

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНКЛІНОМЕТРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УХИЛІВ ТЕХНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІСОВИХ ДОРІГ

Запропоновано конструкцію приладу (інклінометра) для вимірювання ухилів технічних елементів лісових автомобільних доріг. Обґрунтовано геометричні параметри розробленої конструкції інклінометра, точність та діапазони вимірювань для лінійної та колових шкал вимірювальної поверхні. Зазначено особливості використання приладу у польових умовах під час будівництва, реконструкції та ремонту лісових дорожніх мереж.

Ключові слова: інклінометр, ухил, лісова дорога, технічний елемент, точність вимірювань, діапазон вимірювань.

Вступ. Належна транспортна інфраструктура є необхідною передумовою для раціонального господарювання та ефективного використання лісових ресурсів, а лісові дороги відіграють надзвичайно важливе значення для ведення лісового господарства, охорони лісів від пожеж та незаконних рубок, лісопромислового виробництва, а також для рекреаційної та соціальної сфери. Тому подолання проблем в галузі будівництва, реконструкції та ремонтування лісових доріг є одним з пріоритетів її розвитку на найближчу перспективу.

Лісові дороги є складним інженерним комплексом, який споруджують в різних кліматичних, гідрогеологічних та ландшафтних умовах. В процесі проектування, будівництва та експлуатування дорожніх мереж необхідно враховувати багато чинників: насамперед, за своїми параметрами лісові дороги повинні відповідати особливостям лісогосподарського виробництва та сучасному рівню розвитку транспорту, техніки і технологій лісової галузі [1]; водночас вони повинні бути дешевими, довговічними, ремонтпридатними, спорудженими переважно з місцевих матеріалів й у короткі строки.

Постановка проблеми. Нині на галузевих підприємствах найпоширенішим видом відомчого транспорту є автомобільний й саме обсяги спорудження лісових автомобільних доріг є найбільшими. В процесі будівництва лісових доріг, їх ремонтування та експлуатування широко використовують типові геодезичні прилади, спеціалізоване програмне забезпечення та устаткування для контролювання якості виконання дорожніх робіт. Однак потреба використання професійного високоточного інструменту, особливо для доріг тимчасової дії та виконання підготовчих і допоміжних робіт, є не завжди виправданою й обґрунтованою. Зокрема, проаналізувавши вимоги чинних нормативно-правових актів [2–4], порядок приймання та методика контролювання якості дорожньо-будівельних робіт [5], можна стверджувати про необхідність багаторазових вимірювань відстаней та ухилів технічних елементів лісових автомобільних доріг.

В нормальних умовах для визначення лінійних параметрів конструкційних елементів доріг зазвичай використовують геодезичні рулетки, мірні стрічки, далекоміри, універсальні дорожні рейки й інший найпростіший інструмент; в складних умовах й за потреби одночасного вимірювання ухилів – тахеометри тощо. Для вимірювання ухилів конструкційних елементів лісових автомобільних доріг інколи використовують базові моделі рівнів, кутомірів і ухиломірів, які характеризуються простотою експлуатування, загалом невисокою точністю ($0,1...0,5^\circ$) й роздільною здатністю ($0,05...0,1^\circ$); отриманий результат, як правило, представлений у виді градусів або ж відсотків (є потреба переведення у ‰); не всі моделі мають належну базу рівня (занадто довга чи занадто коротка); користування бульбашковим рівнем є не завжди зручним; робота ряду рівнів при відносно низьких або високих температурах інколи супроводжується некоректними показниками і швидким розрядженням. В інженерній практиці для вимірювання кутів нахилу різних інженерних об'єктів та поверхонь відносно гравітаційного поля Землі досить широко застосовують інклінометри й кренометри; їх будова та параметри є надзвичайно різноманітними й визначаються, в основному, конкретним цільовим призначенням. Поздовжні і поперечні ухили проїзної частини доріг, стрімкість закладення укосів насипів та виїмок й інші параметри дорожніх конструкцій також вимірюють універсальними дорожніми рейками; середня похибка вимірювань типових моделей рейок становить $\pm 3 \%$, діапазон вимірювань ухилів вимірювальною головкою – $0...100 \%$, діапазон вимірювання стрімкості укосів – $1:3...1:1$. Для оптимального функціонування оптичних і

