УДК 630.383.7
Рудько І. М., к.т.н., Бариляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.
Національний лісотехнічний університет України

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ УХИЛІВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІСОВИХ ДОРІГ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАВІТАЦІЙНОГО ІНКЛІНОМЕТРА МАЯТНИКОВОГО ТИПУ

Розглянуто особливості процесу вимірювання ухилів технічних елементів лісових доріг із застосуванням розробленої конструкції гравітаційного інклінометра маятникового типу. Опрацьовано методику вимірювання ухилів поверхонь локальних ділянок місцевості та ділянок місцевості значної протяжності.

Проведено у польових умовах вимірювання ухилів технічних елементів лісової дороги, зокрема земляного полотна, водовідвідних канав, дорожнього одягу (проїзної частини та узбіч). Експериментальні дослідження проведено на прямих та вертикальних кривих ділянках траси лісової дороги.

На основі набутого досвіду експлуатації приладу розроблено рекомендації щодо його раціонального використання під час будівництва, реконструкції та ремонту лісових дорожніх мереж.

Ключові слова: *інклінометр маятникового типу, вимірювання, ухил, лісова дорога, технічний елемент.*

Враховуючи переваги та недоліки типових геодезичних приладів, а також складність їх будови, вартість та умови ефективного застосування, для вимірювання ухилів (зокрема й локальних) конструкційних елементів лісових доріг в процесі їх будування (реконструювання) та експлуатування розроблено конструкцію та обґрунтовано параметри спеціального гравітаційного інклінометра маятникового типу [1]. Розроблений прилад раціонально використовувати у польових умовах для вимірювання ухилів конструкційних елементів постійних та тимчасових лісових автомобільних доріг, зокрема поверхні та укосів земляного полотна, дна та укосів водовідвідних канав, поверхні дорожнього покриття і узбіч тощо.

Отож, загалом розроблена конструкція інклінометра дозволяє вимірювати так звані локальні ухили [2] конструкційних елементів лісових автомобільних доріг, а також ухили їх прямих та вертикальних кривих ділянок трас, ухили поверхонь локальних ділянок місцевості та ділянок місцевості значної протяжності (рис. 1).

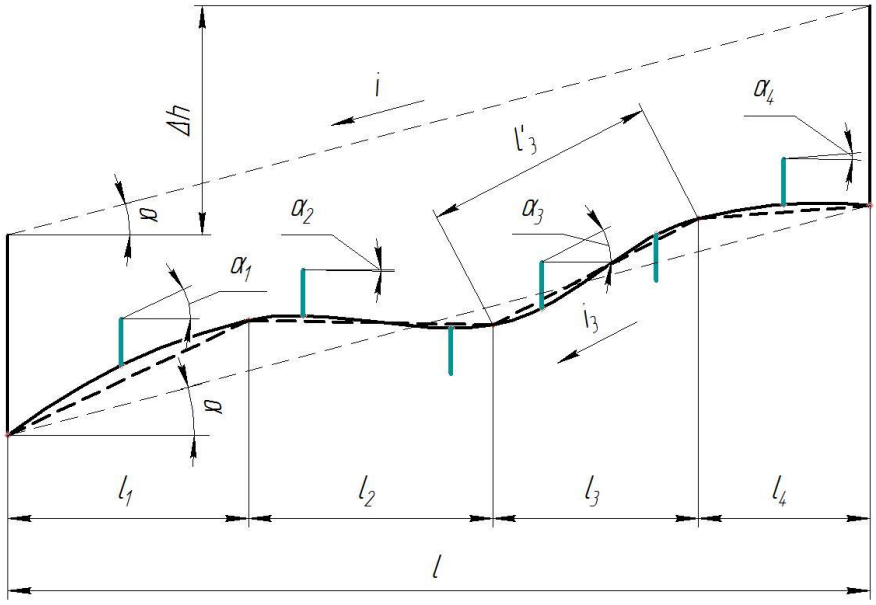

Рис. 1. Розрахункова схема для вимірювання ухилів поверхонь локальних ділянок місцевості та визначення ухилу ділянки місцевості значної протяжності.

© Рудько І. М., к.т.н., Бариляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.

