1. Порядок виконання нівелювання земної поверхні по квадратах

При розв'язуванні багатьох виробничих задач в гірництві та екології необхідно заздалегідь мати точне уявлення про рельєф земної поверхні. Нівелювання земної поверхні можна виконувати наступними способами: *паралельних ліній*, *квадратів*, *полігонів* і *полярним*. Вибір того чи іншого способу залежить від характеру поставленої задачі і особливостей місцевості де буде проводитися нівелювання.

В даних методичних вказівках розглядається спосіб *нівелювання земної поверхні по квадратах*. Цей спосіб нівелювання використовується при спокійному рельєфі за умов відсутності таких перешкод як ліс, кущі, огорожі, будівлі, інженерні споруди і т. п.

Суть цього способу полягає в наступному. На місцевості за допомогою екера, віх та мірної стрічки розбивають сітку квадратів зі сторонами 10×10; 20×20; 30×30; 40×40; 50×50 і більше метрів. Розмір сторін квадратів залежить від того на скільки детально необхідно показати рельєф ділянки місцевості. Чим менша сторона квадрату тим більш детально буде показано рельєф. Вершини квадратів на місцевості закріплюються дерев'яними кілочками, які забиваються врівень з земною поверхнею. Поруч з таким кілочком забивають ще один, який виступає над рівнем земної поверхні на 15-20 *см*, і називається *сторожком*.

Крім вершин квадратів закріплюють характерні точки рельєфу і точки перегинів схилів, які знаходяться всередині квадратів або на їх сторонах. Ці точки називаються *плюсовими*. Положення таких точок визначається відстанями до найближчих сторін або вершин квадратів.

Окремі вершини квадратів беруть як *зв'язуючі* точки, які утворюють замкнутий нівелірний хід (*рис. 1*). На одну із зв'язуючих точок заздалегідь передають абсолютну відмітку висоти. Між зв'язуючими точками вибирають місце для станції нівеліра так, щоб відстань від нівеліра до задньої і передньої зв'язуючих точок була приблизно однаковою.

Нівелювання виконують у наступній послідовності.

Нівелір встановлюють у горизонтальне положення на першій станції. Беруть відліки по рейці, яка встановлена на задній зв'язуючій точці з чорної $a_1^{чор.}$ та червоної $a_1^{чер.}$ сторін. Встановлюють рейку на передню зв'язуючу точку і знімають відліки з чорної $b_2^{чор.}$ та червоної $b_2^{чер.}$ сторін рейки. Результати вимірювань заносять до журналу нівелювання земної поверхні по квадратах (*рис. 1*). Обчислюють перевищення за формулою

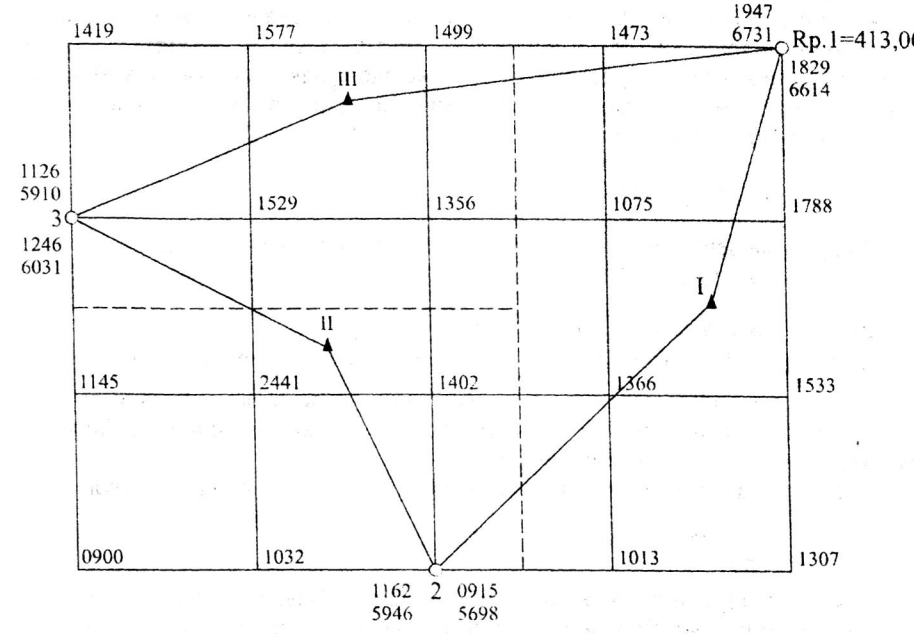
$$h_1^{чор.} = a_1^{чор.} - b_2^{чор.}$$
$$h_1^{чер.} = a_1^{чер.} - b_2^{чер.}$$

Якщо $h_1^{чор.} - h_1^{чер.} \le 5 мм$, тоді обчислюють середнє перевищення за формулою

$$h_1 = \left(h_1^{чор.} + h_1^{чер.}\right)/2 .$$

Якщо $h_1^{чор.} - h_1^{чер.} > 5 мм$, тоді нівелювання повторюють спочатку.

Журнал нівелювання земної поверхні по квадратах
М 1:500



Умовні позначення:

Rp.1=413,00 - вихідний репер;

▲II - станція нівелювання;

○3 - зв'язуюча точка;

– – – - межа нівелювання на окремій станції;

1162 / 5946 - відліки по рейці на зв'язуючій точці;

1145 - відліки по рейці на вершинах квадратів.

Рис. 1 Зразок журналу нівелювання земної поверхні по квадратах

Далі виконують нівелювання на усіх останніх точках, для цього по черзі встановлюють рейку в вершині квадрату або плюсовій точці на кілочок забитий врівень з землею і беруть відліки тільки з чорної сторони. Дані нівелювання заносять до журналу нівелювання земної поверхні по квадратах (*рис. 1*). Крім того в журналі нівелювання штриховою лінією показують межі нівелювання на першій та наступних станціях.

Аналогічно проводять нівелювання на усіх станціях і визначають перевищення між зв'язуючими точками.

Порядок опрацювання журналу нівелювання земної поверхні по квадратах проводять у наступному порядку.