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

лазерних нівелірів необхідна наявність встановленого штатива, рівня та системи горизонтального позиціонування; характерним параметром для нівелірів є мінімальна фокусна відстань (здебільшого 0,2...0,5 м). Горизонтальні та вертикальні кути під час виконання геодезичних робіт й топографічних знімачів вимірюють теодолітами; ці прилади є невибагливими до погодних умов й достатньо довговічними; характерним параметром для теодолітів є мінімальна довжина ділянки вимірювання (здебільшого 0,5...1,5 м). Універсальними і високоартісними приладами, які поєднують в собі функції далекомірів, нівелірів і теодолітів є тахеометри; такі прилади раціонально застосовувати на великих площах й для складних будівельних об'єктів; точність кутових вимірювань сучасними тахеометрами сягає $0^{\circ}00'0,5''$, вимірювань відстаней – до 0,5 мм; характерним параметром для тахеометрів є мінімальна фокусна відстань (здебільшого 1,5 м).

Постановка завдання. Для вимірювання ухилів (зокрема й локальних) технічних елементів лісових доріг в процесі їх будівництва (реконструювання) та експлуатування необхідно розробити конструкцію та обґрунтувати параметри приладу з урахуванням можливості його ефективного використання в польових умовах.

Викладення основного матеріалу. Враховуючи переваги та недоліки типових геодезичних приладів, а також складність їх будови, вартість та умови ефективного застосування, для вирішення поставленого завдання запропоновано конструкцію інклінометра (рис. 1).

