеною містобудівною документацією межі таких смуг не встановлені, вони визначаються шириною 100 метрів від урізу води морів, морських заток і лиманів, а для інших водних об'єктів – згідно з частиною другою статті 88 ВКУ.

Межі ПЗС, пляжних зон зазначаються в документації із землеустрою, містобудівній документації та позначаються органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування на місцевості інформаційними знаками. Відомості про межі ПЗС, пляжних зон вносяться до Державного земельного кадастру як відомості про обмеження у використанні земель.

Зважаючи на спеціальні заходи, що покликані мінімізувати негативний вплив антропогенного освоєння прибережних територій, які реалізуються в межах населених пунктів (облаштування набережних, створення систем водовідведення та водоочищення, в т.ч. господарсько-побутової та дощової каналізації), розміри ПЗС у випадках, передбачених містобудівною документацією (генеральними планами населених пунктів, детальними планами територій) можуть підлягати зменшенню.

Слід також зазначити, що згідно з статтею 80 (пункт 7) ВКУ у заплавах малих річок забороняється надавати земельні ділянки під будь-яке будівництво (крім гідротехнічних, гідрометричних та лінійних споруд), а також для садівництва та городництва.

Заплава (заплавні землі) – це прибережна територія, що може бути затоплена чи підтоплена під час повені (паводка).

Крім того, на заплавах та обривистих берегах, зовнішня межа ПЗС приймається не ближче ніж 50 м від брівки корінного берега в напрямку до вододілу.

Якщо річка на певній ділянці має кілька рукавів чи приток, ПЗС встановлюється на обох берегах річки від крайніх рукавів. Півострови, серед яких і ті, що утворилися внаслідок меандрування річки, повністю включаються до ПЗС, якщо ширина перешийка меандра річки не перевищує 2,5 ширини ПЗС.

Крім того, берегові схили крутістю понад 5° незалежно від рослинності на них відносяться до території ерозійної активності (включно з ярами, балками, улоговинами стоку) та належать до території ПЗС.

Для упорядкування сучасного стану ПЗС у рамках дотримання положень ВКУ і ЗКУ необхідним є винесення в натуру та закріплення відповідними знаками меж ПЗС (рис. 8.13) із подальшою інспекцією дотримання положень ВКУ і ЗКУ щодо режиму їх експлуатації. Вид та розмір даного знака визначаються згідно з наказом Держкомзему України «Про затвердження Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками» від 18.05.2010 р. № 376.



Рисунок 8.13 – Зразок спеціального інформаційного знака для розміщення на зовнішній межі ПЗС річки (на прикладі середньої річки Тилігул)

Спеціальні інформаційні знаки встановлюють у місцях входу (виходу) на територію ПЗС, руху транспорту (в місцях перетину межі водного об'єкта дорогами, стежками та ін.). Впровадження таких компенсаторних заходів мінімізує антропогенний вплив на водні, земельні та інші природні ресурси річки у майбутньому.

## **8.2.2 Обчислення ширини та меж прибережних захисних смуг річок, ставків і водосховищ**

Наявність офіційної інформації про стан земель ПЗС уздовж берегів водойм і водотоків України унеможливорює виникнення непорозумінь та зловживань під час їх використання і сприяє збереженню водних об'єктів.

На сьогодні в Україні основну нормативно-правову та методичну базу формування водоохоронних обмежень у використанні земель в межах ПЗС водотоків і водойм складають: ВКУ; ЗКУ; постанова Кабінету Міністрів України від 08.05.1996 № 486 *«Про затвердження Порядку визначення розмірів і меж водоохоронних зон та режиму ведення господарської діяльності в них»*; ДБН 360-92\*\* *«Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень»*; СОУ 00032632-005:2009 *«Землеустрій. Проекти землеустрою щодо створення водоохоронних зон. Правила розроблення»* (затверджений наказом Держкомзему від 17.07.2009 № 375); ВБН 33-4759129-03-05-92 *«Проектування, упорядкування та експлуатація водоохоронних зон водосховищ»*, а також *«Методика упорядкування водоохоронних зон річок України»*.

Серед сучасних методів визначення та контролю меж і дослідження стану ПЗС одним з найефективніших є метод, заснований на дешифруванні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Використання зазначеного вище методу є також актуальним, якщо здійснювати регулярні польові дослідження складно і дорого. Для визначення стану ПЗС, які відбулися в результаті антропогенних перетворень, використовують топографічні карти різних масштабів, супутникові знімки та матеріали натурних обстежень. Існуючий (у вільному доступі) картографічний матеріал (карти масштабів 1:100000 та 1:50000 й ін.) є зазвичай застарілим і не висвітлює сучасний стан ПЗС, тому для оцінки меж і стану ПЗС використовують космічні знімки, дані аерофотозйомки та результати польових досліджень. Оцінку структури багаторічних змін меж і стану ПЗС здійснюють шляхом дешифрування ретроспективних рядів космічних знімків.

Для дослідження розмірів та сучасного стану ПЗС спочатку треба визначити місцеположення русла водотоку (річки, балки, струмка, каналу) або ложа водойми (озера, лиману, ставка, водосховища). Далі визначають крутизну схилів водотоків та/або площу водойм. Після цього визначають розміри та стан ПЗС.

Уточнення інформації про сучасний стан і межі ПЗС здійснюють підчас натурних обстежень і вимірювань.



Нижче наведений **приклад** з етапами визначення ширини, меж та положення ПЗС р. Сож (рис. 8.14), яка має площу водозбору 54,1 тис. км<sup>2</sup>.

1. Дана річка має площу водозбору понад 50 тис. км<sup>2</sup>, тому згідно з діючою класифікацією належить до великих річок.

2. Враховуючи те, що дана річка належить до великих річок, ширина ПЗС, яка встановлюється по берегах річки уздовж урізу води (у меженний період) має дорівнювати 100 м.

3. За допомогою карти (масштаб 1:25000) визначаємо положення зовнішньої межі ПЗС р. Сож (рис. 8.14, відрізок **AB**), шляхом відкладання перпендикуляру до лінії урізу води (внутрішньої межі ПЗС) довжиною 100 м (у масштабі використаної карти довжина даного відрізка дорівнює 4 мм).

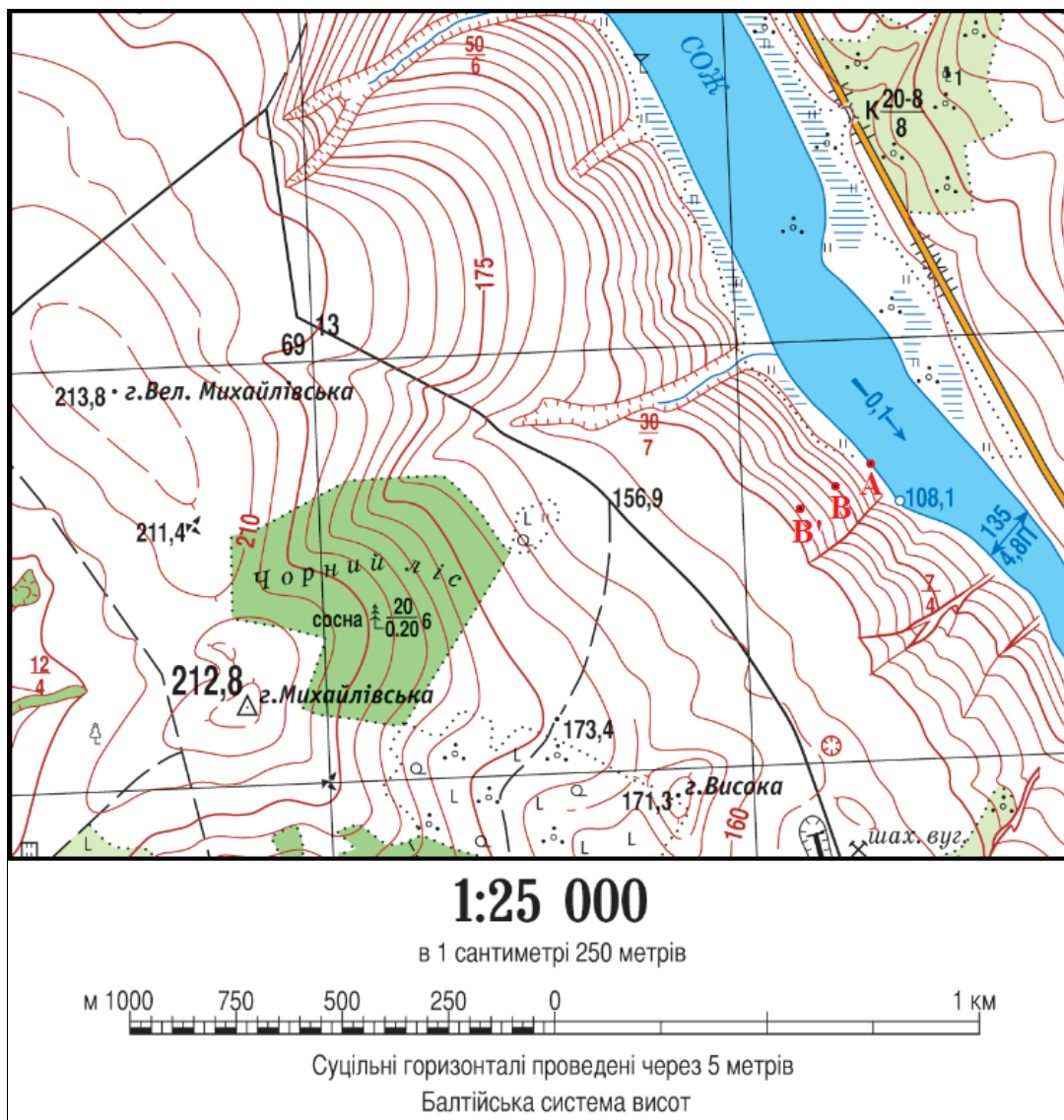


Рисунок 8.14 – Збільшений фрагмент карти масштабу 1:25000 для визначення ширини, меж та положення ПЗС р. Сож (пояснення у тексті)

4. Далі визначаємо крутизну берегового схилу річки в межах ПЗС, яка на ділянці відрізка **AB** дорівнює:  $v_{AB} = \arctg(\Delta h_{AB}/l_{AB}) = 57,3^\circ \cdot (\Delta h_{AB}/l_{AB}) = 57,3^\circ \cdot (125 \text{ м} - 108,1 \text{ м})/100 \text{ м} = 57,3^\circ \cdot (16,9 \text{ м}/100 \text{ м}) = 57,3^\circ \cdot 0,169 = 9,7^\circ$ .

5. З урахуванням того, що крутизна схилу більше  $3^\circ$ , мінімальна ширина ПЗС подвоюється та становить не 100 м, а 200 м.

6. Уточнене положення зовнішньої межі ПЗС р. Сож позначаємо на карті точкою **B'** (рис. 8.14, відрізок **AB'**).

7. Уточнення інформації про фактичний стан і межі ПЗС здійснюють підчас натурних обстежень і вимірювань, а також при виносі зовнішньої межі ПЗС в на місцевість.

### Питання для самоперевірки базових знань до пп. 8.2

1. Яким чином здійснюється класифікація річок (на великі, середні або малі) та штучних водойм (на водосховища або ставки) у відповідності до статей 1 та 79 Водного кодексу України?

2. Чому дорівнює мінімальна ширина прибережної захисної смуги по берегах річок (в залежності від їх розміру) і навколо водойм на них уздовж урізу води (у меженний період) згідно з вимогами статті 88 Водного кодексу України та статті 60 Земельного кодексу України?

3. Що означає термін «меженний період» та в який за водністю рік треба визначати положення урізу води в межень у відповідності до статей 1 та 82 Водного кодексу України?

4. Як змінюється мінімальна ширина прибережної захисної смуги в залежності від значення крутизни схилів згідно з вимогами статті 88 Водного кодексу України та статті 60 Земельного кодексу України?

5. З використанням яких вихідних матеріалів і розрахункових формул можна визначити крутизну схилів, положення урізу води у меженний період та прибережних захисних смуг і як здійснюється визначення їх координат, нанесення на профіль, карту або план та винос в натуру?

### *Питання для самоперевірки до теми № 8*

1. Яким чином виконують побудову профіля водного перерізу річки?

2. Які основні морфометричні характеристики обчислюють для профіля поперечного перерізу річки в створі водомірного поста?

3. Що таке середня глибина і гідравлічний радіус та як обчислюються їх значення для профіля поперечного перерізу річки?

4. Чому дорівнює мінімальна ширина прибережної захисної смуги по берегах річок (в залежності від їх розміру) і навколо водойм на них уздовж урізу води (у меженний період) згідно з вимогами статті 88 Водного кодексу України та статті 60 Земельного кодексу України?

5. З використанням яких вихідних матеріалів і розрахункових формул можна визначити крутизну схилів, положення урізу води у меженний період та прибережних захисних смуг і як здійснюється визначення їх координат, нанесення на профіль, карту або план та винос в натуру?

## **9 ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ (ЦИФРОВИХ) ПРИЛАДІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

На сьогодні геодезичне виробництво забезпечено достатньою кількістю сучасних електронних приладів для виконання лінійних, висотних і кутових вимірювань (наприклад, світловіддалемірів, цифрових нівелірів і електронних тахеометрів та інших). У даному розділі наведені основні відомості щодо застосування сучасних електронних (цифрових) приладів для автоматизації геодезичних вимірювань.

### **9.1 Загальні відомості про сучасні електронні віддалеміри**

На різних етапах розвитку геодезії для вимірювання довжин ліній (у тому числі, в геодезичних мережах згущення) застосовувалися різноманітні методи з використанням:

- 1 – підвісних мірних приладів;
- 2 – базисних жезлів (паралактичний метод);
- 3 – оптичних віддалемірів подвійного зображення;
- 4 – радіовіддалемірів;
- 5 – світловіддалемірів;
- 6 – електронних тахеометрів.