Спочатку визначають нев'язку в замкненому нівелірному ході між зв'язуючими точками. Алгебраїчна сума середніх значень перевищень між зв'язуючими точками, які утворили замкнутий нівелірний хід, теоретично повинна дорівнювати нулеві. Проте, внаслідок накопичення похибок, при вимірюваннях ми отримаємо практичну розбіжність яка є *нев'язкою* і розраховується за формулою

$$f_h = \sum_{i=1}^{n} h_i = h_I + h_{II} + h_{III} \text{ , мм.}$$

Допустима нев'язка в нівелірному ході визначається за формулою

$$f_{h_{доп}} = \pm 10\sqrt{n} \text{ , мм,}$$

де n – кількість станцій нівелювання.

Якщо $f_h \le f_{h_{доп}}$ тоді її вводять у перевищення з протилежним знаком, розділивши порівну між усіма станціями і заокруглюють всі поправки до 1 *мм*. При цьому слід пам'ятати, що сума всіх поправок повинна дорівнювати отриманій нев'язці з оберненим знаком.

Алгебраїчна сума виправлених перевищень повинна дорівнювати нулеві.

$$\sum_{i=1}^{n} h^{випр.} = 0 .$$

Висоти зв'язуючих точок обчислюють від зв'язуючої точки з відомою абсолютною висотою. Висота другої і наступної зв'язуючих точок розраховується за формулою

$$H_i = H_{i-1} \pm h^{випр.} .$$

Контролем правильності обчислення висот зв'язуючих точок є рівність обчисленого значення висоти початкової зв'язуючої точки і її вихідного значення.

Висоти всіх інших вершин квадратів на кожній станції визначаються через *горизонт інструменту*. Горизонт інструменту визначають по висотах двох зв'язуючих точок, задньої та передньої, за формулою

$$ГІ = H_1 + a^{чор.} = H_2 + b^{чор.} .$$

де, H_1 – абсолютна висота задньої зв'язуючої точки;

H_2 – абсолютна висота передньої зв'язуючої точки;

$a^{чор.}, b^{чор.}$ – відліки з чорної сторони рейок відповідно на задній та передній зв'язуючих точках.

Розбіжність між двома значеннями горизонту інструменту не повинна перевищувати ± 10 *мм*. Якщо це так, тоді визначають середнє арифметичне значення горизонту інструменту для кожної станції. Дані про обчислений горизонт інструменту заносимо до журналу нівелювання по квадратах.

Висоти проміжних вершин квадратів на кожній станції обчислюють за формулою

$$H_i = ГІ - c ,$$

де, H_i – висота проміжної вершини квадрату;

c – відлік по чорній стороні рейки на проміжній вершині квадрату.

Обчислені висоти вершин квадратів заносять до журналу нівелювання по квадратах біля відповідних вершин квадратів (*рис. 2*).

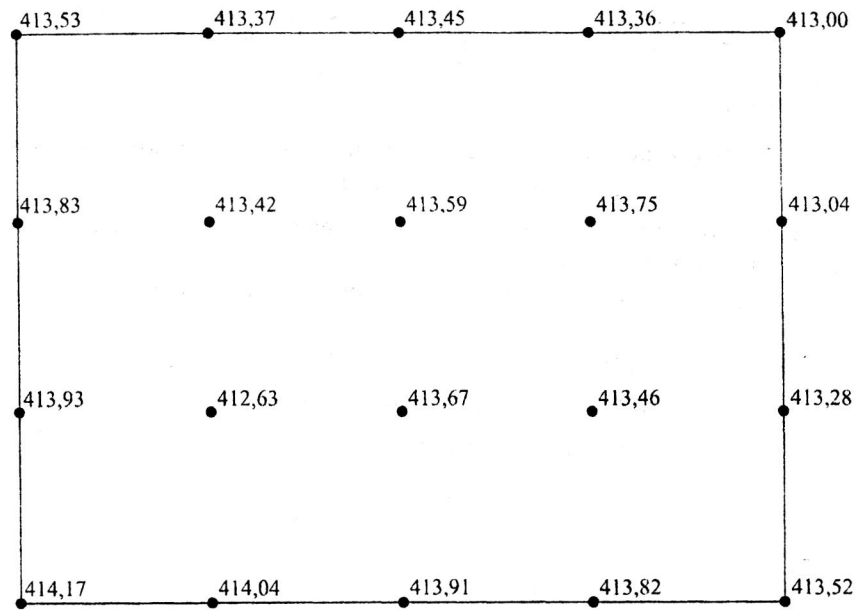


Рис. 2 Приклад обчисленого журналу нівелювання земної поверхні по квадратах

Після обчислення абсолютних висот усіх точок приступають до побудови рельєфу ділянки в горизонталях. Для цього окремо зображають в масштабі сітку квадратів і біля кожної вершини квадрату виписують її абсолютну висоту.

Горизонталі будують по точках які знаходяться на сторонах і діагоналях квадратів. Побудову горизонталей можна виконувати двома способами: *аналітичним* і *графічним*.

При *аналітичному* способі положення точок горизонталей, на стороні чи діагоналі квадрату, вираховують шляхом інтерполювання для знаходження відрізків, що пропорційні різниці висот точок вершин квадрату.

При *графічному* способі положення точок горизонталей, на стороні чи діагоналі квадрату, визначають за допомогою палетки з паралельними лініями, які проведені на прозорому папері через рівні довільні проміжки, і вимірника.

На практиці частіше користуються графічним способом.

Після знаходження положення точок горизонталей на всіх сторонах квадратів і діагоналях точки з однаковими висотами з'єднують плавними лініями, які називаються *горизонталями* (*див. рис. 4*).

На плані сітку квадратів не викреслюють, а їх вершини позначають кружечками, діаметром 1 *мм*, біля яких записують їх висоти заокруглені до сотих метра.

Горизонталі та їх відмітки викреслюють коричневою тушшю. Відмітки горизонталей слід писати таким чином, щоб основа числа показувала на пониження рельєфу. На горизонталі можна наносити *бергштрихи* – рисочки, які проведені перпендикулярно ізолінії і вказують вільним кінцем напрям пониження рельєфу.

2. Приклад камеральної обробки результатів нівелювання земної поверхні по квадратах

За результатами польових робіт був складений журнал нівелювання земної поверхні по квадратах, *рис. 3*.

Визначаємо перевищення між зв'язуючими точками на кожній станції.