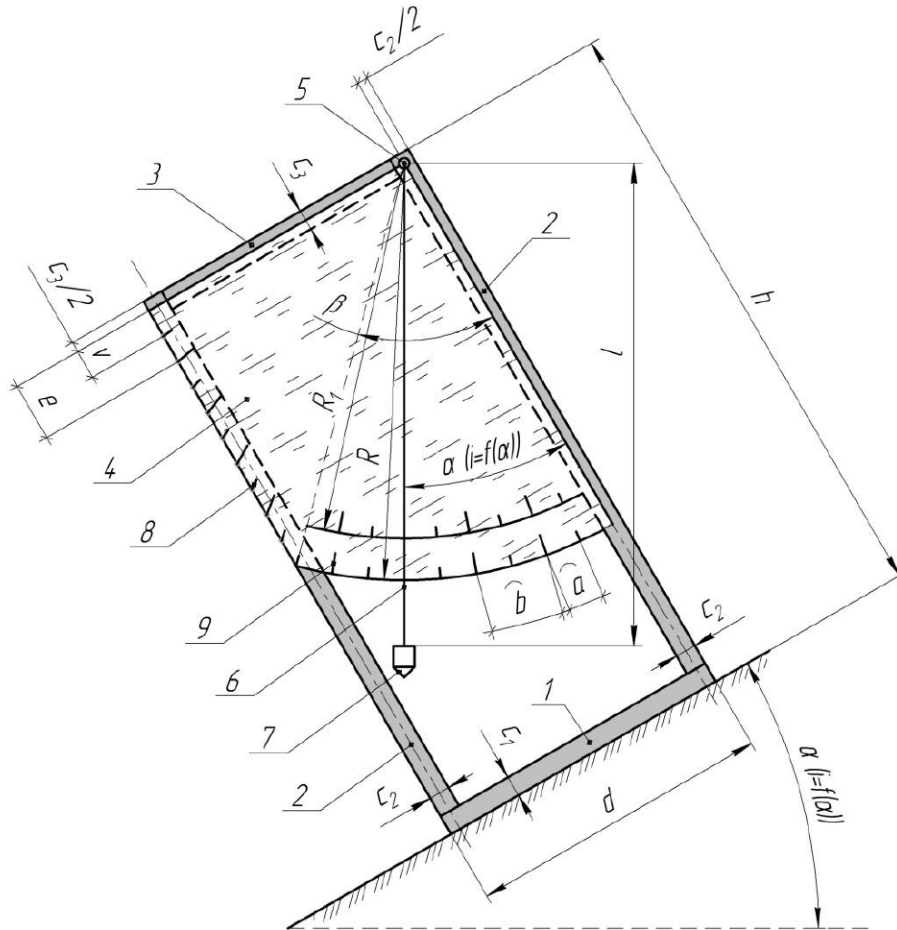


Рис. 1. Будова інклінометра для вимірювання ухилів технічних елементів лісових доріг:

1 – опорна рейка; 2 – стояк; 3 – поперечка; 4 – вимірювальна поверхня, захищена органічним склом від забруднень та подряпин; 5 – точка шарнірного кріплення нитки; 6 – нитка капронова коричнева діаметром $d_n = 0,45$ мм; 7 – тягарець; 8 – рівномірна лінійна шкала вимірювальної поверхні (в форматі 1:x); 9 – нерівномірні колові шкали вимірювальної поверхні (в форматах $i, \%$; 1:x)

Для обґрунтування довжини опорної рейки d (рис. 1) необхідно визначити мінімальні довжини основних технічних елементів земляного полотна та дорожнього одягу лісової автомобільної дороги d_1, \dots, d_{15} .

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

З урахуванням залежностей $\sin(\arctg x) = x / \sqrt{1+x^2}$, $\cos(\arctg x) = 1 / \sqrt{1+x^2}$ відповідно для ширини проїзної частини, земляного полотна та узбіччя (рис. 2) величина d становитиме

$$\begin{cases} d_1 = b / 2 / \cos(\arctg i_{н.ч.}) = b / 2 \cdot \sqrt{1+i_{н.ч.}^2} = 1,5 \text{ м}; \\ d_2 = B / 2 / \cos(\arctg i_{з.п.}) = B / 2 \cdot \sqrt{1+i_{з.п.}^2} = 2 \text{ м}; \\ d_3 = c / \cos(\arctg i_{узб.}) = c \cdot \sqrt{1+i_{узб.}^2} = 0,5 \text{ м}, \end{cases} \quad (1)$$

де b - ширина проїзної частини, м; $b = 3$ м [2, табл. 2], [3, табл. 3]; $i_{н.ч.}$, $i_{з.п.}$, $i_{узб.}$ - відповідно ухил проїзної частини, земляного полотна та узбіччя; з урахуванням можливого переходу поперечного профілю лісової дороги на віражі від двосхилої до односхилої форми приймаємо $i_{н.ч.} = i_{з.п.} = i_{узб.} = 0$ [3, п. 5.12]; B - ширина земляного полотна, м; $B = 4$ м [2, табл. 2]; c - ширина узбіччя, м; $c = 0,5$ м [2, табл. 2], [3, табл. 3], [4, табл. 46].

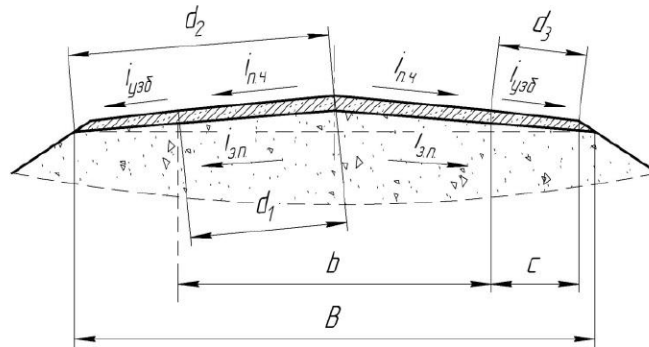


Рис. 2. Параметри земляного полотна та дорожнього одягу лісової автомобільної дороги

Для земляного полотна у формі насипу висотою понад 0,6 м (рис. 3)

$$d_4 = H_n / \sin(\arctg(1/m_n)) = H_n \cdot m_n \cdot \sqrt{1+1/m_n^2} \approx 0,85 \text{ м}, \quad (2)$$

де H_n - висота насипу, м; $H_n = 0,6$ м; m_n - коефіцієнт укосу насипу; $m_n = 1$ [2, табл. 14], [6, табл. 2.10].