У даний час, коли геодезичне виробництво забезпечено достатньою кількістю сучасних і точних світловіддалемірів та електронних тахеометрів, використання перших чотирьох методів ще є можливим (при забезпеченні необхідної точності вимірювання ліній), але не завжди доцільним.

#### ***9.1.1 Принцип дії електромагнітних віддалемірів***

Електронні віддалеміри – це геодезичні прилади для вимірювання віддалі шляхом визначення часу розповсюдження електромагнітних (світлових) хвиль між кінцевими точками вимірюваної лінії.

Залежно від виду електромагнітних коливань електронні віддалеміри поділяються на:

- світловіддалеміри, які використовують піддіапазон видимих і інфрачервоних довжин хвиль;
- радіовіддалеміри, що використовують піддіапазон радіохвиль.

У порівнянні з оптичними віддалемірами світло- і радіовіддалеміри мають більш високу точність і можливість вимірювання великих віддалей.

На сьогодні створений цілий ряд конструкцій геодезичних і топографічних світло- і радіовіддалемірів, які забезпечують вимірювання віддалей від декількох метрів до 50 км з точністю від 1:10000 до 1:500000.

### 9.1.2 Класифікація світловіддалемірів і точність вимірювань

Сучасні світловіддалеміри поділяють на наступні типи: геодезичні, прецизійні, топографічні.

Геодезичні (Г) світловіддалеміри призначені для створення державних геодезичних мереж, прецизійні (П) – для високоточних вимірювань в інженерній геодезії; топографічні (Т) – для створення геодезичних мереж згущення, знімальних мереж і для топографічного знімання. Зазначені вище світловіддалеміри відрізняються один від одного радіусом дії (табл. 9.1), послідовністю вимірювання довжин ліній і функціональною схемою.

Таблиця 9.1 – Точність світловіддалемірів і межі вимірювань

Тип світловіддалеміру	Значення коефіцієнту		Межі вимірювань, км	
	<i>a</i>	<i>b</i>	Нижня	Верхня
Г	5; 10	1; 2	0,5	15-20
П	0,3; 0,5; 1; 2	0,5; 1; 2; 3	0,002	0,1-3
Т	5; 10	2; 3; 5	0,002	1-15

Середня квадратична похибка вимірювання ліній віддалеміром  $m_D$  (мм) залежить від довжини лінії і може бути обчислена за формулою:

$$m_D = a + b \cdot D_{\text{км}} \cdot 10^{-6}, \quad (9.1)$$

де  $a$  – частина середньої квадратичної похибки, що не залежить від довжини лінії, мм;

$b \cdot D_{\text{км}}$  – частина похибки, що залежить від довжини лінії  $D_{\text{км}}$  (км), мм.

При вимірюванні сторін у мережах згущення треба дотримуватися того, що середня квадратична похибка не повинна перевищувати при вимірюванні довжини сторін: до 500 м – 10 мм; від 500 до 1000 м – 20 мм; понад 1000 м – 25 мм  $\cdot D_{\text{км}}$ .

Зазначеної точності можна досягти при використанні топографічних світловіддалемірів або електронних тахеометрів тих чи інших типів.

У мережах згущення рекомендовано для вимірювання сторін використовувати світловіддалеміри типів СТ5, 2СТ10 (табл. 9.2) або електронні тахеометри ТаЗМ, ТС 1010 (Leica), Elta 20. Однак, це не виключає можливості використання сучасних світловіддалемірів та/або електронних тахеометрів, які з'явилися в останні роки на світовому ринку.

Таблиця 9.2 – Основні параметри світловіддалемірів

Параметри світловіддалеміру	Норми для типів світловіддалеміру		
	СТ5	2СТ10	4СТ3
Дальність, м	5000	10000	1000-3000
Середня квадратична похибка вимірювання віддалі, мм	$10 \pm 5 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$5 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$3 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$
Граничні кути нахилу ліній, що вимірюються	$\pm 20^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 30^\circ$
Напруга блоку живлення, В	6,0-8,5	6,0-8,5	6,5-8,6
Ціна одиниці молодшого розряду табло, мм	1	1	1
Маса світловіддалеміра, кг	4,5	4,5	3,0
Маса світловіддалеміра без основи, кг	3,8	3,5	2,0

Світловіддалемір СТ5 «Блеск» (рис. 9.1, *a*) призначений для лінійних вимірювань у триангуляції і полігонометрії 4 класу, 1-го і 2-го розрядів для виконання топографічних знімків і вирішення інженерно-геодезичних задач на місцевості.

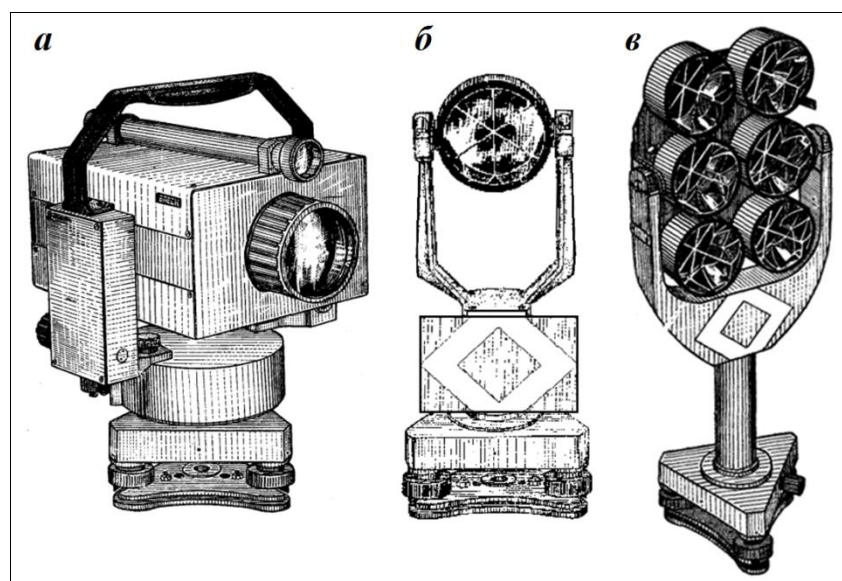


Рисунок 9.1 – Світловіддалемір СТ5 «Блеск» (*a*) у комплекті з однопризмовим (*б*) і шестипризмовим (*в*) відбивачами

- У комплект приладу крім самого світловіддалеміра входять:
- однопризмий (рис. 9.1, б) і шестипризмий (рис. 9.1, в) відбивачі;
  - підставки, джерела живлення,
  - розрядно-зарядний пристрій;
  - оптичний центрир;
  - штативи;
  - барометр, термометр та інші приналежності.

У світловіддалемірі СТ5 «Блеск» використаний імпульсно-фазовий гетеродинний метод вимірювання віддалей з перетворенням тимчасового інтервалу.

Результати вимірювань відображаються на шести розрядному електронно-цифровому табло. Моменти прийому відбитого сигналу і закінчення рахунку вимірювань супроводжуються звуковим сигналом мікротелефону.

Блок контрольного відліку дозволяє стежити за роботою приладу в польових умовах.

Джерелом випромінювання є напівпровідниковий лазерний діод з довжиною хвилі 0,86 мкм інфрачервоного випромінювання. Вимірювання проводиться на двох масштабних частотах проходження випромінюваних імпульсів (коливань):  $f_{M1} = 14,985$  МГц – при  $\lambda/2 = 10$  м;  $f_{M2} = 149,85$  кГц – при  $\lambda/2 = 1000$  м ( $f_{M1}$  та  $f_{M2}$  – відповідно частота коливань першого та другого масштабів, а  $\lambda$  – довжина хвилі).

На першій частоті виконується вимірювання у режимі «ТОЧНО», на другій – у режимі «ГРУБО» для виключення багатозначності в межах 1 км.

Світловіддалемір СТ5 може бути встановлений на теодоліти серій 2Т та 3Т для одночасного вимірювання кутів і віддалей. При установці на теодоліт від світловіддалеміра відокремлюють підставу, а з теодоліта знімають ручку для перенесення і на її місце закріплюють світловіддалемір.

Світловіддалемір 2СТ10 «Блеск-2» є подальшою модифікацією світловіддалеміра СТ5, тому їх конструкції мають багато спільного.

У ньому, так само як і в СТ5, використаний імпульсно-фазовий метод вимірювання віддалей з гетеродинним перетворенням тимчасового інтервалу. Вимірювання проводиться на трьох частотах проходження імпульсів:  $f_{M1} = 14,985$  МГц;  $f_{M2} = 149,85$  кГц;  $f_{M3} = 1,49855$  кГц.

Перша частота використовується для вимірювання в межах циклу 10 м (точне вимірювання), друга та третя – для виключення багатозначності в межах 1 км та 10 км відповідно.

Світловіддалемір 2СТ10 також обладнаний мікро ЕОМ, яка управляє роботою схеми світловіддалеміра, проводить контроль функціонування, враховує поправки за температуру і тиск, обробляє отриману інформацію і видає результат на цифрове табло.

Світловіддалемір 4СТЗ (рис. 9.2, табл. 9.2) використовується як самостійний прилад для вимірювання довжин ліній в полігонометрії, при створенні геодезичних мереж згущення, опорних межових мереж і т. п.



Рисунок 9.2 – Світловіддалемір 4СТЗ

Даний прилад може встановлюватися на теодоліти серії 3Т для одночасного вимірювання кутів і віддалей при виробництві топографічних знімків, межування земельних ділянок і вирішення інженерно-геодезичних задач на місцевості. На відміну від 2СТ10 світловіддалемір 4СТЗ має меншу вагу (2,0 кг) та габарити, можливість уведення інформації у вбудовану пам'ять ємністю 512 Кб, що дозволяє записувати результати вимірів не менше 5000 пікетів і виведення її на комп'ютер. Прилад дозволяє виконувати вимірювання в трьох режимах: основному (точно), прискореному (грубо) і режимі спостереження (вимірювання до рухомого об'єкту).

### ***9.1.3 Загальні відомості про підготовку до вимірювань і виконання вимірювання віддалей світловіддалемірами***

Світловіддалеміри та метеорологічні прилади, що є в комплекті, періодично перевіряють для оцінювання відповідності їх реальних метеорологічних характеристик заданим.



Для цього перед початком і після закінчення польового сезону проводять регламентні роботи, у процесі яких на лініях відомої довжини перевизначають значення приладової поправки світловіддалеміра, а шляхом контрольних вимірів базисів перевіряють реальну точність випробуваного приладу. Поряд з цим періодично перевіряють (раз на півроку) значення основної масштабної частоти. При її відхиленні за межі допуску, який регламентовано, установлюють номінальне значення регулюванням відповідних елементів.

Перед безпосереднім використанням приладу проводять комплекс поточних перевірок та юстувань (циліндричного рівня, сітки ниток зорової труби та оптичного центрира) і виконують перевірку функціонування електронних вузлів світловіддалеміра.

Якщо електронні вузли світловіддалеміра працюють не нормально, то прилад підлягає ремонту.

Сучасні світловіддалеміри дозволяють застосовувати триштативний спосіб вимірювання віддалей, при якому після вимірювання чергової лінії світловіддалемір виймають з підставки, закріпленої на штативі, та встановлюють на місці відбивача, у той час як відбивач переносять на черговий штатив для вимірювання наступної лінії і т. д.

#### ***9.1.4 Лазерні рулетки-віддалеміри***

Останнім часом все більше застосування в практиці геодезичного виробництва знаходять лазерні рулетки, принцип вимірювання відстаней якими той же, що і при використанні лазерних світловіддалемірів.

Видимий лазерний промінь прямує безпосередньо на об'єкт, до якого вимірюється віддаль, і після натискання кнопки на дисплеї приладу з'являється результат вимірювання з точністю до міліметра. Наприклад, лазерні рулетки типу Disto D5, які виробляються фірмою Leica, Швейцарія (рис. 9.3, *a*), мають діапазон вимірювань віддалі від 0,3 м до 200 м з точністю до 3 мм, причому відстані до 30 м можна вимірювати без відбивача. Останні роки з'явилися менш коштовні, але доволі точні лазерні рулетки, наприклад, DM-120, фірми Nivel System, Китай (рис. 9.3, *б*).

Безконтактний принцип роботи дозволяє використовувати лазерну рулетку для вимірювання віддалей до об'єктів, які важкодоступні для традиційних методів. Результати вимірів можуть накопичуватися в пам'яті приладу, їх можна підсумовувати, множити, виконувати підрахунок площ і об'ємів й інших розрахункових величин.



Рисунок 9.3 – Лазерні віддалеміри Disto D5 (*а*) та DM-120 (*б*)

Лазерна рулетка забезпечена вбудованим акумулятором, але загальна маса таких приладів не перевищує 600-800 г.

Унікальні можливості лазерної рулетки роблять її незамінною при проведенні обмірів земельних ділянок, які виконуються в ході інвентаризації земель населених пунктів, а також при лінійних вимірах на будівельних майданчиках промислових і цивільних об'єктів.

## 9.2 Цифрові (електронні) нівеліри

Повна автоматизація процесу нівелірних робіт стала можливою з появою цифрових (електронних) нівелірів. Сучасний цифровий нівелір – це комбінація оптичного приладу і спеціалізованого міні-комп'ютера з програмним забезпеченням для обробки отриманих вимірів.

Наявність у конструкції нівелірів електронних датчиків дає змогу з високою точністю відлічувати рейки зі штриховим кодом.