Станція I

$$h_I^{чор.} = a_1^{чор.} - b_2^{чор.} = 1829 - 0915 = +914мм,$$

$$h_I^{чер.} = a_1^{чер.} - b_2^{чер.} = 6614 - 5698 = +916мм.$$

$$\Delta h_I = h_I^{чор.} - h_I^{чер.} = 914 - 916 = -2мм < \pm 4мм.$$

$$h_I^{ср.} = \frac{h_I^{чор.} + h_I^{чер.}}{2} = \frac{914 + 916}{2} = +915мм.$$

Станція II.

$$h_{II}^{чор.} = a_2^{чор.} - b_3^{чор.} = 1162 - 1246 = -84мм,$$

$$h_{II}^{чер.} = a_2^{чер.} - b_3^{чер.} = 5946 - 6031 = -85мм.$$

$$\Delta h_{II} = h_{II}^{чор.} - h_{II}^{чер.} = -84 - (-85) = 1мм < \pm 4мм.$$

$$h_{II}^{ср.} = \frac{h_{II}^{чор.} + h_{II}^{чер.}}{2} = \frac{-84 + (-85)}{2} = -84{,}5мм.$$

Станція III.

$$h_{III}^{чор.} = a_3^{чор.} - b_1^{чор.} = 1126 - 1947 = -821мм,$$

$$h_{III}^{чер.} = a_3^{чер.} - b_1^{чер.} = 5910 - 6731 = -821мм.$$

$$\Delta h_{III} = h_{III}^{чор.} - h_{III}^{чер.} = -821 - (-821) = 0мм.$$

$$h_{III}^{ср.} = \frac{h_{III}^{чор.} + h_{III}^{чер.}}{2} = \frac{-821 + (-821)}{2} = -821мм.$$

Визначаємо нев'язку в нівелірному ході між зв'язуючими точками.

$$f_h = \sum_{i=1}^{n} h_i = h_I + h_{II} + h_{III} = 915 + (-84{,}5) + (-821) = 9{,}5мм.$$

Журнал нівелювання земної поверхні по квадратах

М 1:500

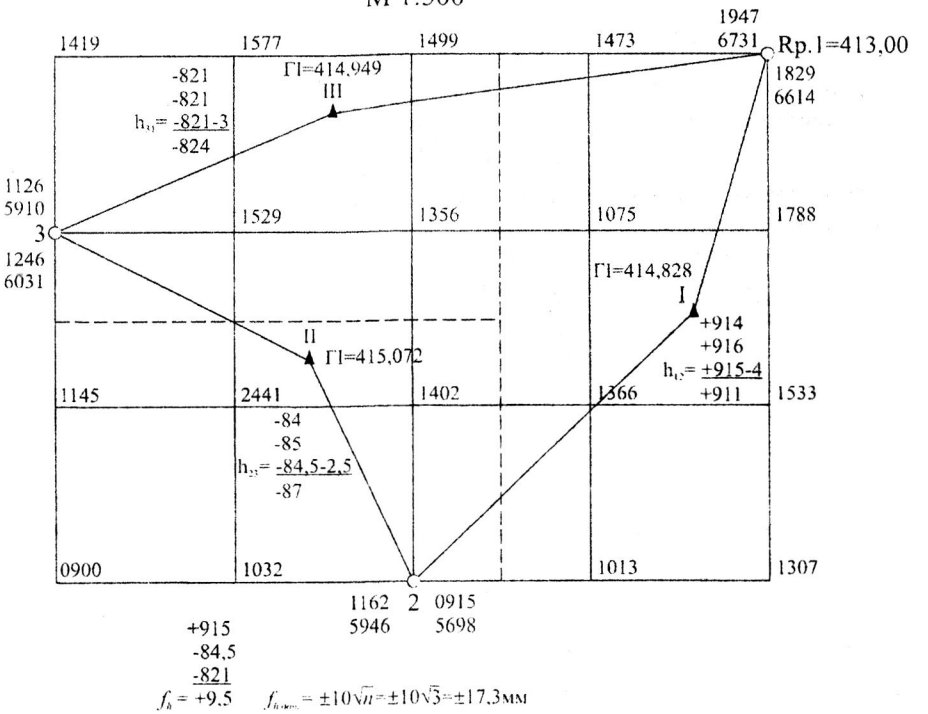


Рис. 3 Приклад обчислення журналу нівелювання земної поверхні по квадратах

Визначаємо допустиму нев'язку в нівелірному ході за формулою

$$f_{h_{доп.}} = \pm 10\sqrt{n} = \pm 10\sqrt{3} = \pm 17{,}3мм,$$

де n – кількість станцій нівелювання.

Оскільки отримана нев'язка є допустимою вводимо її у перевищення з протилежним знаком, розділивши порівну між усіма станціями і заокруглюючи всі поправки до 1 *мм*.

$$h_I^{випр.} = h_I - 3мм = 915 - 4 = 911мм.$$

$$h_{II}^{випр.} = h_{II} - 2{,}5мм = -84{,}5 - 2{,}5 = -87мм.$$

$$h_{III}^{випр.} = h_{III} - 3мм = -821 - 3 = -824мм.$$

Обчислюємо суму виправлених перевищень.

$$\sum_{i=1}^{n} h^{випр} = 911 - 824 - 87 = 0 \text{ (нев'язка розподілена вірно).}$$

Обчислюємо висоти зв'язуючих точок.

Примітка: перевищення вимірюється в мм., а відмітки обчислюються в м.

Висота першої зв'язуючої точки, в нашому випадку, складає $Rp.1 = 413{,}00 м$.

$$H_2 = H_1 + h_I^{вимір} = 413{,}000 + 0{,}911 = 413{,}911 м,$$

$$H_3 = H_2 + h_{II}^{вимір} = 413{,}911 - 0{,}087 = 413{,}824 м.$$

Контроль обчислення висот зв'язуючих точок.

$$H_1 = H_3 + h_{III}^{вимір} = 412{,}176 + 0{,}824 = 413{,}00 м.$$

Обчислюємо горизонти інструмента на станціях.

Станція I.

$$ГІ_I = H_1 + a = 413{,}0 + 1{,}829 = 414{,}829 м,$$

$$ГІ_I = H_2 + b = 413{,}911 + 0{,}915 = 414{,}826 м,$$

$$ГІ_I = \frac{414{,}829 + 414{,}826}{2} = 414{,}828 м.$$

Станція II.

$$ГІ_{II} = H_2 + a = 413{,}911 + 1{,}162 = 415{,}073 м,$$

$$ГІ_{II} = H_3 + b = 413{,}824 + 1{,}246 = 415{,}070 м,$$

$$ГІ_{II} = \frac{415{,}073 + 415{,}070}{2} = 415{,}072 м.$$

Станція III.

$$ГІ_{III} = H_3 + a = 413{,}824 + 1{,}126 = 414{,}950 м,$$

$$ГІ_{III} = H_1 + b = 413{,}0 + 1{,}947 = 414{,}947 м,$$

$$ГІ_{III} = \frac{414{,}95 + 414{,}947}{2} = 414{,}949 м.$$

Обчислюємо висоти всіх інших проміжних вершин квадратів на кожній станції.