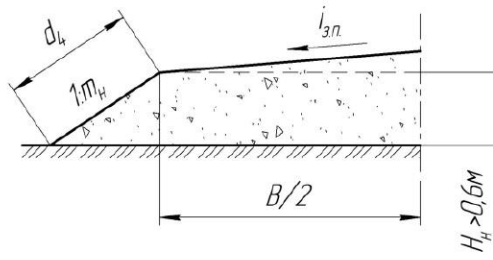


Рис. 3. Параметри земляного полотна у формі насипу висотою понад 0,6 м

Для земляного полотна у формі насипу висотою до 0,6 м (рис. 4)

$$\begin{cases} d_5 = (H_n + h_{кан}) / \sin(\arctg(1/m_n)) = (H_n + h_{кан}) \cdot m_n \cdot \sqrt{1+1/m_n^2} \approx 0,28 \text{ м}; \\ d_6 = b_{кан} = 0,4 \text{ м}; \\ d_7 = h_{кан} / \sin(\arctg(1/m_{кан})) = h_{кан} \cdot m_{кан} \cdot \sqrt{1+1/m_{кан}^2} \approx 0,36 \text{ м}, \end{cases} \quad (3)$$

де H_n - висота насипу, м; $H_n = 0$; m_n - коефіцієнт укосу насипу (внутрішнього укосу канави); $m_n = 1$ [2, табл. 14], [6, табл. 2.10]; $h_{кан}$ - глибина канави, м; $h_{кан} = 0,2$ м [6, с. 48], [3, п. 7.20], [2, с. 36]; $b_{кан}$ - ширина канави по дну, м; $b_{кан} = 0,4$ м [6, табл. 2.13], [2, табл. 18]; $m_{кан}$ - коефіцієнт зовнішнього укосу канави; $m_{кан} = 1,5$ [2, табл. 18], [6, табл. 2.13].

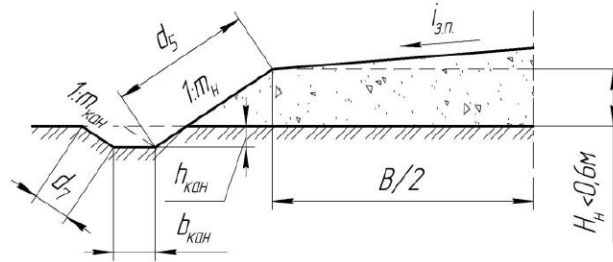


Рис. 4. Параметри земляного полотна у формі насипу висотою до 0,6 м

Для резерву (рис. 5)

$$\begin{cases} d_8 = \frac{h_p}{\sin(\arctg(1/n_p))} = h_p \cdot n_p \cdot \sqrt{1+1/n_p^2} \approx 0,28 \text{ м}; \\ d_9 = b_p / \cos(\arctg i_p) = b_p \cdot \sqrt{1+i_p^2} \approx 0,4 \text{ м}; \\ d_{10} = \frac{h_p - b_p \cdot i_p - l_\delta \cdot i_\delta}{\sin(\arctg(1/m_p))} = (h_p - b_p \cdot i_p - l_\delta \cdot i_\delta) \cdot m_p \cdot \sqrt{1+1/m_p^2} \approx 0,31 \text{ м}, \end{cases} \quad (4)$$

де h_p - глибина резерву, м; $h_p = 0,2$ м [2, п. 5.43]; n_p - коефіцієнт зовнішнього укосу резерву; $n_p = 1$ [2, п. 5.19], [6, с. 78]; b_p - ширина резерву по дну, м; $b_p = b_{кан} = 0,4$ м [6, табл. 2.13], [2, табл. 18]; i_p - ухил дна резерву у поперечному напрямку від дороги; $i_p = 0,02$ [2, п. 5.20]; l_δ - довжина берми (рис. 6), м; $l_\delta = 1$ м [4, п. 4.54]; i_δ - ухил берми у поперечному напрямку від дороги (рис. 6); $i_\delta = 0,02$ [4, п. 4.54]; m_p - коефіцієнт внутрішнього укосу резерву; $m_p = 1,5$ [2, п. 5.19], [6, с. 78].