У зв'язку з тим, що цифрові нівеліри споряджені компенсаторами нахилу, то, установивши нівелір між двома точками за круглим рівнем, вводять у пам'ять ЕОМ інформацію про висоти початкового і кінцевого реперів, номери станцій та іншу інформацію, наводять зорову трубу послідовно на задню і передню рейки та натискають клавішу «відлік». Прилад в автоматичному режимі виконує всі вимірювання та відображає на екрані значення відліків по рейках і довжини плечей нівелювання.

Програмним забезпеченням деяких сучасних цифрових нівелірів передбачено вирівнювання вимірювань.

Отримані значення можуть бути передані на зовнішню пам'ять (запам'ятовуючий пристрій) для подальшої автоматичної обробки на базовому комп'ютері.

Сучасні цифрові нівеліри точного класу (рис. 9.4) знаходять широке застосування при:

- прокладанні нівелірних мереж III та IV класів;
- спостереженнях за деформаціями інженерних споруд;
- виробництві будівельно-монтажних робіт;
- топографічних зніманнях;
- автодорожньому і залізничному будівництві;
- будівництві мостів, шляхопроводів і транспортних тунелів.



Рисунок 9.4 – Цифрові точні нівеліри:

*a* – Sokkia SDL50; *б* – Leica Geosystems Sprinter 250 M; *в* – Trimble DiNi 07

Деякі технічні характеристики точних цифрових нівелірів різних фірм наведені в табл. 9.3.

В останні роки для інженерно-геодезичних вимірювань, зокрема у будівництві, широко застосовують лазерні нівеліри.

Лазерні нівеліри засновані на використанні в нівелірах лазерів – оптичних квантових генераторів (ОКГ).

Можливість автоматизації в лазерних нівелірах ґрунтується на створенні приладом видимої візирної лінії або площини.

При перетині видимим горизонтальним променем або площиною вертикальних рейок на них висвічується світлова лазерна пляма або горизонтальна світлова лінія, від якої відраховують перевищення.

Для цієї мети використовують візуальну або фотоелектричну індикацію лазерного променя. Один лазерний нівелір може одночасно обслуговувати кілька рейок.

Таблиця 9.3 – Технічна характеристика точних цифрових нівелірів

Тип нівеліра		Sokkia SDL50	Leica Geosystems Sprinter 250 M	Trimble DiNi 07
<b>Зорова труба прямого зображення</b>				
Збільшення		28×	24×	26×
Компенсатор		Маятниковий, з магнітним демпфером		
Точність установки		±0,8"	±0,8"	±0,5"
Діапазон роботи		±15'	±10'	±15'
<b>Нівелювання</b>				
Точність нівелювання (середня квадратична похибка на 1 км подвійного ходу), мм	Електронне вимірювання на інварну рейку	±1,5	±0,7	±0,7
	Електронне вимірювання на фібергласову рейку типу BGS	±1,5	±1,0	±1,3
	Візуальне вимірювання	±2,0	±2,5	±2,0
<b>Вимірювання відстаней (електронне)</b>				
Точність вимірювання віддалей (середня квадратична похибка), мм	$D < 10$ м	±10	±10	±10
	$D = 10-50$ м	$0,1\% \times D$	$0,1\% \times D$	$0,1\% \times D$
	$D = 50-100$ м	$0,2\% \times D$	$0,2\% \times D$	$0,2\% \times D$
Час електронного відлічування рейки, с		3	3	2
<b>Загальні характеристики</b>				
Пам'ять	Внутрішня	до 2000 точок	до 1000 точок	до 30000 строк
	Зовнішня	–	–	Підтримка USB-модуля флеш-пам'яті
Час роботи (при температурі +25°C), год.		Не менше 8,5	Не менше 8,5	72
Вага (з акумулятором), кг		2,4	2,5	3,5

Всі лазерні нівеліри поділяють на три великі групи:

– з циліндричним рівнем на корпусі випромінювача або на зоровій трубі нівеліра, до якої кріпиться лазерний випромінювач (наприклад, ЛВН3 та ЛВН5, відповідно, для нівелірів 2Н-3Л та ДТ-5Л);

– з лазерним променем, що встановлюється самостійно (наприклад, нівелір Лимка-Горизонт КЛ);

– з розгорнутим лазерним променем, який будує горизонтальні або похилі площини у просторі (наприклад, ротатійні нівеліри НЛ-20К та LP 30АС).

Лазерний нівелір Лимка-Горизонт КЛ (рис. 9.5) виконаний за конструктивною схемою звичайного оптичного нівеліра, що робить поводження з ним звичним і зрозумілим.

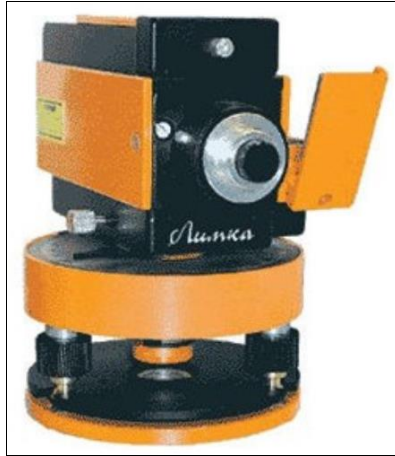


Рисунок 9.5 – Лазерний нівелір Лимка-Горизонт КЛ

Далі наведені основні технічні характеристики лазерного нівеліра Лимка-Горизонт КЛ: тип використовуваного лазера – видимий промінь, (довжина хвилі 635-650 Нм); приведення до горизонту – циліндричний рівень; точність побудови –  $\pm 1,5$  мм на 10 м; радіус дії приладу у вертикальному режимі – 10 м; радіус дії приладу в горизонтальному режимі – 50 м; джерело живлення – 1 батарея СЯ 123А (30 год.); робочі температури – від мінус 10°C до +45°C; вага – 1 кг.

Принципово новим конструктивним рішенням лазерних нівелірів є можливість задавати в просторі горизонтальну або похилу опорну світлову площину. Це дозволяє використовувати ротаційні лазерні нівеліри та системи (рис. 9.6, *а*, *б*) при виконанні геодезичного контролю вертикального планування, розмічувальних робіт на будівельних майданчиках, контролю будівельно-монтажних робіт усередині приміщень.



Рисунок 9.6 – Ротаційні лазерні нівеліри (будівники площин):  
*а* – НЛ-20К (УОМЗ); *б* – LP 30AC (Sokkia)

Головні технічні характеристики лазерних будівників площин деяких фірм наведено у табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – Технічні характеристики ротаційних лазерних нівелірів

Тип нівеліра	НЛ-20К	LP 30АС
Точність	20" ( $\pm 2,0$ мм на 20 м)	15" ( $\pm 3,4$ мм на 100 м)
Діаметр лазерної плями на виході, мм	20	15
Гранична віддаль при роботі, м: – з приймачем – без приймача	не менше 150 не менше 30	не менше 300 не менше 30
Швидкість обертання пристрою розгортки лазерної площини, об/хв.	0-600	0-600
Джерело живлення (акумуляторна батарея)	Вмонтована, 4,8 В	Акумулятор, NiCd
Тривалість дії (роботи), год.	20	20
Вага (з акумуляторною батареєю), кг	1,3	2,0

### 9.3 Застосування електронних тахеометрів для автоматизації геодезичних робіт

Електронний тахеометр – це геодезичний прилад, який об'єднує електронний теодоліт, світловіддалемір, нівелір, пристрої, які реєструють і обчислюють результати вимірювань, блок пам'яті та передачі інформації. Деякі сучасні моделі додатково оснащені системою GPS.

Перші моделі прототипів електронного тахеометра з'явилися в 70-і рр. ХХ-го ст. Тоді були створені перші напівелектронні прилади, в яких оптичний теодоліт був оснащений світловіддалеміром: SM-41 (Zeiss, Німеччина), EOT-2000 (Karl Zeiss, Австрія), Та5 (УОМЗ, СРСР).

Потужним поштовхом у геодезичному приладобудуванні був випуск у 1969 р. електронного теодоліта АГА-136 (Швеція), в якому оптична система відліку кутів була замінена на електронну, коли інформація про значення кутів надходить у процесор у вигляді синуса та косинуса кута. Таким чином початком процесу автоматизації кутових вимірювань була заміна традиційних кругів – кругами з нанесеною кодовою системою, з яких зчитування напрямків виконували спеціальні електронні пристрої, названі зчитувачами.

За минулі роки багато компаній знаходили унікальні та нестандартні шляхи і способи створення оптико-електронних приладів, які були б здатні виконувати кутові та віддалемірні вимірювання, записувати дані у внутрішню пам'ять і далі, оперуючи ними, вирішувати прикладні задачі.

З появою компактного й енергоємного напівпровідникового лазера, з'явилася можливість розмістити в невеликому корпусі електронного теодоліта світловіддалемір і його живлення. Тепер віддалемірні та кутові вимірювання, отримані в кодовій формі, безпосередньо передаються для обчислень у міні-ЕОМ (ЕОМ – електронно-обчислювальна машина).

У сучасних електронних тахеометрах відстані вимірюються за різницею фаз прямого і відбитого променя (фазовий метод), іноді – за часом проходження лазерного променя до відбивача і назад (імпульсний метод).

Точність вимірювання залежить від технічних можливостей моделі тахеометра, а також від багатьох зовнішніх параметрів: температури, тиску, вологості і т. п.

Діапазон вимірювання відстаней залежить також від режиму роботи тахеометра: відбивний (фазовий) або невідбивний (імпульсний).

Максимальна дальність лінійних вимірювань для режиму з відбивачем (призмою) – до п'яти кілометрів, а без відбивача – до одного кілометра. Точність кутових вимірювань сучасним тахеометром досягає половини кутової секунди ( $0^{\circ}00'00,5''$ ), а точність вимірювання відстаней – до  $0,6 \text{ мм} + 1 \text{ мм на } 1 \text{ км}$ .

Технічні можливості сучасних електронних тахеометрів безперервно зростають, а область застосування розширюється. Використання електронних тахеометрів забезпечує автоматизацію виконання польових геодезичних робіт, а їх комп'ютерне забезпечення істотно розширило можливості геодезистів, звільнивши частково або повністю від безпосередньої участі в процесах вимірювань, отримання, зберігання та передачі інформації. Усе це суттєво скоротило час проведення польових робіт, підвищило продуктивність праці та виключило вплив людини, у т. ч. особистих помилок геодезиста.

Технічні характеристики деяких електронних тахеометрів, які поширені в Україні при виконанні геодезичних робіт, наведено в табл. 9.5.

Електронні тахеометри випускають і поставляють на український ринок багато провідних приладобудівних компаній світу: Leica, Nikon, Trimble, Topcon, Sokkia, УОМЗ та інші.

Крім того, у сучасний період випускаються високоточні тахеометри з середньою квадратичною похибкою вимірювання кутів  $1-1,5''$  (наприклад, Trimble TS06 plus R500, Sokkia – FX101, NET1200, Nikon Nivo 1C, Topcon GPT-7501 і т. д.).

Таблиця 9.5 – Основні параметри електронних тахеометрів

Параметри	Фірма і модель			
	УОМЗ		Trimble	Sokkia
	3Та5Р	5Та5	М3 DR 2, 3, 5	CX-102, 103, 105
Середня квадратична похибка вимірювання кутів, с:				
– горизонтального	5	5	2, 3, 5	2, 3, 5
– вертикального	5	5	2, 3, 5	2, 3, 5
Середня квадратична похибка вимірювання віддалей, мм:				
– на призму	$5 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$5 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$2 \pm 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$2 \pm 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$
– без призми	$5 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$5 \pm 3 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$3 \pm 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$	$3 \pm 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$
Дальність вимірювання, м:				
– на одну призму	1000	3000	5000	5000
– без призми	–	250	400	500
– на плівку	–	300	300	500
Об'єм пам'яті:				
– внутрішньої	11000 точок	1 Мб	RAM 128 Мб	10000 точок
– карта пам'яті	1 Мб	128 Мб	128 Мб	USB флеш-карта
Клавіатура	15 клавіш	26 клавіш	25 клавіш	25 клавіш + бокова клавіша
Вага приладу, кг	5,4	5,9	3,8	5,6

### 9.3.1 Будова електронного тахеометра

Незважаючи на велику кількість виробників і моделей, електронні тахеометри схожі за конструкцією (див. рис. 9.7) та відрізняються рядом незначних відмінностей.

Електронний тахеометр поділяють на наступні блоки:

- корпус тахеометра;
- зорова труба з вбудованим віддалеміром;
- компенсатор;
- висок або центрир;
- блок управління;
- акумуляторна батарея;
- трегер.

*Корпус тахеометра* виконує функцію несучої конструкції, на якій кріпляться механічні, електронні та оптичні вузли. Також у корпусі розміщений лімб вертикального круга для вимірювання вертикального кута при обертанні зорової труби. Зняття відліку відбувається за рахунок зчитування штрих-коду світлочутливим приймачем з лімба. Останнім часом майже всі виробники виробляють корпус з легких сплавів металів і пластика, що значно полегшило вагу тахеометрів.





Рисунок 9.7 – Зовнішній вигляд деяких сучасних електронних тахеометрів:  
*a* – 5Та5; *б* – Trimble M3 DR; *в* – Sokkia CX

*Зорова труба з вбудованим віддалемір* об'єднує оптичну та електронну частини. Електронний блок включає безпосередньо лазерний віддалемір, суміщений з віссю зорової труби, і блок аналізатора, який визначає відстань до цілі.

*Компенсатор* – це пристрій, який дозволяє визначити кутове відхилення тахеометра по осях від положення горизонту. Останнім часом використовується рідинний тип компенсатора. Бувають одновісні та двовісні компенсатори, тобто компенсують відхилення за однією або двома осями. Рекомендують виконувати роботи з включеним компенсатором і тільки при роботах в умовах сильних вібрацій варто його вимикати.