Станція I:

414,828 – 1,473 = 413,355 м;
414,828 – 1,075 = 413,753 м;
414,828 – 1,788 = 413,040 м;
414,828 – 1,366 = 413,462 м;
414,828 – 1,553 = 413,275 м;
414,828 – 1,013 = 413,815 м;
414,828 – 1,307 = 413,521 м.

Станція II:

415,072 – 1,402 = 414,670 м;
415,072 – 1,032 = 414,040 м;
415,072 – 2,441 = 412,631 м;
415,072 – 0,900 = 414,172 м;
415,072 – 1,145 = 413,927 м.

Станція III:

414,949 – 1,419 = 413,530 м;
414,949 – 1,577 = 413,372 м;
414,949 – 1,499 = 413,450 м;
414,949 – 1,529 = 413,420 м;
414,949 – 1,356 = 413,593 м.

Обчислені висоти вершин квадратів записуємо в журнал нівелювання по квадратах біля відповідних вершин квадратів.

По результатам, що занесені до журналу нівелювання по квадратах будуємо рельєф ділянки земної поверхні. Для цього на креслярському папері (ф. А4) в масштабі плану, який зазначений у завданні, наносимо вершини квадратів, які були побудовані на місцевості. Біля кожної з вершин квадратів виписуємо їх висоти із журналу нівелювання по квадратах. Висоти закруглюємо до сотих частин метра. Далі приступаємо до проведення горизонталей.

Побудову горизонталей виконаємо графічним способом за допомогою палетки з паралельними лініями, які проведені на прозорому папері через рівні довільні проміжки і вимірника.

Наприклад, візьмемо квадрат з відмітками його вершин 52,93; 51,43; 53,04; 53,17 *м* (*рис. 4, а*). Якщо потрібно показати горизонталі з висотою перерізу рельєфу через 0,5 *м*, то місце знаходження їх на сторонах і діагоналях квадрату, можна знайти за допомогою палетки з горизонтальними лініями. Для цього беремо кальку на якій проводимо ряд паралельних ліній через 1 *см*. Вивчаємо висоти всіх вершин квадратів і, вибравши найменше значення висоти вершини квадрату, підписуємо верхню лінію на палетці відміткою горизонталі по найнижчій висоті цієї точки.

Наприклад, при висоті перерізу рельєфу 0,5 *м* найменша висота вершини квадрату становить 51,63 *м*, тоді верхня лінія буде мати відмітку 51,5 *м*. Наступні лінії підписують відмітками горизонталей 52,0; 52,5; 53,0 *м* і т.д.

Палетку кладемо на сторону квадрату так, щоб вершини з відповідними висотами розташувались між паралельними лініями (*рис.4, б*), а точки перетину лініями палетки і стороною квадрату переколюють голкою вимірника на сторону квадрату. Вони будуть мати висоту відповідних горизонталей. На *рис. 4, б* це горизонталі висотою 52,0 і 52,5 *м*.

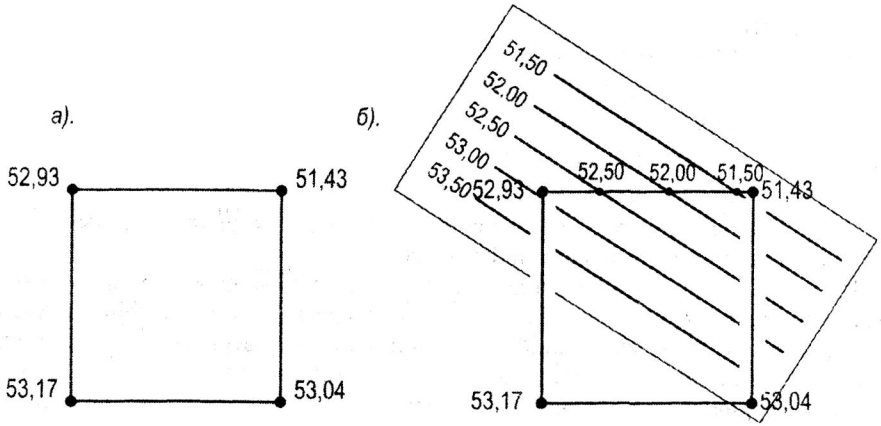
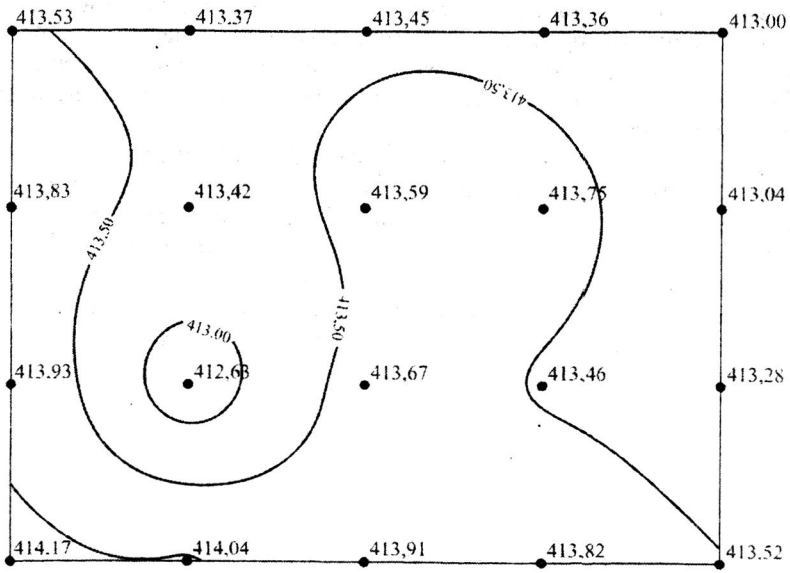


Рис. 4. Графічний спосіб інтерполювання

Таким чином знаходимо положення точок горизонталей на всіх сторонах і діагоналях квадратів. Точки з однаковими висотами з'єднуємо плавними лініями – *горизонталями* (*рис. 5*).