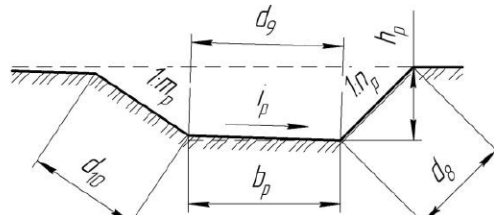


Рис. 5. Параметри резерву

Для берми (рис. 6)

$$d_{11} = l_\delta / \cos(\arctg i_\delta) = l_\delta \cdot \sqrt{1+i_\delta^2} \approx 1 \text{ м}. \quad (5)$$

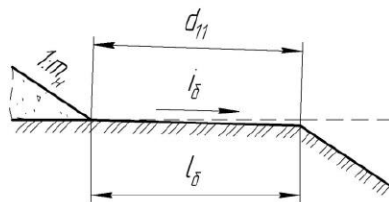


Рис. 6. Параметри берми

Для земляного полотна у формі виїмки (рис. 7)

$$\begin{cases} d_{12} = (H_e + h_{кюв}) / \sin(\arctg(1/m_{кюв})) = (H_e + h_{кюв}) \cdot m_{кюв} \cdot \sqrt{1+1/m_{кюв}^2} \approx 0,31 \text{ м}; \\ d_{13} = b_{кюв} = 0,4 \text{ м}; \\ d_{14} = h_{кюв} / \sin(\arctg(1/m_e)) = h_{кюв} \cdot m_e \cdot \sqrt{1+1/m_e^2} \approx 0,31 \text{ м}, \end{cases} \quad (6)$$

де H_e - глибина виїмки, м; $H_e = 0$; m_e - коефіцієнт укосу виїмки (внутрішнього укосу кювета); $m_e = 0,2$ [2, табл. 15], [6, табл. 2.11]; $h_{кюв}$ - глибина кювета, м; $h_{кюв} = 0,3$ м [6, табл. 2.13], [3, п. 7.20], [2, табл. 18]; $b_{кюв}$ - ширина кювета по дну, м; $b_{кюв} = 0,4$ м [6, табл.

2.13], [2, табл. 18]; $m_{\text{кюв}}$ - коефіцієнт зовнішнього укусу кювета; $m_{\text{кюв}} = 0,2$ [2, с. 63].

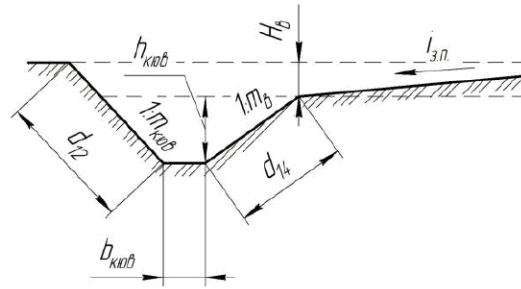


Рис. 7. Параметри земляного полотна у формі виїмки

Для вертикальних випуклих та увігнутих кривих величину f_n визначаємо як висоту сегмента кола радіусом R_e (рис. 8).

$$d_{15} = \sqrt{8 f_n \cdot (R_e - f_n / 2)} \approx 2 \sqrt{2 f_n \cdot R_e} \approx 2 \text{ м}, \quad (7)$$

де f_n - висота сегмента кола радіусом R_e , стягнутого хордою d_{15} , м; оскільки висотні відмітки технічних елементів лісових доріг, в основному, вимірюють з точністю 0,01 м, то приймаємо $f_n = 0,005$ м (половина ціни поділки відповідної шкали); R_e - радіус вертикальної кривої, м; $R_e = 100$ м [2, табл. 7], [3, табл. 8].