*Висок або центрир* призначений для встановлення тахеометра на станції та буває двох типів – оптичний і лазерний.

*Блок управління* – це рідинно-кристалічний дисплей і модуль контролера (мікро-ЕОМ). Контролер – польовий комп'ютер-обчислювач і пульт-клавіатура управління тахеометром. Більшість моделей тахеометрів мають вбудований контролер, який керується клавіатурою. Клавіатура може бути цифровою або алфавітно-цифровою. Деякі моделі сучасних тахеометрів мають клавіатури з обох сторін. Кількість клавiш (кнопок) у середньому складає від 10 до 30, в залежності від можливостей тахеометра.

Клавіатура з мінімальною кількістю багатофункціональних клавіш є не дуже зручна та неефективна. Функціональні можливості тахеометра залежать від об'єму пам'яті, типу екрана, його продуктивності, кількості вбудованих програм. Результати вимірювань записуються на карту пам'яті (типу РСМСІА) або на вбудовану пам'ять.

*Акумуляторна батарея* є як внутрішня, так і зовнішня. Внутрішні батареї входять до комплекту з приладом і відрізняються за типом на метало-гідридні та літій-іонні. Їх ресурсу вистачає на виконання робіт протягом робочого дня. Зовнішні батареї розраховані на більший час робіт.

*Трегер* призначений для встановлення електронного тахеометра на штатив і його горизонтування за допомогою розміщених на ньому підйомних гвинтів.

У комплект електронного тахеометра входить наступне обладнання:

- кабель для передачі вихідної інформації з комп'ютера в пам'ять приладу, а файлів з даними вимірювань – з тахеометра на комп'ютер або на принтер;
- відбивна призма з візирною маркою, набір призм;
- кріплення для системи призм;
- додатковий трегер (підставка), оптичний центрир (адаптер трегера з оптичним центриром) для триштативної системи вимірювання кутів;
- комплект плівкових відбивачів;
- штативи;
- віха з рівнем для установки призми, підпірки для віхи;
- зарядний пристрій для акумуляторів;
- кабель для підключення до зовнішніх джерел живлення.

Вимірювання віддалей тахеометром виконуються на відбивач, а на малих відстанях у більшості приладів використовуються вимірювання без відбивача. При застосуванні однопризмового відбивача, який поєднаний з візирною маркою для вимірювання кутів, його, як правило, встановлюють на штатив або віху з круглим рівнем. Вимірювання великих віддалей виконують на комплект призм, які встановлюються на спеціальному кріпленні. При використанні штатива підставка або адаптер трегера центруються за оптичним центриром. Під час роботи з електронним тахеометром, як правило, не ведуть журнал для запису результатів вимірювань, але обов'язково складають і ведуть відповідний абрис.

Далі на прикладі електронного тахеометра 5Та5 (рис. 9.7, а та рис. 9.8) детально розглянуто устаткування і головний принцип роботи електронних тахеометрів.

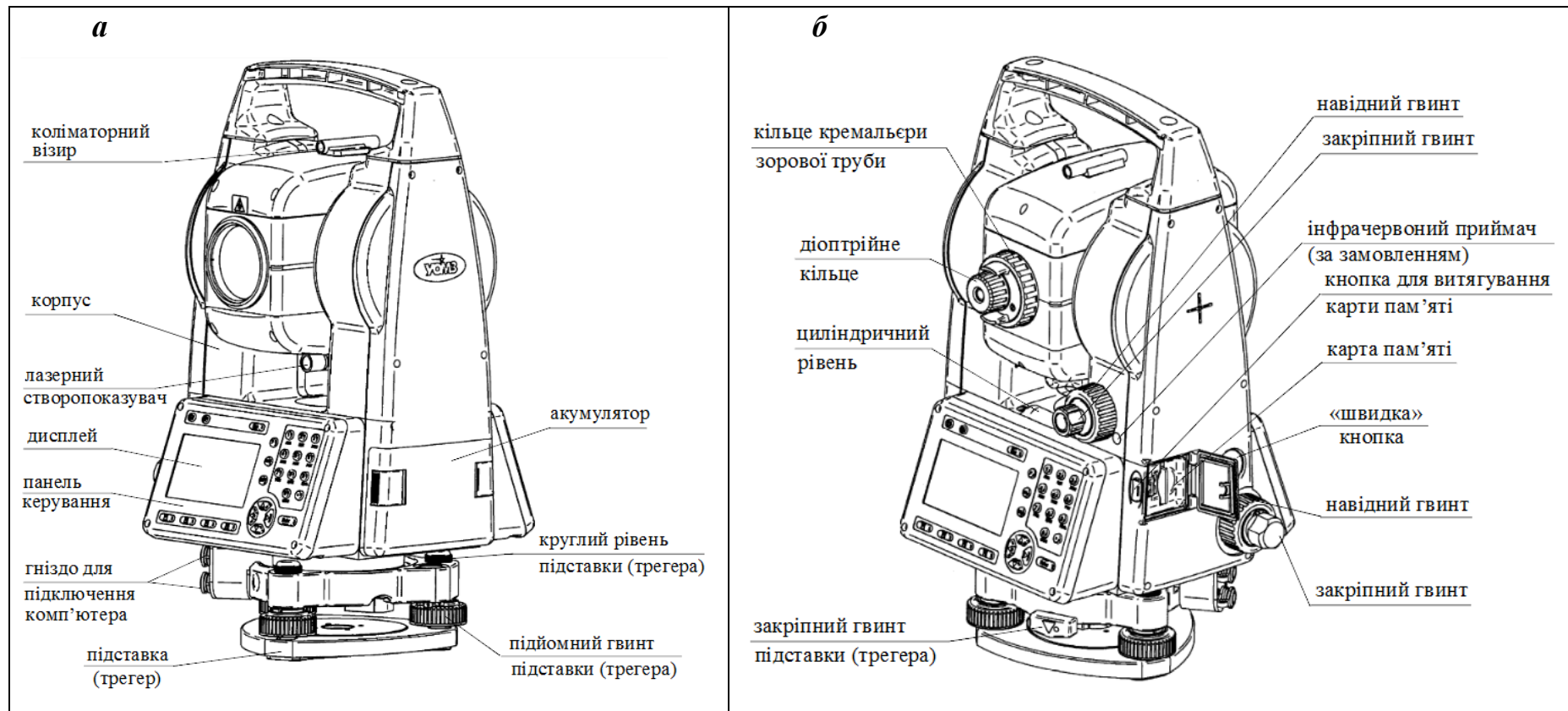


Рисунок 9.8 – Загальний вигляд і устаткування електронного тахеометра 5Та5:  
**а** – вигляд тахеометру з боку об'єктива; **б** – вигляд тахеометру з боку окуляра

Тахеометр 5Та5 є вдосконаленою модифікацією тахеометра 3Та5Р, який призначений для виконання великомасштабних топографічних знімачь, для створення мереж планово-висотної основи і використовується в лінійних вишукуваннях, будівництві, при виконанні землевпорядних робіт.

Електронно-оптичний тахеометр 3Та5Р був призначений для вимірювання горизонтальних прокладань, горизонтальних і вертикальних кутів, а також отримання перевищень, приростів координат та зенітних віддалей при згущенні знімальних геодезичних мереж і тахеометричному зніманні. Даний тахеометр сполучав в одному приладі оптичний шкаловий теодоліт 2Т5КП з компенсатором вертикального круга, світловіддалемір СТ5, обчислювальний пристрій та клавіатуру управління для напівавтоматичної реєстрації результатів вимірювань. Відліки з лімбів знімалися візуально і вводилися в обчислювач за допомогою клавіатури управління, після чого на світловому табло в цифровому вигляді отримували горизонтальне прокладання, перевищення, прирости прямокутних координат і зенітну віддаль. Потім ці результати автоматично вводилися в зовнішній накопичувач інформації для подальшої обробки на ЕОМ, яка з'єднана з графобудівником. Точність вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів дорівнювала, відповідно, 5" та 8", а віддалей до 2 км – 20 мм. У комплект приладу входили: тахеометр з підставкою; штатив типу ШР-160, два відбивачі (одно- та шестикутний) з віхами, джерело електропостачання і зарядно-розрядний пристрій, блок контрольного відліку та інше приладдя.

Програмне забезпечення будь-якого електронного тахеометра дозволяє наступне: 1 – проводити вимірювання полярних і прямокутних координат точок земельної ділянки; 2 – визначати недоступні віддалі та висоти об'єктів; 3 – виконувати винос запроектованих точок у природу та інше.

З електронними тахеометрами використовують основні комплектуючі (штативи, підставки, станові гвинти, відбивачі), які застосовують з усіма подібними приладами.

Панель керування може бути одна або двостороння. На панелі керування розташовані програмні та службові кнопки (рис. 9.9). Більшість клавіш (кнопок) виконують кілька функцій.

У приладі можна виконати кілька початкових установок, значення та конфігурації яких будуть автоматично використані потім при вимірах і обчисленнях та подані на дисплей.



Рисунок 9.9 – Дисплей і клавіатура електронного тахеометра 5Та5:  
 ⊕ – клавіша включення/виключення приладу; ⊙ – клавіша введення точки;  
 ☀ – клавіша підсвічування дисплея; N/A – клавіша введення букв/цифр;  
 Enter – підтвердження вводу, вибір підпрограм; Esc – відміна дії, перехід  
 на ступінь вище у меню; BS – вилучення невірних набраних символів; F –  
 клавіша програмування для виконання функцій; F1, F2, F3, F4 – клавіші  
 програм для виконання різних функцій; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – клавіші  
 набору цифр і букв; ◀ ▼ ▲ ▶ – клавіші переміщення курсору на дисплеї

У приладі передбачено чотири режими у вигляді спеціальних шаблонів екрану, які відповідають певним вимірюваним і обчислюваним величинам перед видачею їх на екран. Наприклад, режим роботи з пам'яттю призначений для організації файлів і записування в них результатів вимірювань. Зазвичай у пам'яті приладу формують файл вихідних даних і робочі файли, в які записують результати вимірювань.

Робочих файлів можна організувати декілька, що дозволяє записувати і зберігати інформацію одночасно за кількома видами робіт на об'єкті або за декількома об'єктами.

У файл вихідних даних вводять з комп'ютера або з клавіатури каталог координат опорних пунктів на об'єкті.

Обмін інформацією між тахеометром і комп'ютером та назад здійснюється у режимі передачі даних за допомогою програми тахеометру.

### 9.3.2 Перевірки електронного тахеометра

Електронний тахеометр, як і будь-який геодезичний прилад, треба перевіряти і виправляти (юстувати) перед виконанням робіт. Враховуючи сумісність віддалемірних і кутових вимірів, у тахеометрі повинні виконуватися геометричні умови взаємного положення оптико-механічних та оптико-електронних осей. Повний набір перевірок і юстувань проводиться на спеціальних стендах або в сервісних центрах. Однак ряд основних перевірок можна виконати в польових умовах. Більш того, регулярне проведення деяких перевірок є обов'язковим, тому що вимірювання електронним тахеометром проводяться при одному положенні вертикального круга (ВК) приладу, а поправки за колімацію ( $c$ ), місце нуля ( $MO$ ) ВК і місце нуля компенсатора нахилу вертикальної осі ( $MOX$ ,  $MOY$ ) автоматично вводяться в результати вимірювань. Невраховані у приладі зміни цих поправок призводять до зниження точності результатів вимірювань. Перед перевірками електронного тахеометра необхідно уважно вивчити методику їх проведення та юстування у керівництві з експлуатації конкретної моделі тахеометра.

#### 1. Перевірка рівнів (круглого і циліндричного).

Проводиться так само, як у теодоліта. Підйомними гвинтами бульбашка рівня виводиться в нуль-пункт, і верхня частина приладу обертається на  $180^\circ$ . При відхиленні бульбашки проводиться юстування положення рівня відповідними юстувальними гвинтами на половину зміщення бульбашки.

2. Перевірки оптичного центрира, сітки ниток зорової труби і рівності підставок. Виконуються так само, як і у традиційних приладів.

#### 3. Перевірка компенсатора нахилу вертикальної осі приладу.

Ретельно горизонтують прилад за допомогою підйомних гвинтів за циліндричним рівнем. В режимі виконання вимірювань установлюють на горизонтальному крузі нульовий відлік. Подальші дії щодо визначення величин  $MOX$  (за напрямом візування) та  $MOY$  (за віссю обертання зорової труби) у різних тахеометрів є різні та залежать від конкретної марки тахеометра. Однак, для будь-яких тахеометрів ці значення не повинні перевищувати  $\pm 20''$ . Юстування їх проводиться при КЛ натисканням відповідної екранної клавіші, після чого перевірку повторюють.

#### 4. Визначення колімаційної похибки і місця нуля вертикального круга.

Перед перевіркою необхідно ретельно горизонтувати тахеометр за циліндричним рівнем. Для візування вибирають чітку точку, віддалену приблизно на 100 м (кут нахилу на неї не повинен перевищувати  $\pm 9^\circ$ ).

У приладі встановлюють режим юстування (перевірок).

Поправки за колімацію ( $c$ ) і місце нуля ( $M0$ ) ВК вводять при КЛ, тому їх визначення треба починати з спостережень при КП.

Точно візують на обрану точку, натискають клавішу вимірювань. Операції повторюють при другому положенні зорової труби (КП) приладу. Значення  $M0$  ВК видаються на екран. За допомогою екранних клавіш їх можна ввести в пам'ять приладу. Слід зазначити, що поточні значення всіх поправок ( $c$ ,  $M0$  ВК,  $M0X$ ,  $M0Y$ ) можна визначати одночасно, використовуючи види екрану для їх виводу на дисплей, а при юстуванні – відповідні екранні клавіші для їх введення в прилад.