План нівелювання земної поверхні по квадратах



М 1:500
Висота перерізу рельєфу через 0,5м
Розмір квадратів 20×20м

Рис. 5 План нівелювання земної поверхні по квадратах

Горизонталі та їх відмітки викреслюємо коричневою тушшю. Відмітки горизонталей пишемо таким чином, щоб основа числа показувала на пониження рельєфу. Зверху план підписуємо "План нівелювання земної поверхні по квадратах", а внизу вказуємо масштаб плану, висоту перерізу рельєфу та розмір сторони квадрату.

3. Питання для самостійного контролю

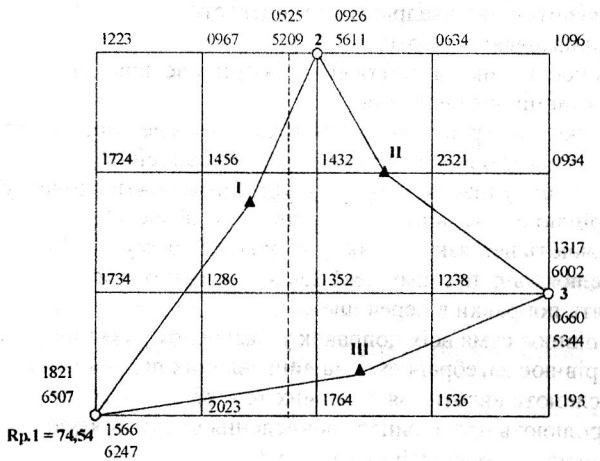
1. Як розбивають сітку квадратів на місцевості?
2. Які точки називають плюсовими?
3. Опишіть послідовність зняття відліків при нівелюванні.
4. Що таке станція нівелювання?
5. Як обчислюють перевищення між точками в нівелірному ході?
6. В якому випадку обчислюють середнє перевищення?
7. В якому випадку нівелювання необхідно повторити спочатку?
8. Чим закріплюють вершини квадратів на місцевості?
9. Як визначають нев'язку в замкнутому нівелірному ході?
10. Як обчислюють допустиму нев'язку в нівелірному ході?
11. Як вносять поправки в перевищення?
12. Чому дорівнює сума всіх поправок у замкненому нівелірному ході?
13. Чому дорівнює алгебраїчна сума виправлених перевищень?
14. Як обчислюють висоти зв'зуючих точок?
15. Як контролюють правильність обчислення висот зв'язуючих точок?
16. Як визначають горизонт інструменту?
17. Як визначають висоти проміжних вершин квадратів на кожній станції?
18. За допомого чого зображають рельєф місцевості на плані?
19. Що таке бергштрихи? Яке їх призначення?
20. Як визначають положення точок горизонталей аналітичним способом?
21. Як визначають положення точок горизонталей графічним способом?
22. Що таке горизонталь? Яке їх призначення?
23. Як зображують горизонталі на планах?

4. Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи "Нівелювання земної поверхні по квадратах"

Варіант №01.

Журнал нівелювання поверхні

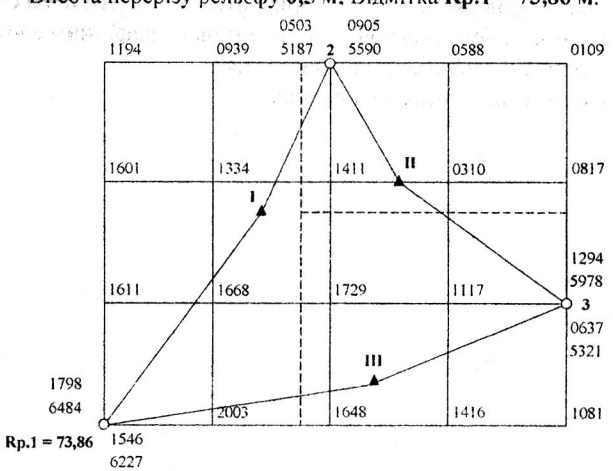
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 74,54 м**.



Варіант №02.

Журнал нівелювання поверхні

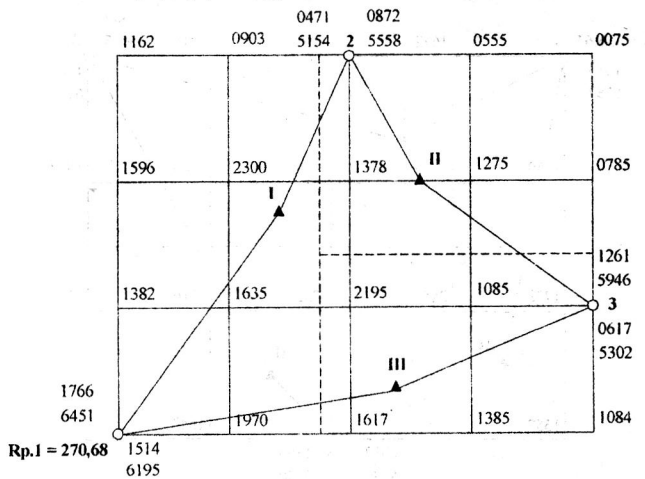
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 73,86 м**.



Варіант №03.

Журнал нівелювання поверхні

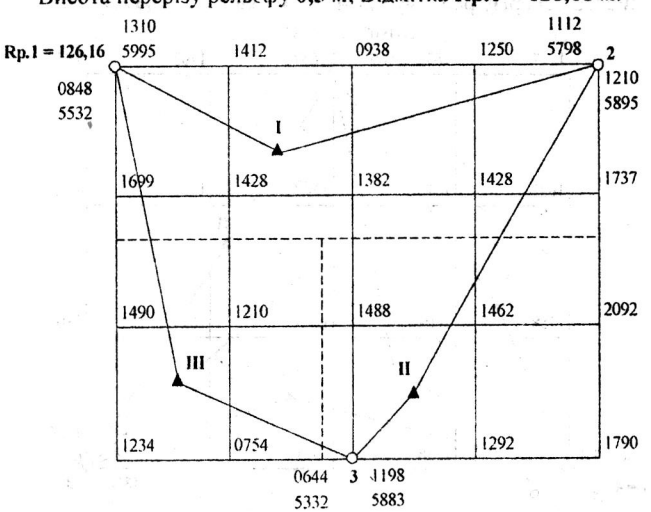
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 270,68 м**.