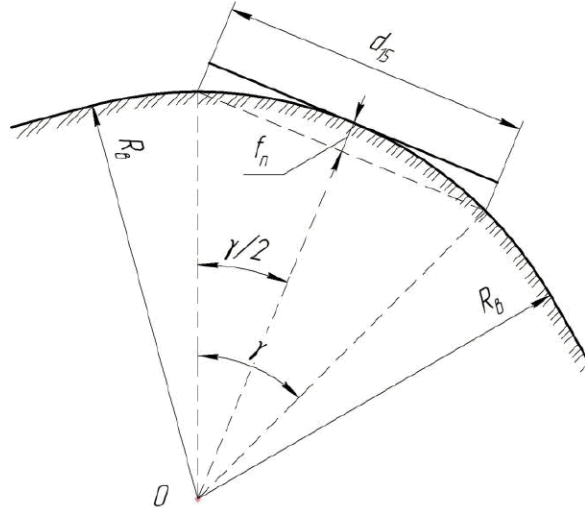


Рис. 8. Вимірювання ухилу в довільній точці вертикальної кривої (ухилу локальної ділянки місцевості): γ - центральний кут, градус

Остаточно приймаємо $d = 0,28$ м (рис. 9); з технологічних міркувань $c_1 = c_2 = c_3 = 0,03$ м.

Величину радіуса R (рис. 1) визначаємо з умови зручності зчитування показів приладу у польових умовах. Оскільки ухили технічних елементів лісових доріг в процесі їх проектування, будівництва та експлуатування, в основному, вимірюють з точністю 1‰ (половина ціни поділки відповідної шкали для діапазону 0...160‰ [2, с. 15]), то приймаємо (для початку відліку) $\hat{a} = 0,2$ $\hat{b} = 0,001$ м (еквівалентно 2‰). Звідси

$$R \geq 180^0 \cdot 0,001 / \pi / \arctg 0,002 \approx 0,5 \text{ м}. \quad (8)$$

Остаточно приймаємо $R = 0,5$ м.

З віддаленням від початку відліку віддаль між суміжними поділками i_1 і i_2 нерівномірної колової шкали вимірювальної поверхні (в форматі i , ‰) дещо зменшуватиметься і становитиме

$$\hat{a} = \left(\arctg \frac{0,5 \cdot i_2 / 1000}{R} - \arctg \frac{0,5 \cdot i_1 / 1000}{R} \right) \cdot \frac{\pi \cdot R}{180^0}. \quad (9)$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ



Рис. 9. Обґрунтування довжини опорної рейки $d: d \leq \min(d_1, \dots, d_{15})$

Для кінця робочого діапазону вимірювань $\hat{a} \approx 0,00098 \text{ м}$ ($i_2 = 160 \text{ ‰}$, $i_1 = 158 \text{ ‰}$),
 $\hat{b} \approx 0,00488 \text{ м}$ ($i_2 = 160 \text{ ‰}$, $i_1 = 150 \text{ ‰}$).

Довжину нерівномірної шкали характеризує кут β

$$\beta = \arcsin \frac{d - 0,5c_2}{R} \approx 32^\circ \approx 625 \text{ ‰} . \quad (10)$$

У такому разі виконується умова

$$\beta \approx 32^\circ > \arctg 0,16 \approx 9^\circ . \quad (11)$$

Для кінця фактичного діапазону вимірювань $\hat{a} \approx 0,00072 \text{ м}$ ($i_2 = 624 \text{ ‰}$, $i_1 = 622 \text{ ‰}$),
 $\hat{b} \approx 0,00363 \text{ м}$ ($i_2 = 620 \text{ ‰}$, $i_1 = 610 \text{ ‰}$).