### **5. Визначення постійної поправки ( $K$ ) віддалеміра тахеометра.**

У сучасних тахеометрах встановлено значення  $K = 0$  мм. Однак, його зміна призводить до систематичних похибок у віддальх. Тому постійну поправку приладу рекомендується регулярно контролювати. Постійну поправку віддалеміра не слід плутати з постійною поправкою відбивача, яка обчислюється за геометричними розмірами призми, типом скла і положенням вертикальної осі відбивача. Наприклад, постійна поправка призми тахеометра Trimble становить 35 мм, тахеометрів SET (CX, PX) – 30 мм (призми APO1S + APO1), тахеометрів типу 5Ta5 – 0 мм.

Всі віддалеміри однієї серії узгоджені з відбивачами, що входять до їх комплекту, тому постійна приладу  $K = 0$  мм.

Використання відбивача іншої серії або моделі змінює цю постійну за рахунок відбивача. Однак вона може змінюватися з часом і незалежно від відбивача.

Найчастіше постійну поправку  $K$  віддалеміра визначають на базисах, довжини яких вже відомі, за виразом:

$$K = b - D, \quad (9.2)$$

де  $b$  – еталонне значення довжини базису;

$D$  – виміряне тахеометром значення довжини базису.

Такі вимірювання виконують з перестановкою приладу в межах фазового циклу.

Якщо базисні лінії відсутні, то застосовують безбазисний спосіб (рис. 9.10). Значення  $K$  при безбазисному способі визначають з вимірювань трьох відрізків: АВ (рис. 9.10, *a*), АС та СВ (рис. 9.10, *б*).

На рівній місцевості на відстані приблизно 100 м закріплюють дві точки А та В. Над точкою А встановлюють прилад, а над точкою В – відбивач (рис. 9.10, *a*). Вимірюють відстань  $D_{AB}$ .

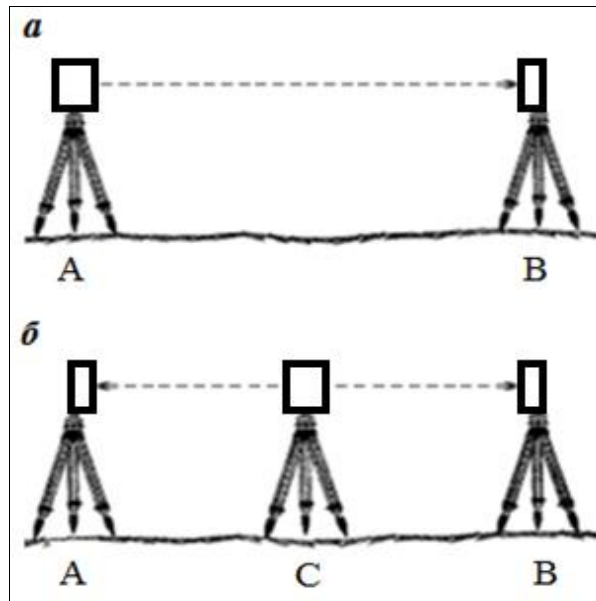


Рисунок 9.10 – Безбазисний спосіб визначення постійної поправки віддалеміра (пояснення позначень у тексті)

Потім у створі лінії АВ закріплюють точку С і центрують над нею штатив, на який переносять тахеометр, а над точкою А установлюють відбивач (рис. 9.10, б). Вимірюють відрізки  $D_{AC}$  та  $D_{CB}$ .

Далі із співвідношення:  $D_{AB} + K = D_{AC} + K + D_{CB} + K$ , знаходять  $K$ :

$$K = D_{AB} - (D_{AC} + D_{CB}). \quad (9.3)$$

Вимірювання виконують кілька разів і беруть середнє значення  $K$ . Можна використовувати декілька точок С.

Похибка  $m_K$  визначення постійної поправки  $K$  за формулою (9.3) дорівнює:

$$m_K = (3 \cdot m_D)^{0.5}, \quad (9.4)$$

де  $m_D$  – середня квадратична похибка лінійних вимірювань тахеометром.

Юстування даної поправки виконують в сервісних центрах, якщо за декількома визначеннями  $K$  перевищує  $\pm 3$  мм.

Зазначимо, що у деяких моделей тахеометрів передбачено введення нового значення постійної поправки віддалеміра  $K$ .

#### **6. Визначення постійної поправки $K_B$ відбивача іншої фірми (типу).**

Для цього вимірюють одну і ту ж віддаль з відбивачем, що входить у комплект приладу ( $D_0$ ), та з новим відбивачем ( $D_1$ ).



Постійна поправка відбивача іншої фірми (типу) обчислюється за формулою:

$$K_B = D_0 - D_1. \quad (9.5)$$

Вимірювання виконують  $n$  разів, отримують середнє значення  $K_B$ , яке вводять у прилад для нового відбивача у вигляді додаткової поправки.

**7. Робоча вісь електронного віддалеміра повинна збігатися з візирною віссю зорової труби.**

Якщо центр сітки ниток труби навести на центр відбивача, то максимальний сигнал з дистанції повинен надходити від цієї ж точки. Визначити виконання цієї умови можна шляхом наведення на центр відбивача, який встановлюється від тахеометра не менше ніж на 50 м. Після точного наведення на ціль перевіряють рівень відбитого сигналу приладу, включивши режим вимірювання відстаней з індикацією рівня сигналу. Навідними гвинтами плавно переміщують сигнал по відбивачу вгору-униз і вправо-уліво. Знаходять положення, при якому рівень індикації відбитого сигналу, що видається на дисплей, буде максимальним. Далі дивлячись у зорову трубу визначають на скільки положення сітки ниток при цьому зсунулося з центру відбивача.

Якщо центри візування та максимуму віддалемірної сигналу не збігаються, то необхідне юстування (виправлення) оптико-електронних каналів віддалемірної частини тахеометра, яке проводиться на спеціальних стендах у сервісних центрах.

### ***9.3.3 Виконання вимірювань електронним тахеометром***

Підготовка електронного тахеометра до роботи включає:

- перевірки та юстування приладу, оптичного центрира для відбивача, рівня на вісі для призми;
- комплектування обладнання в залежності від довжин ліній, застосовуваних відбивачів і видів робіт;
- зарядку акумуляторів;
- вибір у режимі пам'яті файлів вихідних даних і файлів для запису результатів вимірювань;
- введення каталогу координат з комп'ютера у файл вихідних даних пам'яті тахеометра;
- очищення робочих файлів від старої інформації.

Якщо обробка виконується після польових вимірювань, то каталог вихідних пунктів можна ввести при обробці, а в тахеометр не вводити.

Роботу на станції починають із установлення та приведення приладу в робоче положення. Для цього штатив над точкою установлюють за допомогою виска, вдавлюють його ніжки, регулюючи їх висоту, щоб головка штатива була горизонтальною. Тахеометр ставлять на штатив, закріплюють становим гвинтом. Виконують остаточне центрування і горизонтування приладу за допомогою вбудованого оптичного центра, підйомних гвинтів і рівня.

Вимірюють висоту тахеометра (з точністю до 1 мм) від марки центра пункту до мітки висоти приладу з використанням висувної віхи з міліметровими поділками. Віху вставляють в отвір у підставці (попередньо вийнявши тахеометр з підставки) до упору в марку, вимірюють висоту верху підставки і до неї додають стандартну висоту приладу.

При прокладанні ходів полігонометрії використовують триштативну систему, якщо це дозволяють підставки (трегери) під відбивач, що входять у комплект приладу. Для знімання, прокладання теодолітного ходу, будівництва засічками призми відбивача можна встановлювати на віху, яка в прямовисне положення приводиться за допомогою круглого рівня.

Для прив'язки до пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ) вісь віхи відбивача встановлюють над центром марки пункту.

Якщо виконується тільки кутова (азимутальна) прив'язка до пункту ДГМ, то достатньо поставити на віху візирну марку без відбивача. Її використовують у безвідбивному режимі для вимірювання коротких відстаней.

Основні методи роботи з електронними тахеометрами є загальними для більшості моделей і конкретизуються відповідно до їх можливостей, внутрішнього програмного забезпечення, функцій клавіш.

Нижче наведений порядок роботи, який підходить практично для будь-якого електронного тахеометра.

1. Включення електроживлення приладу – після встановлення в робоче положення.
2. Створення (вибір) файлу, в якому будуть зберігатися дані вимірювань.
3. Уведення вихідних даних у пам'ять приладу.
4. Вхід у режим вимірювань зі збереженням початкових установок, параметрів і даних.
5. Уведення даних про точку стояння (станції).
6. Орієнтування приладу за напрямком на попередню точку з вимірюванням відстані (при наявності відбивача на попередній точці).

7. Вимірювання напряму та відстані на наступну точку ходу.
8. Виконання знімання (якщо виконується тахеометричне знімання).
9. Перехід на наступну станцію та повторення виконання пунктів 1-9.

При прокладанні ходу горизонтальні кути вимірюють усі праві або усі ліві за ходом. Під час побудови ходу електронним тахеометром визначаються не тільки координати, але й позначки пунктів методом тригонометричного нівелювання.

### ***9.3.4 Обробка результатів вимірювань електронним тахеометром***

Електронним тахеометром виконуються різні види робіт за призначенням, складності побудов, вимог до точності, типом кінцевої продукції. Тому математична обробка може відрізнятися за обсягом і застосованому модулю програмного забезпечення (ПЗ) у кожному конкретному випадку.

В цілому можна виділити три основні етапи обробки результатів:

- 1 – первинна обробка результатів безпосередніх вимірювань на основі вбудованого ПЗ тахеометра;
- 2 – передача інформації з тахеометра на комп'ютер;
- 3 – остаточна обробка результатів вимірювань з використанням універсальних програмних пакетів з видачею необхідної інформації, у тому числі в графічному вигляді.

Первинна обробка результатів вимірювання кутів і віддалей виконується тахеометром автоматично після входу у відповідний режим меню або режим роботи приладу і супроводжує вимірювання. Вбудоване ПЗ входить у технічне оснащення електронного тахеометра і забезпечує введення інформації, настройку (установки) приладу, обчислення елементів прив'язки, визначення координат та інших геодезичних величин, рішення прикладних задач, налаштування інтерфейсу. Воно ж здійснює управління окремими операціями та роботою приладу в цілому, забезпечуючи високопродуктивний зручний рівень роботи з ним. Визначення координат полярною і оберненою засічками виконують усі моделі тахеометрів безпосередньо на станції. При цьому обернена лінійно-кутова засічка розв'язується в тахеометрі шляхом вирівнювання методом найменших квадратів з оцінкою точності визначення координат, використовуючи до десяти наближень, поки різниці координат у послідовних ітераціях не будуть менше 0,5 мм. Додаткова обробка таких визначень найчастіше не потрібна.

Однак математична обробка ходів й інших складних побудов, а також обробка та нанесення на план матеріалів знімання повинні виконуватися за спеціальними програмами. У даний час для цього використовуються універсальні програмні пакети і комплекси. Для обробки в них інформація польових вимірювань передається з електронного тахеометра в комп'ютер. Досить часто проводиться спільна обробка файлів, отриманих різними геодезичними приладами, наприклад тахеометром і супутниковим приймачем. Вибирають при цьому програмне забезпечення, яке працює у форматах використаних приладів.

Передача інформації виконується з використанням інтерфейсного кабелю, який входить у комплект тахеометра. При підключенні такого кабелю електронний тахеометр і комп'ютер мають бути вимкнені. Після підключення інтерфейсного кабелю запускають програму передачі даних у комп'ютері. Подальші дії залежать від типу тахеометра і програми, що використовуються.

Остаточна обробка результатів геодезичних вимірювань при застосуванні будь-якого ПЗ тахеометра складається з чотирьох основних етапів камеральних робіт: введення даних; обробка даних; експорт даних і випуск вихідної документації.

Введення даних може здійснюватися з електронних тахеометрів, контролерів, рукописних польових журналів, а також з растрових файлів картографічних матеріалів. Введення даних починають з каталогу вихідних пунктів, які використовуються в побудові. Далі використовують файли результатів вимірювань, які отримують з тахеометра. Наприклад, при обробці ходу з'являється таблиця з назвою пунктів, горизонтальними кутами, відстанями, вертикальними кутами або перевищеннями, а також графічне зображення введеного ходу. Робота програм включає попередню обробку даних, аналіз побудови та вирівнювання мережі.

Під час попередньої обробки обчислюють горизонтальні прокладання та перевищення, вводяться різні поправки (якщо це не було зроблено в приладі): на кривину Землі і вертикальну рефракцію, на редукцію напрямів і ліній на поверхню відносності та в площину проекції Гаусса-Крюгера.

У результаті попередньої обробки формується відомість наведених напрямів, горизонтальних прокладань і перевищень.

Вирівнювання мережі виконується програмою параметричним способом за методом найменших квадратів. За результатами вирівнювання виконується повна оцінка точності, видаються вирівняні координати пунктів мережі з розгорнутою оцінкою їх точності, включаючи еліпси похибок їх положення.

Окремо вирівнюються висотні геодезичні побудови, які, при вимірюваннях електронним тахеометром, представлені ходами й іншими схемами тригонометричного нівелювання. За результатами вирівнювання формуються каталоги координат і висот пунктів геодезичної побудови, відомості оцінки точності планових та висотних визначень.

Математичну обробку результатів геодезичних вимірювань, які виконані електронним тахеометром, при застосуванні будь-якого ПЗ, можна представити у вигляді загальної блок-схеми (див. рис. 9.11).