Варіант №04.

Журнал нівелювання поверхні

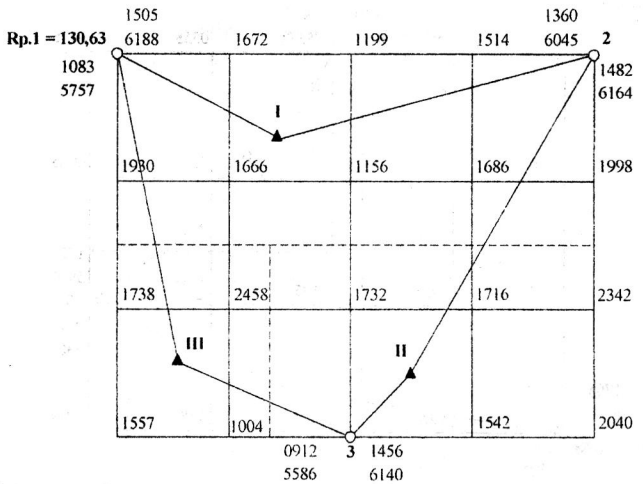
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 126,16 м**.



Варіант №05.

Журнал нівелювання поверхні

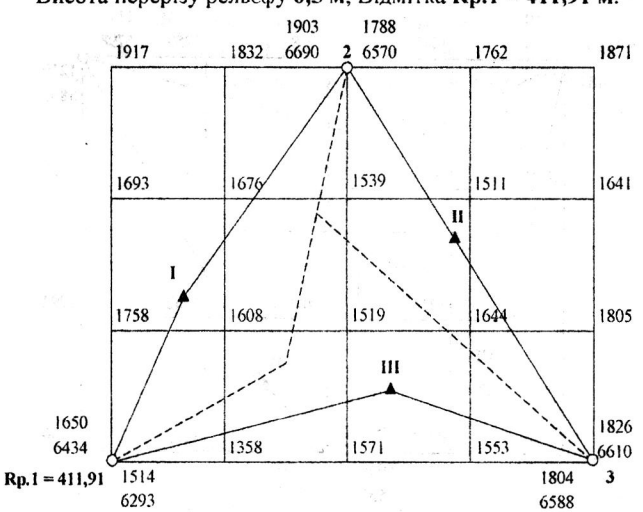
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**: Відмітка **Rp.1 = 130,63 м**.



Варіант №06.

Журнал нівелювання поверхні

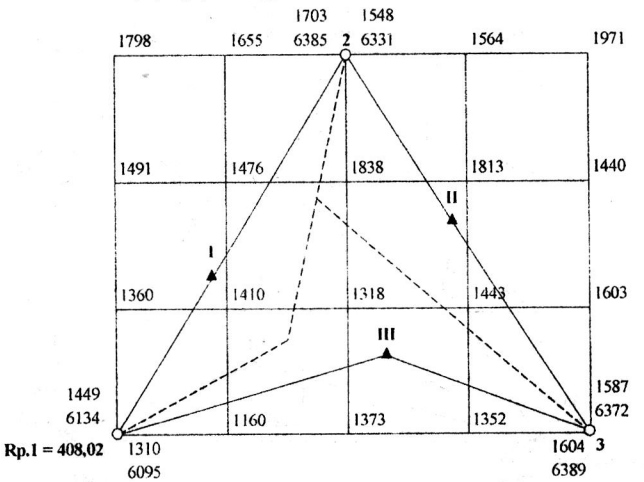
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 411,91 м**.



Варіант №07.

Журнал нівелювання поверхні

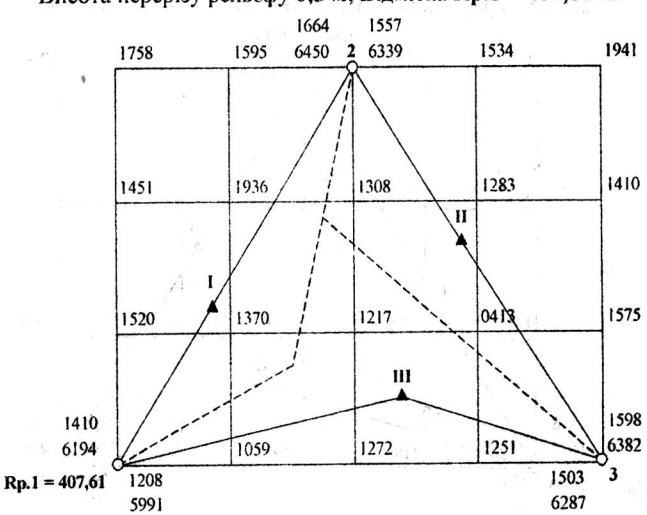
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 408,02 м**.



Варіант №08.

Журнал нівелювання поверхні

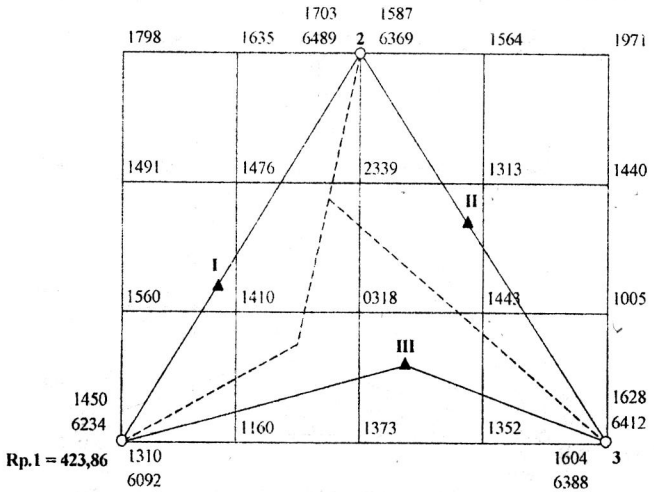
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 407,61 м**.



Варіант №09.