Отож точність нерівномірної колової шкали вимірювальної поверхні (в форматі i , ‰) для робочого діапазону ($i = 0 \dots 160 \text{ ‰}$) становитиме $\delta = 1 \dots 1,03 \text{ ‰}$ ($1 / (0,00098 \cdot 1000) = 1,03 \text{ ‰}$), для фактичного діапазону ($i = 0 \dots 624 \text{ ‰}$) – $\delta = 1 \dots 1,39 \text{ ‰}$ ($1 / (0,00072 \cdot 1000) = 1,39 \text{ ‰}$). Така точність вимірювань у повній мірі задовольняє відомчі виробничі дорожні вимоги.

Для нерівномірної колової шкали вимірювальної поверхні (в форматі 1:x), виходячи з умови зручності зчитування показів приладу у польових умовах та беручи до уваги конструкційні параметри приладу, приймаємо величину радіуса $R_1 = 0,46 \text{ м}$ (рис. 1), віддаль між суміжними поділками $\hat{a} = 0,00051 \dots 0,00884 \text{ м}$, $\hat{b} = 0,00440 \dots 0,02093 \text{ м}$.

Для рівномірної лінійної шкали вимірювальної поверхні приладу й вимірювань ухилів в форматі 1:x з точністю 0,01 відстань між суміжними поділками (рис. 1) становитиме

$$v = 0,1 e = 0,01 \cdot (d - 0,5c_2) = 0,00265 \text{ м} . \quad (12)$$

При цьому максимальна стрімкість укошу для виробничих дорожньо-будівельних потреб становить 1:0,1 [6, табл. 2.11].

Розрахована відстань між суміжними поділками задовольняє умову зручності користування приладом у польових умовах

$$v = 0,00265 \text{ м} > 0,001 \text{ м} . \quad (13)$$

Довжину нитки l та висоту приладу h обґрунтуємо залежно від величини радіуса R з урахуванням необхідних технологічних зазорів між поверхнями

$$l = R + 0,05 = 0,55 \text{ м} ; \quad (14)$$

$$h = R + 0,105 + c_1 + 0,5 c_3 = 0,65 \text{ м} . \quad (15)$$

Вимірювальна поверхня інклінометра (з урахуванням визначених її основних геометричних характеристик) матиме вид, показаний на рис. 10.

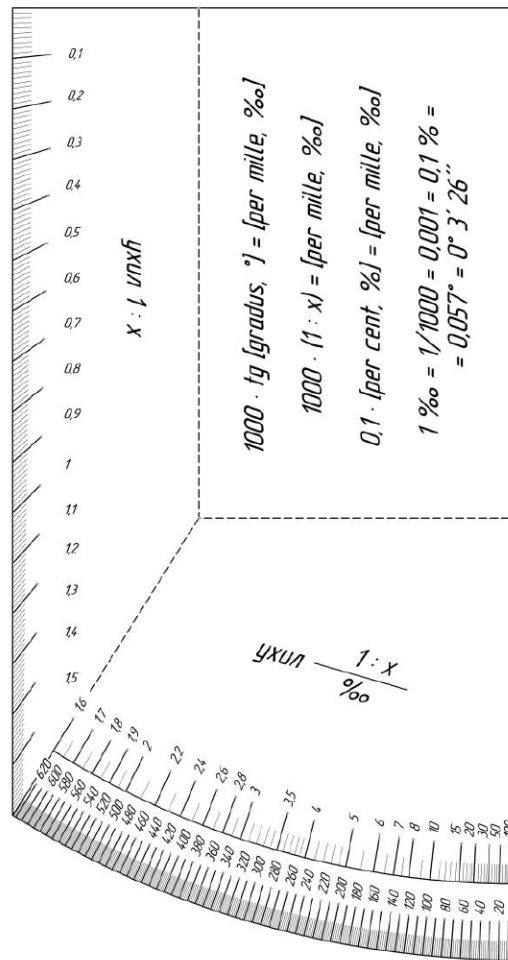


Рис. 10. Вимірювальна поверхня інклінометра (в масштабі 1:4)

Висновки. Таким чином, розроблено конструкцію приладу (інклінометра) для вимірювання ухилів технічних елементів лісових автомобільних доріг. З урахуванням нормативних вимог та виробничих потреб обґрунтовано геометричні параметри розробленої конструкції інклінометра, а саме довжину опорної рейки, стояка, поперечки, радіуси нерівномірних колових шкал, довжину нитки, висоту приладу тощо, а також точність та діапазони вимірювань для рівномірної лінійної шкали (в форматі 1:x) та нерівномірних колових шкал (в форматах i , ‰, 1:x) вимірювальної поверхні.