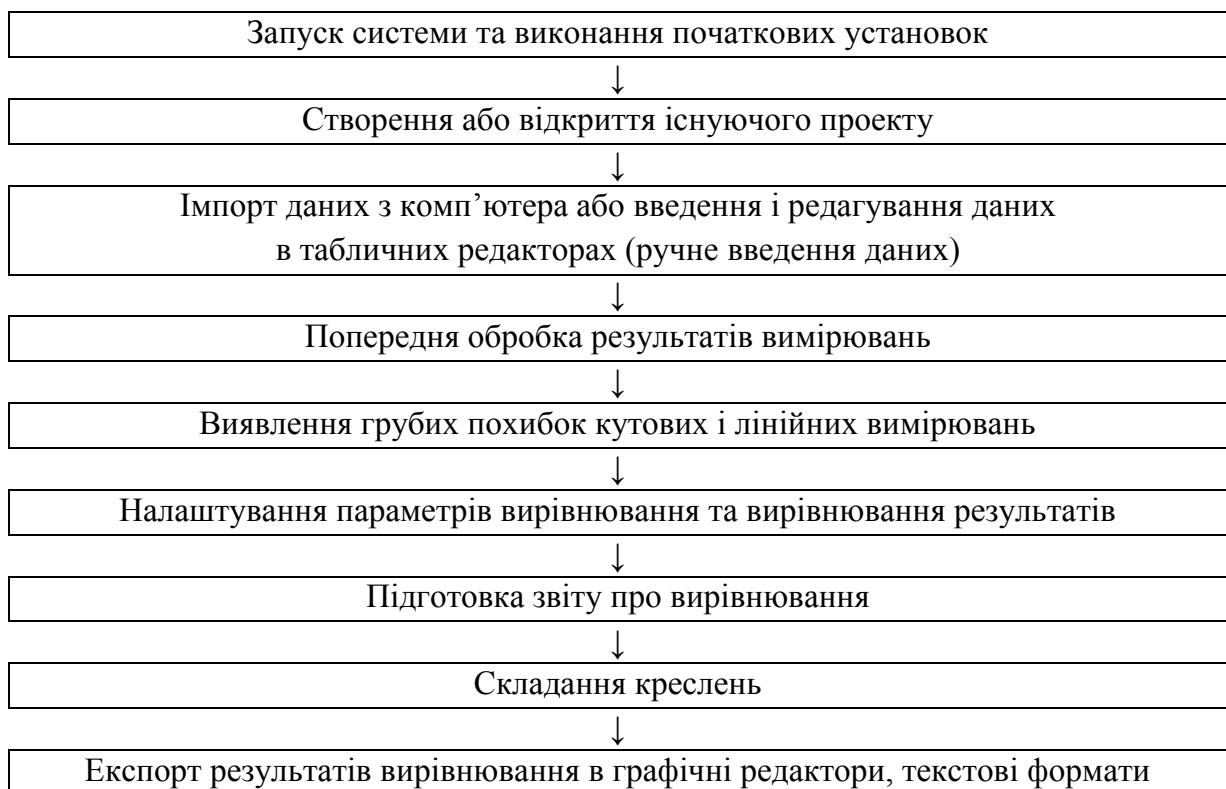


Рисунок 9.11 – Блок-схема математичної обробки результатів геодезичних вимірювань, які виконані електронним тахеометром

### *Питання для самоперевірки до теми № 9*

1. Які електронні (цифрові) прилади застосовуються для автоматизації геодезичних вимірювань?
2. З яких основних блоків складається електронний тахеометр?
3. Які основні перевірки виконують для електронних тахеометрів?
4. Як здійснюють нівелювання за допомогою електронного тахеометра?
5. З якою метою і як передається інформація з електронних (цифрових) приладів в комп'ютер (на прикладі електронного тахеометра)?

## **10 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ**

Усі види геодезичних робіт повинні виконуватися відповідно до діючих технічних інструкцій, настанов і правил з охорони праці під час геодезичних робіт, а також галузевих правил з техніки безпеки робіт.

На сьогодні базовим документом, який регулює правила з техніки безпеки при виконанні топографо-геодезичних робіт на території України є «Правила з техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах (ПТБ-88)».

Основними завданнями техніки безпеки та охорони праці є наступні:

- забезпечення сприятливих умов для високопродуктивної праці;
- поліпшення охорони праці;
- усунення можливих причин травматизму.

### **10.1 Правила техніки безпеки і охорони праці під час проведення геодезичних робіт**

Перед направленням на роботу всі працівники проходять обов'язкове медичне обстеження для визначення їх придатності до польових робіт у конкретних фізико-географічних умовах. У всіх необхідних випадках всім працівникам роблять протиепідемічні щеплення і навчають їх заходам особистої профілактики. При роботі на малообжитих територіях працівники мають бути проінструктовані на випадок надання першої медичної допомоги при опіках, відмороженнях, ударах і переломах, сонячних і теплових ударах, гірській хворобі, отруєннях, укусах отруйних змій і комах.

Перед виконанням будь-яких геодезичних робіт усі працівники повинні пройти спеціальний інструктаж з техніки безпеки, під час якого їм роз'яснюються вимоги безпечного ведення геодезичних робіт і поведінки при виникненні несприятливих ситуацій.

Геодезичні роботи можуть виконуватися як в лісових, пустельних і важкодоступних районах, так і на територіях населених пунктів, залізничних станцій, промислових і сільськогосподарських підприємств і т. д.

При роботі в умовах лісової, пустельної, гірської, болотистої та малонаселеної місцевості основними причинами нещасних випадків і травматизму часто виявляються природні чинники, такі як: 1) недолік або відсутність орієнтирів; 2) велика кількість природних перешкод; 3) стихійні лиха, відсутність води, пожежі і т. п.

При виконанні геодезичних робіт на території населених пунктів і майданчиках промислових підприємств джерелом нещасних випадків може стати штучно створені людиною обставини, до яких належать:

- випадки ураження електричним струмом;
- отруєння газом при обстеженні та зйомці тунелів, колодязів і колекторів підземних мереж;
- події, пов'язані з автомобільним або залізничним транспортом;
- події, пов'язані з роботою на мостах, з монтажем будівельних конструкцій, виробництвом земляних робіт і т. д.

Нещасні випадки можуть статися внаслідок несправності приладів або неправильного користування ними:

- сокири, лопати та молотки повинні бути щільно насаджені на рукоятки з розклиненням металевими клинами;
- рукоятки не повинні мати задирок і тріщин;
- пакувальні ящики приладів повинні мати міцно скріплені з ними ручки і заплічні ремені;
- при лінійних вимірюваннях сталевими стрічками та рулетками потрібно бути уважним, щоб уникнути порізу ними рук;
- переносити віхи, штативи і шпильки слід, тримаючи їх гострими кінцями вниз;
- щоб не поранити ноги, забороняється переносити за спиною геодезичні прилади зі штативом.

Виконання будь-яких геодезичних робіт на вулицях міст та інших населених пунктів, а також на автомобільних дорогах повинно бути погоджено з відповідними службами регулювання дорожнього руху:

- роботи на проїзній частині вулиць і автомобільних дорогах повинні виконуватись у період спаду інтенсивності руху транспорту;
- проміри ліній стрічкою виконують вдень вдовж доріг і вулиць;
- робітники, які приймають участь у виконанні геодезичних робіт на вулицях, площах і автомобільних дорогах, зобов'язані працювати в демаскуючому одязі, знати та виконувати правила дорожнього руху.

Забороняється:

- проводити роботи в смузї відчуження високовольтних ліній електропередач (ЛЕП), електростанцій, а також на антенних полях без погодження із відповідними організаціями;
- проводити виміри висоти підвіски проводів ліній електропередач безпосередньо виміром при допомозі стрічки, рейки, віх і інших предметів (визначати їх слід аналітично);

– піднімати рейки, віхи й інші предмети до ЛЕП і контактної мережі залізниць і трамвайних ліній на віддалі ближче ніж 2 м;

– використовувати штирі довші 15 см для закріплення теодолітних ходів на заасфальтованій частині населеного пункту.

Під час роботи на будівельному майданчику з великою кількістю працюючих механізмів слід дотримуватися обережності та призначати спостерігача за рухомих транспортом і механізмами.

Не можна виконувати геодезичні роботи в небезпечних зонах:

– у районі, де працюють екскаватори, підйомні крани;  
– у місцях проходження ЛЕП (при необхідності проведення таких робіт ЛЕП слід відключити).

Під час викопування котловану для закладки геодезичних центрів в умовах нестійких ґрунтів необхідно зміцнювати стіни котлованів дошками.

Місця закладення центрів і реперів у населених пунктах повинні бути узгоджені з установами, які видають підземними комунікаціями. Недотримання цієї вимоги може призвести до аварії з тяжкими наслідками.

Особливу обережність слід проявляти при підйомі на дерева, щогли і вежі з метою обстеження місцевості:

– при підйомі на дерева треба користуватися кігтями та запобіжними поясами;

– перед підйомом на дерев'яні сигнали слід перевірити їх стійкість і міцність окремих елементів (сходів, люків, поручнів і площадок);

– забороняється підйом на геодезичні знаки з вантажем понад 6 кг;

– при підйомі обидві руки повинні бути вільні;

– не можна знаходитися на деревах, вишках, щоглах і сигналах під час сильного вітру або грози.

У період грози не можна стояти під високими деревами або поблизу стовпів, щогл і громовідводів.

Під час роботи на геодезичному сигналі під ним не повинні знаходитися люди.

Особливу увагу в процесі виконання польових робіт слід приділити техніці безпеки під час роботи з геодезичним устаткуванням. Найбільш небезпечними з точки зору нанесення шкоди людському організму визнані прилади, призначені для вимірювання віддалей за методом електромагнітних хвиль: світло- і радіовіддалеміри, приймачі GPS, електронні тахеометри.

До роботи на будь-якій апаратурі повинні допускатися особи, які пройшли спеціальну підготовку та здали перевірочні випробування на знання техніки безпеки і технології робіт на даній апаратурі.



Для попередження несприятливого впливу електромагнітних полів радіочастот на робітників необхідно дотримуватись заходів захисту та профілактики відповідно до чинних нормативних актів, що визначають санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів високих, ультрависоких і надвисоких частот:

– під час роботи з радіовіддалемірами потужністю випромінювання 100 МВт і більше забороняється: присутність людей в секторі, що має кут  $10^\circ$  і радіус 3 м з центром в основі антени; торкатися конденсаторів налаштування, об'ємного резонатора та інших деталей, що знаходяться під напругою понад 36 В;

– під час випромінювання випромінювальний пристрій (антена) має бути орієнтований так, щоб потік енергії був направлений в зону, вільну від людей.

Під час роботи з лазерними геодезичними приладами потужністю випромінювання від 1 МВт до 3 МВт забороняється:

– у момент генерації випромінювання здійснювати візуальний контроль попадання променя у відбивач без застосування відповідних засобів захисту;

– направляти промінь лазера на очі людини або інші частини тіла;

– наводити лазерний промінь на предмети, які сильно віддзеркалюють: дзеркало, скло, полірований матеріал.

Усі види і процеси камеральних робіт повинні виконуватися в умовах, які виключають можливий вплив на працівників шкідливих виробничих факторів, речовин і матеріалів. Камеральні роботи повинні виконуватися в приміщенні, в якому мають дотримуватися вимоги виробничої санітарії, техніки безпеки та пожежної профілактики.

Дотримання вимог виробничої санітарії відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності праці, зменшенні стомлюваності працюючих осіб, створенні нормального мікроклімату в приміщенні.

Освітленість робочої поверхні повинна бути достатньою для проведення виробничої роботи без напруги зору, а також забезпечувати:

– рівномірність її розподілу;

– відсутність тіней;

– сталість рівня освітленості;

– відсутність відблисків у полі зору роботи.

Робота у відділах камерального виробництва вимагає значної зосередженості та максимального усунення всіх зовнішніх відволікаючих подразників: різних звуків і шумів.

Для їх усунення передбачаються різні методи звукоізоляції, тому що шум не тільки призводить до підвищення стомлюваності, але й знижує працездатність і увагу, а також може бути причиною поступового розвитку глухоти та нервових розладів. Для нормальної роботи в камеральних умовах прийнятий рівень шуму не перевищує 40-60 дБ (децибелів).

Нормальній діяльності підприємства сприяє дотримання правил пожежної безпеки. Для цього підприємство повинно бути забезпечене надійними засобами оповіщення або сигналізації про пожежу, які повинні бути справними, працівники повинні бути ознайомлені з планом евакуації, відводяться спеціальні місця для куріння.

Технологічні процеси при камеральних роботах різноманітні, однак є ряд загальних вимог, здійснення яких сприяє їх безпеці, а саме: забезпечення належної герметизації виробничого устаткування, заземлення його, постійна перевірка справності електрообладнання.

Робота з програмним забезпеченням при складанні карт і планів вимагає основну частину часу проводити за персональним комп'ютером (ПК) або електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ), а тому необхідно знати правила безпечного користування ЕОМ та периферійними пристроями. Запобігти не виробничим травмам, пошкодженню здоров'я – основна мета безпеки роботи за ПК. Зберігати правильне положення при роботі за ПК допомагає раціонально підібраний робочий стілець або крісло, яке можна легко пристосувати під фігуру людини. Спинка стільця повинна підтримувати нижню половину спини, але при цьому не бути жорстко закріпленою, щоб не перешкоджати рухам у процесі роботи. Коли пальці лягають на клавіатуру, плечі повинні бути розслаблені, а руки зігнені приблизно під кутом 90°, це забезпечує нормальну циркуляцію крові. По можливості потрібно розташувати монітор і робочі документи так, щоб не доводилося постійно повертати головою із сторони в сторону. Щоб уникнути серйозних проблем з хребтом, рекомендується проводити за ПК не більше шести годин на день, причому через кожні дві години робити гімнастику протягом тридцяти хвилин. Особливу увагу при роботі з ПК необхідно звернути на монітор. Сучасний монітор має відповідати таким міжнародним стандартам безпеки: за рівнем електромагнітних випромінювань – ТСО 95; за параметрами якості зображення (яскравість, контрастність, мерехтіння, антивідблискові властивості тощо) – ТСО 99.