Журнал нівелювання поверхні

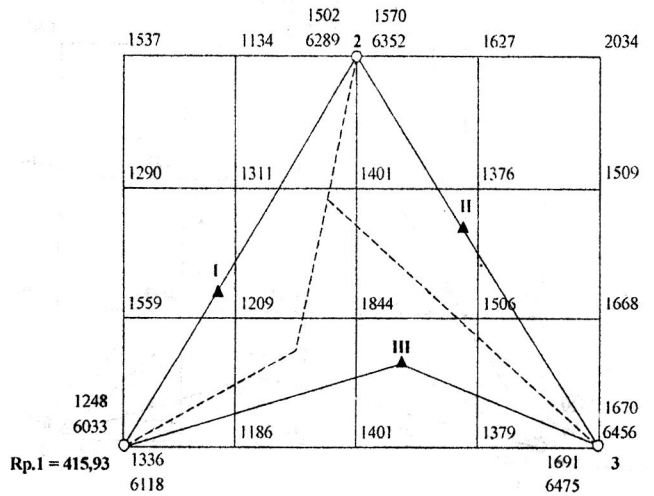
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 423,86 м**.



Варіант №10.

Журнал нівелювання поверхні

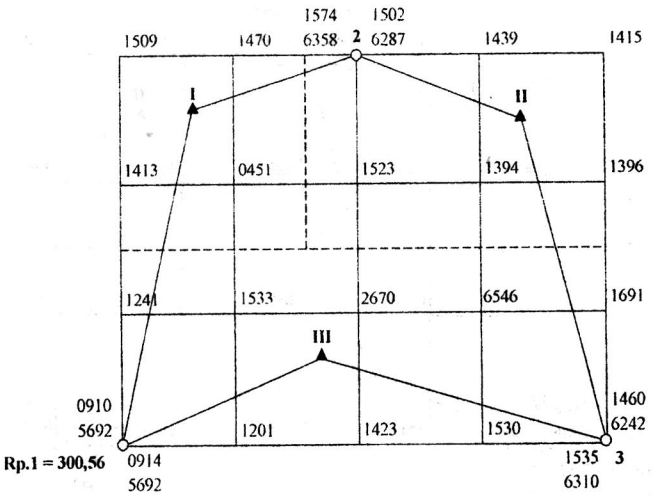
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 415,93 м**.



Варіант №11.

Журнал нівелювання поверхні

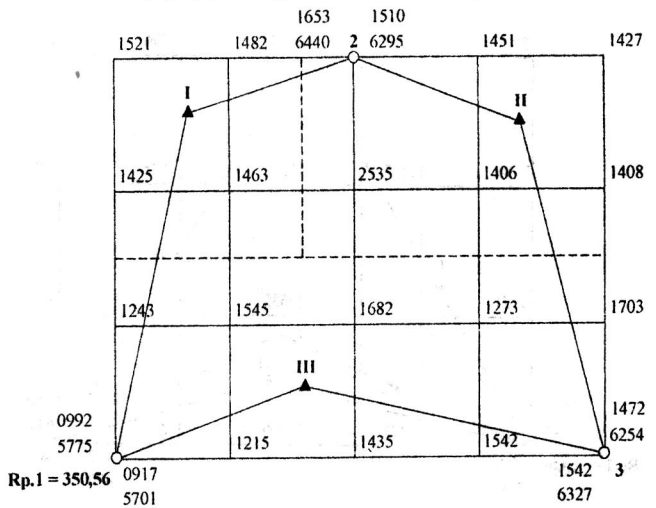
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 300,56 м**.



Варіант №12.

Журнал нівелювання поверхні

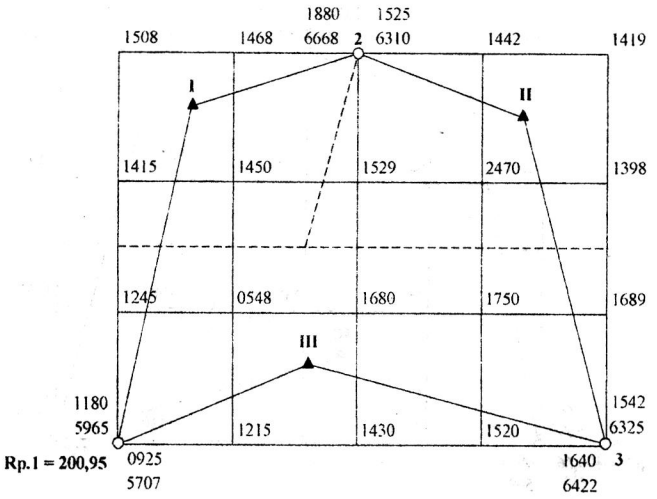
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 350,56 м**.



Варіант №13.

Журнал нівелювання поверхні

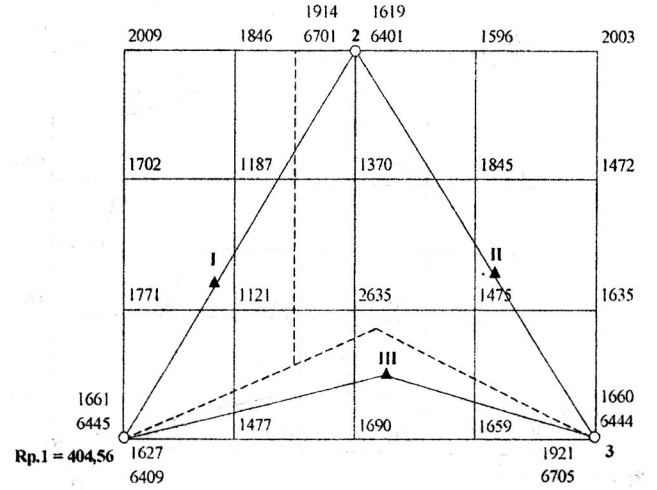
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 200,95 м**.



Варіант №14.

Журнал нівелювання поверхні

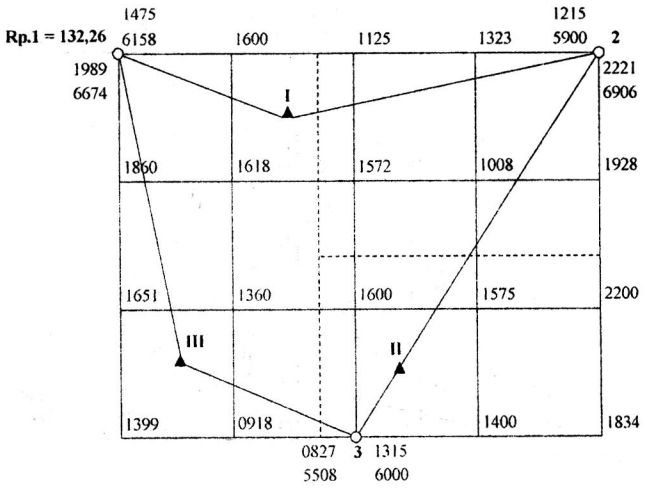
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 404,0 м**.