Розроблений прилад рекомендовано використовувати у польових умовах для вимірювання ухилів технічних елементів постійних та тимчасових лісових автомобільних доріг: поверхні земляного полотна (у поперечному та поздовжньому напрямках), укосів земляного полотна (у поперечному напрямку), водовідвідних каналів (у поздовжньому напрямку), поверхні дорожнього одягу (у поперечному напрямку), поверхні узбіч (у поперечному напрямку), дорожнього покриття (у поперечному та поздовжньому напрямках), а також ухилів прямих та вертикальних кривих ділянок трас (локальних ділянок місцевості та ділянок місцевості значної протяжності).

Інформаційні джерела

1. Рудько І. М. Структурна систематизація критеріїв для класифікації лісових доріг // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.8. – С. 286 – 292.
2. Інструкція по проектуванню лісових автомобільних доріг в гірських умовах Карпат / Івано-Франківський державний проектно-конструкторський технологічний інститут, Український державний лісотехнічний університет // Затверджена заступником Міністра промисловості України 15.06.1994 р. – К.; Івано-Франківськ: Контакт, 1994. – 67 с.
3. Інструкція по проектуванню лісогосподарських автомобільних доріг: ВСН 7-82 / Всесоюзний державний проектно-ізыскательний інститут “Союзгипролесхоз” // Утверждены Приказом Государственного комитета СССР по лесному хозяйству № 5 от

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

15.10.1982 г. – [Введены в действие 1983-07-01]. – Москва: Гослесхоз СССР, 1982. – 96 с. – (Ведомственные строительные нормы).

4. Промышленный транспорт: СНиП 2.05.07-91* / Госстрой СССР // Утверждены постановлением Государственного комитета СССР по строительству и инвестициям от 28.11.1991 г. – [Введены в действие 1992-07-01]. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1996. – 136 с. – (Строительные нормы и правила).

5. Порядок прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом (реконструкцією) лісових автомобільних доріг / УкрНДІгірліс, Держкомлісгосп України // Затверджений Науково-технічною радою Держкомлісгоспу України, прот. № 2 від 23.08.2007 р. – К.; Івано-Франківськ, 2007. – 20 с.

6. Гайдар М. О. Проектування лісовозних автомобільних доріг. – Львів: Вища школа. Видавництво при Львівському державному університеті, 1982. – 231 с.

Рудько И.М., к.т.н.

Национальный лесотехнический университет Украины

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНКЛИНОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УКЛОНОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Предложена конструкция прибора (инклинометра) для измерения уклонов технических элементов лесных автомобильных дорог. Обоснованы геометрические параметры разработанной конструкции инклинометра, точность и диапазоны измерений для линейной и круговых шкал измерительной поверхности. Указаны особенности использования прибора в полевых условиях при строительстве, реконструкции и ремонте лесных дорожных сетей.

Ключевые слова: инклинометр, уклон, лесная дорога, технический элемент, точность измерений, диапазон измерений.

I. Rudko

Ukrainian National Forestry University

DEVELOPMENT OF THE DESIGN AND JUSTIFICATION OF INCLINOMETER PARAMETERS FOR THE SLOPE GRADIENTS MEASUREMENT OF FOREST ROADS TECHNICAL ELEMENTS

The device (inclinometer) design for the slopes gradient measurement of the forest roads technical elements is offered. Geometrical parameters of the developed inclinometer design, accuracy and ranges of measurements for linear and circular scales of a measuring surface has been proved. Features of the device use in field conditions during the construction, reconstruction and maintenance of forest road networks has been specified.

Keywords: inclinometer, slope, forest road, technical element, accuracy of measurements, range of measurements.