Чітка організація праці колективу, висока дисципліна, сумлінне та поважне виконання кожним працівником всіх правил і своїх службових обов'язків допомагають уникнути нещасних випадків на виробництві.

### ***10.1.1 Основні вимоги техніки безпеки під час виконання польових геодезичних робіт на суші***

Нижче наведені основні вимоги безпеки при виконанні геодезичних робіт на суші (у тому числі, поблизу водних об'єктів):

- перед початком робіт керівник повинен ретельно оглянути геодезичні прилади та інструменти;
- рейки і штативи повинні мати справні гвинти кріплення;
- переносити вішки, штативи або інші прилади, що мають гострі кінці, дозволяється тільки тримаючи їх гострими кінцями вперед;
- при ходьбі по вулицях забороняється носити рейки на плечах, їх треба переносити в руках у вертикальному положенні і неодмінно складеними, з закріпленими гвинтами;
- не дозволяється залишати без нагляду геодезичні прилади на штативах або у зібраному виді в межах дорожнього полотна;
- геодезичні прилади, встановлені на штативах, необхідно міцно закріплювати, вдавлюючи гострі кінці ніжок у землю;
- не дозволяється складати рейки, вішки і штативи у козли, притуляти до дерев, стінок та до інших предметів;
- забороняється кидати шпильки мірних приладів, рейки та вішки, їх треба передавати з рук у руки;
- при роботі біля доріг треба виконувати правила дорожнього руху;
- забороняється піднімати рейки, віхи та інші предмети до проводів ліній електропередачі і тому подібних предметів ближче ніж на 2 м;
- забороняється працювати на крутих схилах;
- при зйомках поблизу будівель необхідно заздалегідь впевнитися в тому, що в будинку закриті всі вікна та фіранки, при сильному та поривчастому вітрі забороняється працювати поблизу будинків;
- необхідно дотримуватися заходів захисту від електротравматизму, не підходити до обірваних електричних проводів, про обрив електричних проводів необхідно сповістити керівника та відповідні служби, а поблизу обриву виставити охорону до моменту прибуття відповідних служб;
- при наближенні грози роботи слід припинити і негайно перейти до закритого приміщення;
- під час грози не дозволяється стояти під деревами та притулятися до стовбурів, знаходитись біля громовідводів, високих предметів, стовпів, каменів, дерев, що стоять окремо, контактної мережі високовольтних ліній і на підвищеннях;
- під час роботи категорично забороняється палити.

### ***10.1.2 Вимоги безпеки при виконанні геодезичних робіт в акваторіях водних об'єктів***

Перед початком виконання геодезичних робіт в акваторіях водних об'єктів (водойм і водотоків) потрібно пройти відповідний інструктаж з правил техніки безпеки та охорони праці, а також пройти навчання та скласти залік з плавання і греблі. Крім того, перед початком окремих видів робіт треба пройти повторний інструктаж на робочому місці відповідно до даного виду роботи.

Для виконання польових видів робіт потрібно мати відповідні для цього одяг і взуття, які повинні бути легкими та зручними.

Заборонено працювати без відповідного взуття та головного убору, засобів індивідуального захисту й аптечки.

Нижче наведені основні вимоги безпеки при виконанні геодезичних робіт в акваторіях водних об'єктів:

- при користуванні маломірними човнами (під час промірів глибин і в інших випадках) не допускається їхнє перевантаження;

- вантажопідйомність човна визначається шляхом завантаження його з таким розрахунком, щоб сухий борт човна в будь-якому місці піднімався в тиху погоду не менш ніж на 20 см над поверхнею води;

- суворо забороняється стояти в моторному човні при початку його руху з місця;

- стояти в човні, сидіти на бортах під час його руху забороняється;

- перший, хто виходить із човна на берег, зобов'язаний надійно пришвартувати його і тільки після цього можна виходити із човна іншим;

- забороняється плавання та проведення робіт на човнах при швидкості вітру більш ніж 5 м/с та/або хвилюванні більше 3 балів;

- при виникненні під час виконання робіт значного вітру і хвилювання, роботу із гребних та моторних човнів варто припинити і рухатися до берега;

- у випадку, якщо човен одержав пробоїну, роботи повинні бути негайно припинені, а човен спрямований до найближчого берега;

- при проведенні вимірювань та робіт на річках і каналах треба суворо виконувати наступні правила встановлення маломірного судна на якір і зйомки з нього:

- а) не можна ставати на якір у границях суднового ходу, на перекатах, біля берегів із притискним і нерівним рухом води;*

- б) при підході до місця стоянки потрібно розгорнути човен носом проти течії річки (якщо воно рухається за течією), зменшити хід і приготувати якір до віддачі;*

в) якірний канат має бути заздалегідь покладений рівними шлагами, щоб при віддачі якоря він не заплутався і не зачепив надбудову й інші частини судна та пасажирів, нижній кінець каната повинен бути надійно прикріплений до корпусу човна (носовий – до носа, кормовий – до корми);

г) коли рух човна припиниться, якір беруть у руки і скидають у воду трохи вперед, при віддачі якоря не повинно бути поруч сторонніх осіб, при цьому потрібно стежити, щоб якірний канат або якір не зачепив одяг, ногу або руку людини, що віддає його, та інших пасажирів;

д) для полегшення підйому якоря треба дати малий хід уперед, піднімаючи якір, не можна сильно нахилитися або звішуватися з борту;

е) хід човна можна збільшувати після остаточного підйому якоря;

– при роботах зі сталевим тросом забороняється робота без рукавиць;

– при організації дієвої допомоги з берега не варто квапитися плисти до берега, а, підтримуючись на плаву, зберігати сили;

– на човен, що підійшов, підніматися з носа або корми, а не з борту, щоб уникнути перекидання човна;

– не відпливати від човна, який перекинувся, але зберігає плавучість, а триматися за нього, підпливаючи разом з ним до берега;

– якщо човен, що перекинувся, не зберігає плавучість або якщо нижче за течією є небезпечні місця (пороги, водоспади і т. п.), варто негайно плисти до берега;

– при роботах з невеликих човнів забороняється пересаджувати людей з одного човна в інший, пересуватися по човну і робити різкі рухи;

– розміщати людей і устаткування в човнах треба на початку роботи, коли човен ще біля берега;

– не дозволяється ставати на борт човна, всі роботи із човна повинні виконуватися сидячи;

– забороняється плавання і робота далеко від берегів на великих озерах і водоймах без охорони човнів моторними суднами;

– всі виконавці вимірювань та робіт на човні та його команда, мають бути забезпечені індивідуальними рятувальними засобами: рятувальними кругами, рятувальними жилетами та поясами промислового виготовлення;

– зазначені рятувальні засоби повинні бути міцними, справними та готовими до негайного використання і відповідати вимогам нормативів;

– при виконанні промірів глибин наміткою, штангою або лотом з маломірних човнів повинні виконуватися наступні запобіжні заходи:

а) штангою можна робити проміри при глибинах не більше ніж 3 м;

*б) при глибинах від 3 м до 4 м проміри дозволяється виконувати наміткою 5-6 м, вона повинна бути без тріщин і нерівностей, які можуть ушкодити руки, маса її не повинна перевищувати 10-12 кг;*

*в) промірник повинен перебувати в носовій частині човна, намітку варто закидати з верхнього (за течією) борта човна, якщо вона зачепилася за перешкоду на дні річки, її варто негайно відпустити;*

*г) при промірах лотлінем забороняється ставати на борти човна і перегинатися через борт, намотувати на руку вільний кінець лотліня;*

*д) при виконанні промірів глибин наміткою, штангою або лотом на човні повинно бути не менше двох працівників;*

– при роботі з ехолотом слід суворо дотримуватися інструкції з експлуатації приладу та наступні вимоги:

*а) забортні пристрої обов'язково закріплюються за борт або корму човна (інколи вмонтовуються у дно човна), тримати забортні пристрої у руках забороняється;*

*б) регулювання положення випромінювача ехолота при включеному електроживленні забороняється;*

*в) випромінювач-приймач будь-якого ехолота має бути закріплений у горизонтальному положенні, не порушуючи безпеку і зручність роботи оператора ехолота та інших працівників і членів команди човна;*

*г) при використанні кислотних акумуляторів (джерел живлення) ехолота треба суворо дотримуватися інструкції з їх експлуатації;*

– при натягуванні каната (троса) на судноплавних і сплавних річках повинна бути передбачена можливість його швидкого спуску (підйому) для пропуску різних плавзасобів (катерів, човнів, інших суден або плотів);

– канат, натягнутий на високих опорах через судноплавну річку, повинен бути позначений сигналами: удень – декількома прапорами, а уночі – декількома прикріпленими до нього білими ліхтарями;

– при роботі з канатом (тросом), натягнутим невисоко над водою, потрібно організувати безперервне спостереження за всіма плавзасобами, що підходять до нього, і забезпечити своєчасне опускання або підйом каната (троса) для безперешкодного пропуску плавзасобів;

– якщо поблизу вище або нижче створу є поворот і швидкості течії великі, необхідно організувати сигналізацію про наближення плавзасобів;

– забороняється пересуватися по канату (тросу), стоячи в човні, та триматися за нього руками;

– забороняється робота з канатом (тросом) без рукавиць;

– забороняється підхід на човні до каната, натягнутого через річку, з верхньої за течією сторони;

– забороняється пересуватися по канату (тросу) в човні, який закріплено за нього в носовій частині, при відсутності на кормі кермового;

– при використанні маломірних човнів на причалі, з якого виходить човен, повинен вестися журнал реєстрації виходів плавзасобів на водні об'єкти, де фіксуються час виходу, час повернення, кількість працівників, район робіт, прізвище особи, яка відповідає за проведення робіт і прізвище особи, яка дозволила вихід човна (журнал має зберігатися на березі).

Після закінчення роботи, але перед поверненням на причал, з якого виходив човен, треба перерахувати кількість осіб у плавзасобі, їх кількість повинна бути така, як і перед початком роботи (виходом з причалу).

У разі виникнення нещасного випадку треба негайно повідомити керівництво і викликати швидку медичну допомогу за телефоном «103».

Надавати потерпілому першу медичну допомогу треба до моменту прибуття медичних працівників.

Не допускати у небезпечну зону сторонніх осіб.

### ***10.1.3 Умови забезпечення безпеки проведення польових геодезичних робіт на забруднених вибухонебезпечними предметами територіях***

На сьогодні значна територія України забруднена вибухонебезпечними предметами, що створює небезпеку для життя громадян та провадження господарчої діяльності населення. Тому, на території окремих областей нашої країни, де були активні бойові дії, однією з найгостріших проблем щодо безпеки працівників при виконанні польових геодезичних робіт може бути наявність вибухонебезпечних предметів (мін, нерозірваних снарядів або інших боєприпасів тощо).

Навіть якщо місцевість на вигляд не має небезпечних предметів, це ще не означає, що міни різних типів не будуть закопані у землю, тож їх неможливо виявити без спеціальних приладів або відповідної техніки. У даному випадку для збереження безпеки працівників слід звертатися до Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), щоб отримати інформацію про заміновані/розміновані території або надати запит щодо знешкодження наявних вибухонебезпечних предметів.

Лише після повного розмінування території відповідними фахівцями ДСНС України можна розпочинати виконання польових геодезичних робіт!

## 10.2 Охорона довкілля при виконанні польових геодезичних робіт

При виконанні польових геодезичних робіт слід приділяти велику увагу питанням охорони довкілля. Крім цього, необхідно прагнути до максимального збереження лісових і орних земель, пасовищ та інших сільськогосподарських угідь.

Прокладання опорних ходів потрібно виконувати за можливістю уздовж доріг і стежок, розташовуючи центри та репери в місцях відсутності лісонасаджень і сільськогосподарських культур.

Під час пересування транспорту, що використовується для перевезення приладів і працівників, необхідно звести до мінімуму пошкодження цінних угідь і проведення лісових вирубок; з цією метою слід прагнути до більш широкого використання аерогеодезичних методів вимірювань.

При розвитку знімальної геодезичної основи потрібно за можливістю використовувати природні контури і місцеві об'єкти для розміщення опорних точок, щоб виключити нанесення шкоди довкіллю.

При виконанні робіт у населених пунктах забороняється проводити вимірювання на газонах, у городах та інших місцях штучних насаджень, рубати дерева і чагарники, ламати гілки. Під час геодезичних робіт в парках і скверах заборонено пошкоджувати багаторічні та однорічні насадження.

Не можна засмічувати територію суші та акваторію водойм і водотоків побутовими відходами, викидати папір, пакувальні матеріали, банки, пляшки тощо. Вони повинні бути складені в ящики та контейнери для збору сміття.

У процесі виконання робіт необхідно вживати всіх заходів, що виключають забруднення водних джерел і навколишнього природного середовища, зберігати і охороняти ліси, торфовища і сільськогосподарські посіви від пожеж.

Правилами пожежної безпеки забороняється розводити багаття біля газопроводів, нафтопродуктів та інших легкозаймистих речовин, поблизу дерев, чагарників і стиглих і сухих посівів зернових культур, у місцях з сухою травою, на торфовищах.

Вогнища слід обкопувати канавою, а під час гасіння їх треба ретельно засипати піском, землею або заливати водою.

Не можна кидати на землю палаючі сірники та тліючі недопалки, особливо в сухому лісі або на лузі з висохлою травою.

Працівники польових геодезичних партій в разі виявлення пожежі поблизу місць їх роботи повинні негайно вжити всіх необхідних заходів щодо якнайшвидшої її ліквідації.