Варіант №15.

Журнал нівелювання поверхні

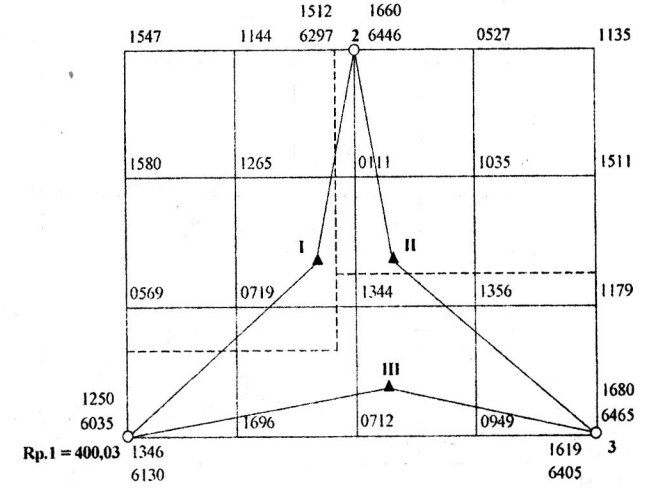
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 132,26 м**.



Варіант №16.

Журнал нівелювання поверхні

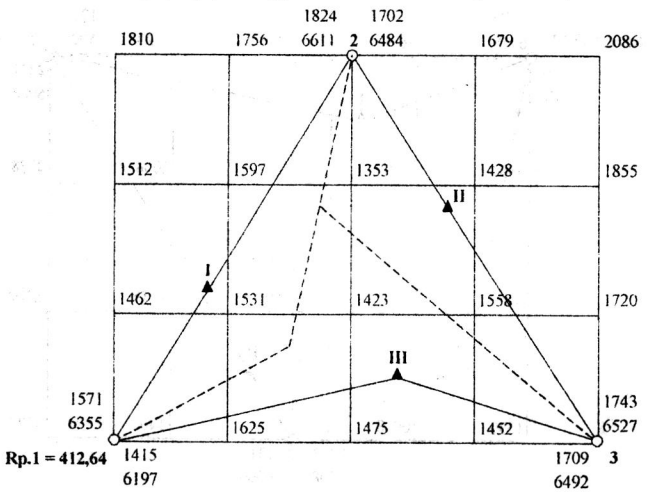
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 400,03 м**.



Варіант №17.

Журнал нівелювання поверхні

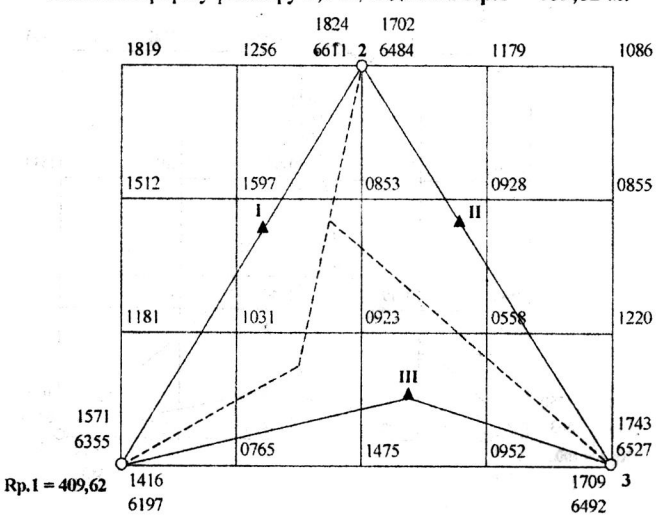
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 412,64 м**.



Варіант №18.

Журнал нівелювання поверхні

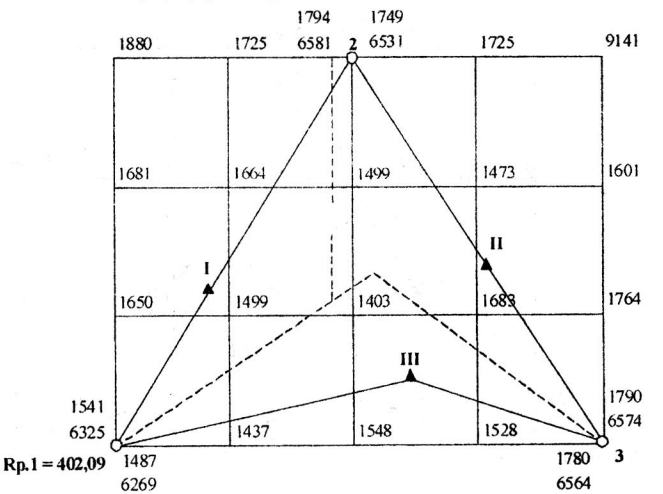
План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,5 м**; Відмітка **Rp.1 = 409,62 м**.



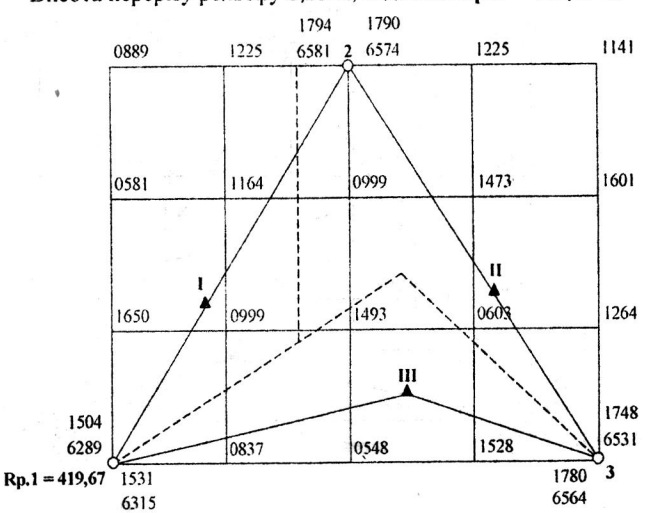
Варіант №19.

Журнал нівелювання поверхні

План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,1 м**; Відмітка **Rp.1 = 402,09 м**.



Варіант №20.

Журнал нівелювання поверхні

План складається в **М 1:500**; Розмір квадратів **20 × 20 м**;
Висота перерізу рельєфу **0,25 м**; Відмітка **Rp.1 = 419,67 м**.