*Питання для самоперевірки до теми № 10*

1. Який документ регулює правила з техніки безпеки при виконанні топографо-геодезичних робіт?
2. Як треба поводитися з геодезичними приладами при виконанні польових топографо-геодезичних робіт?
3. Які правила з техніки безпеки та охорони праці при виконанні топографо-геодезичних робіт у населених пунктах?
4. Особливості техніки безпеки та охорони праці в камеральних умовах?
5. Які дії треба проводити для охорони навколишнього середовища при виконанні польових топографо-геодезичних робіт?

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Колодеев Є. І., Гриб О. М. Лабораторний практикум з геодезії: навч. пос. / Одеса: Екологія, 2007. 68 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/347/> (дата звернення: 17.05.2022).
2. Гриб О. М. Топографо-геодезичні дослідження водних екосистем. Навчальна практика: навч. пос. / Одеса: Од. держ. еколог. ун-т, 2021, 76 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9050/> (дата звернення: 17.05.2022).
3. Стукальський В. П., Шаргар О. М. Геодезія : навч. пос. Одеса : ВМВ, 2013. 560 с.
4. Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. Інженерна геодезія: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2012. 337 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2185/1/724031%20zah.pdf> (дата звернення: 17.05.2022).
5. Шаргар О. М., Колиханін С. П. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної та лабораторних робіт з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів освітнього рівня «Бакалавр» галузь знань – 19 «Архітектура та будівництво» спеціальність – 193 «Геодезія та землеустрій». Одеса: ОДАБА, 2021. 28 с.
6. Гриб О. М. Геодезія та картографія: конспект лекцій / Одеса: Од. держ. еколог. ун-т, 2017. 102 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/310/> (дата звернення: 17.05.2022).
7. Шаргар О. М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Геодезія» для студентів 2-го курсу напрямку 19 – «Геодезія та землеустрій», освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». Одеса: ОДАБА, 2019. 32 с.
8. Колодеев Є. І., Гриб О. М., Яров Я. С. Гідрометрія та гідрохімія. Збірник методичних вказівок до виконання практичних робіт / Одеса: Од. держ. еколог. ун-т, 2009. 180 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/638/> (дата звернення: 17.05.2022).
9. Колодеев Є. І., Гриб О. М. Методи гідрометеорологічних вимірювань (гідрологічні вимірювання). Навчальна польова практика: навч. пос. / Одеса: ТЕС, 2009. 75 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/636/> (дата звернення: 17.05.2022).
10. Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text> (дата звернення: 17.05.2022).

- 11.** Земельний кодекс України від 25.10.1995 р. № 2768-III. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 17.05.2022).
- 12.** Бєлов В. В. Морська геодезія: конспект лекцій. Одеса : Екологія, 2011. 64 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/3502/> (дата звернення: 17.05.2022).
- 13.** Панчук Ю. М., Янчук О. Є. Лабораторний практикум з інженерної геодезії : навч. пос. Рівне : НУВГП, 2010. 134 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1850/> (дата звернення: 17.05.2022).
- 14.** Ільків Є. Ю. Геодезія : лабораторний практикум. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. 152 с. URL: <http://194.44.112.13/chytalna/6034/> (дата звернення: 17.05.2022).
- 15.** Білокриницький С. М. Геодезія : навч. пос. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2011. 576 с. URL: <https://studfile.net/preview/6829789/> (дата звернення: 17.05.2022).
- 16.** Дмитрів О. П. Геодезія. Частина I : навч. пос. Рівне : НУВГП, 2019. 166 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/16813/> (дата звернення: 17.05.2022).
- 17.** Геодезія : навч. пос. / Горлачук В. В., Семенчук І. М., Анисенко О. В., Мацко П. В. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 252 с.
- 18.** Дарчук К. В., Мельник А. А. Топографія з основами геодезії : навч. пос. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2016. 148 с.
- 19.** Войтенко С. П. Інженерна геодезія : підручник. 2-ге вид., виправ. і доп. Київ : Знання, 2012. 574 с.
- 20.** Стукальський В. П., Шаргар О. М. Основи інженерної геодезії. Навчальний посібник. Одеса: ВМВ, 2015. 230 с.
- 21.** Інструкція про порядок і процедуру виконання промірних робіт при визначенні глибин на морських і річкових акваторіях для будівельно-експлуатаційних цілей (№ 186 від 10.05.2005 р.) / К.: Міністерство транспорту та зв'язку України, 2005. 193 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### ***А***

Акумуляторна батарея електронного тахеометра – 20

### ***Б***

Башмак (костиль) – 39

### ***В***

Винос в натуру геодезичного об'єкта – 96

Вирівнювальні обчислення: одиночного нівелірного ходу – 139  
системи (мережі) нівелірних ходів – 142

Висок (центрир) – 192

Водоохоронна зона – 171

Водосховище – 172

### ***Г***

Геодезія інженерна (прикладна) – 11

Горизонт: монтажний – 91

умовний – 113

### ***Д***

Дно котловану – 91

Домір (довжина залишку) – 52

### ***Е***

Екліметр – 56

Ексцентриситет аліадади – 21

### ***Ж***

Журнал-схема нівелювання за квадратами – 71

### ***З***

Заплава (заплавні землі) – 173

### ***К***

Компарування мірних приладів – 14

Костиль (башмак) – 39

Креслення розмічувальне – 105

### ***Л***

Лінійка контрольна (Женевська) – 42

Лінія проектна похила – 94

### ***М***

Магістраль – 160

Місце нуля – 24

## ***Н***

Напрямок траси після її повороту – 117

Нівелір цифровий – 185

Нуль: графіка поста – 119

спостережень – 119

## ***О***

Огляд приладу – 13

## ***П***

Перевірка приладу – 13

Приводка (вodomірних паль, рейок) – 119

Прибережна захисна смуга – 170

Провішування лінії – 49

Проектування площини: горизонтальної – 77

похилої – 82

Проміри глибин – 159

## ***Р***

Рулетка лазерна – 184

## ***С***

Сітка профілю – 113

Ставок – 172

## ***Т***

Тахеометр електронний – 189

Треггер – 193

## ***У***

Уріз води – 172

## ***Ф***

Формули Юнга для визначення недоступної віддалі – 67

## ***Х***

Хід нівелірний III та IV класу – 125

## ***Ц***

Центрир (висок) – 192

## ***Ш***

Ширина річки – 164

## ***Ю***

Юстування приладу – 17, 25, 34

Навчальне електронне видання

ГРИБ Олег Миколайович, ГРАЩЕНКОВА Тетяна Валеріївна

ГЕОДЕЗІЯ  
(частина 1)

Конспект лекцій

**Видавець і виготовлювач**

Одеський державний екологічний університет

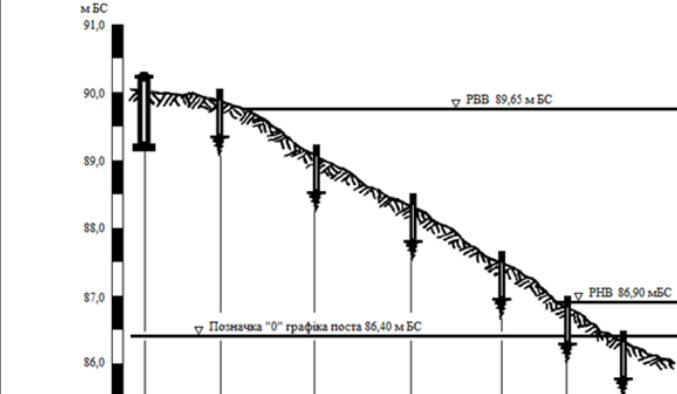
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

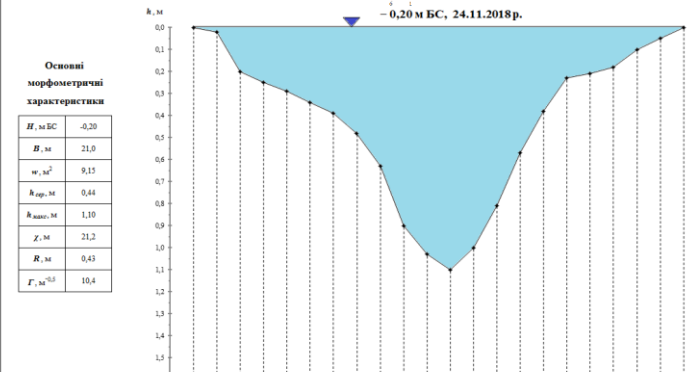
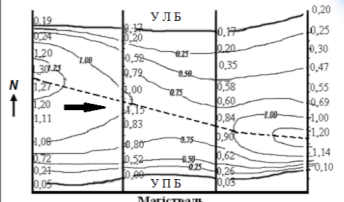
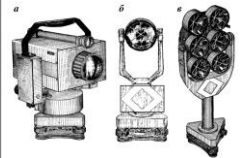
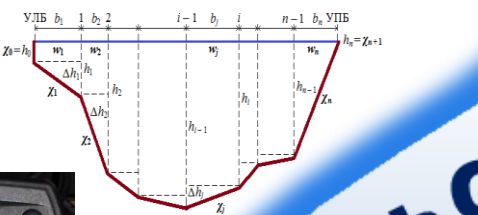
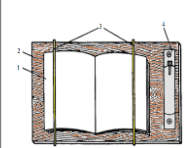
Е-mail: [info@odeku.edu.ua](mailto:info@odeku.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

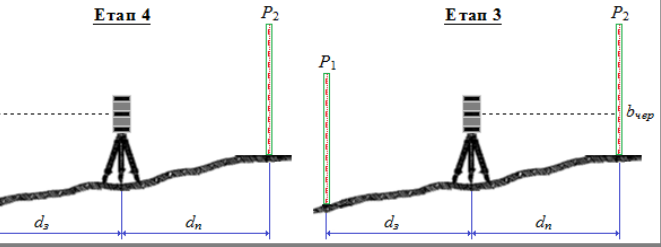
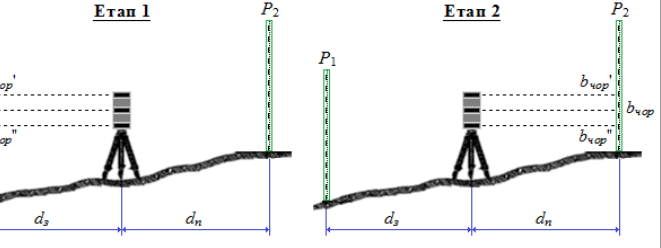
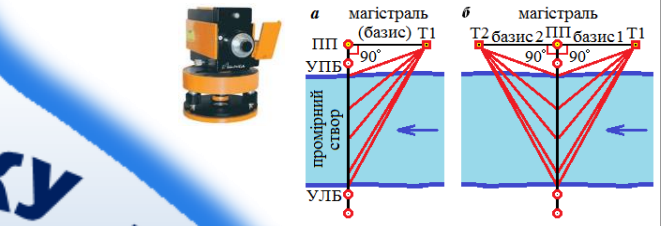
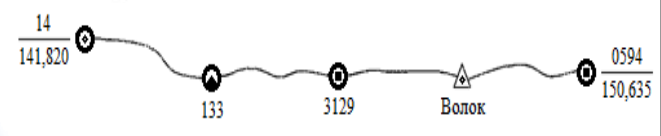
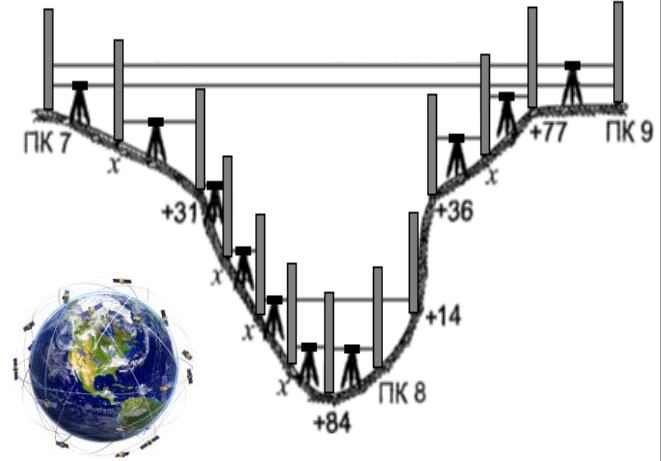
ДК № 5242 від 08.11.2016



Номера репера та палів	Рп1	Пп1	Пп2	Пп3	Пп4	Пп5	Пп6
Відстань від ПП, м	0,00	4,86	10,80	17,10	22,40	26,70	30,30
Позначка, м БС	90,346	89,83	89,18	88,40	87,60	86,95	86,50
Пригодка, см		343	278	200	120	55	10



Позначка ґрунту та вертикалей	УЛБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	УПБ	
Відстань від постійного початку, м	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	
Гамбіт, м	0,00	0,02	0,20	0,25	0,29	0,34	0,39	0,48	0,63	0,90	1,08	1,10	1,00	0,81	0,57	0,38	0,23	0,21	0,18	0,10	0,05	0,00	
Позначка дна, м БС	-0,20	-0,22	-0,40	-0,45	-0,49	-0,54	-0,59	-0,68	-0,83	-1,10	-1,23	-1,30	-1,20	-1,01	-0,77	-0,58	-0,43	-0,41	-0,38	-0,30	-0,25	-0,20	
ґрунт, дані																							



**ВОДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОДЕКУ**  
**кафедра гідроекології та водних**

Основні морфометричні характеристики	
H, м БС	-0,20
B, м	21,0
W, м <sup>2</sup>	9,15
K <sub>ср</sub> , м	0,44
K <sub>макс</sub> , м	1,10
χ, м	21,2
R, м	0,43
Γ, м <sup>0,5</sup>	10,4