Ухили поверхонь локальних ділянок місцевості визначають безпосередньо шляхом вимірювання, а значення ухилів ділянок значної протяжності визначають шляхом розрахунку, базуючись на результатах кількох вимірювань довжин та ухилів локальних ділянок місцевості (при цьому кути нахилу α (α_i) та ухили i (i_i) у напрямку на підйом вважають додатними, а у напрямку на спуск – від'ємними),

$$\begin{cases} \alpha = arctg\ (i/1000) = arctg\ (\Delta h / l)\ ; \\ \Delta h = \sum_{i=1}^{n}(l_i \cdot tg\,\alpha_i) = \sum_{i=1}^{n}(l_i \cdot i_i / 1000) = \sum_{i=1}^{n}(l_i^{/} \cdot \sin\,\alpha_i)\ , \end{cases} \quad (1)$$

де Δh - вертикальне перевищення точок початку і кінця ділянки місцевості, *м*; l - відстань між початком і кінцем ділянки місцевості по горизонталі, *м*; α - кут нахилу поверхні місцевості, *град*; i - ухил поверхні місцевості, ‰; l_i - довжина локальної ділянки місцевості по горизонталі, *м*; α_i - кут нахилу локальної ділянки місцевості, *град*; i_i - ухил локальної ділянки місцевості, ‰; $l_i^{/}$ - довжина (протяжність) локальної ділянки місцевості, *м*.

Висотні відмітки конструкційних елементів лісових доріг в процесі їх проектування, будування та експлуатування, в основному, вимірюють з точністю $0,01$ *м*, а їх ухили – з точністю 1 ‰. Тому, зважаючи на мінімально допустиме значення кроку проектування $K = 20$ *м* [3, с. 40], інші параметри поздовжнього та поперечних профілів типових конструкцій лісових доріг, точність (1 ‰) та діапазони вимірювань для лінійної та колових шкал вимірювальної поверхні розробленої конструкції інклінометра [1], визначаємо рекомендовану максимальну довжину локальних ділянок місцевості

$$l_i \le 0,01 \cdot 1000 / 1 = 10\ м\ . \quad (2)$$

З використанням запропонованої конструкції гравітаційного інклінометра маятникового типу можна також у польових умовах визначати радіус кривини ділянок траси лісової автомобільної дороги у вертикальній площині (рис. 2).

Вимірявши в двох довільних точках кривої (т. A і т. B) відповідно ухили i_1 та i_2 поверхонь локальних ділянок місцевості, віддаль між цими точками по кривій $\widehat{K}$, обчислюють шуканий радіус кривини $R_в$.

$$R_в = \frac{180 \cdot \widehat{K}}{\pi \cdot \left| arctg\, i_1 - arctg\, i_2 \right|} = \frac{180 \cdot \widehat{K}}{\pi \cdot \left| \Delta\alpha \right|}\ , \quad (3)$$

де $\Delta\alpha$ - алгебраїчна різниця суміжних кутів нахилу поверхонь локальних ділянок місцевості, *град*; $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$.

Відповідно до вимог порядку приймання та методики контролювання якості дорожньо-будівельних робіт [4] в процесі будівництва та реконструкції лісових доріг виникає потреба у багаторазових вимірюваннях геометричних розмірів (наприклад, за допомогою мірної геодезичної стрічки) та ухилів (наприклад, за допомогою гравітаційного інклінометра) їх конструкційних елементів, зокрема під час вимірювання параметрів, які "характеризують якість дорожньо-будівельних робіт та підтверджують відповідність чинним нормативним вимогам".

Досить зручним є використання розробленого приладу також під час діагностування, інженерних вишукувань і обстежень в процесі експлуатаційного утримання лісових доріг з метою формування дефектних актів та інших документів, необхідних для встановлення потреби у ремонті їх конструкційних елементів (зокрема, комплексно окремих ділянок будови, водопропускних і укріпних споруд тощо), призначенні виду ремонту, визначенні складу і обсягів робіт, а також під час безпосереднього виконання дорожньо-ремонтних робіт.

Із застосуванням вищезазначеного устаткування та інструменту в результаті виконання експериментальних досліджень виконано вимірювання ухилів конструкційних елементів лісової автомобільної дороги в Суходільському лісництві держаного підприємства "Бібрське лісове господарство" (рис. 3 – 10) та їх порівняння з даними технічної документації [5] й

нормативними даними, наведеними у табл. 1 з урахуванням допустимих відхилень.

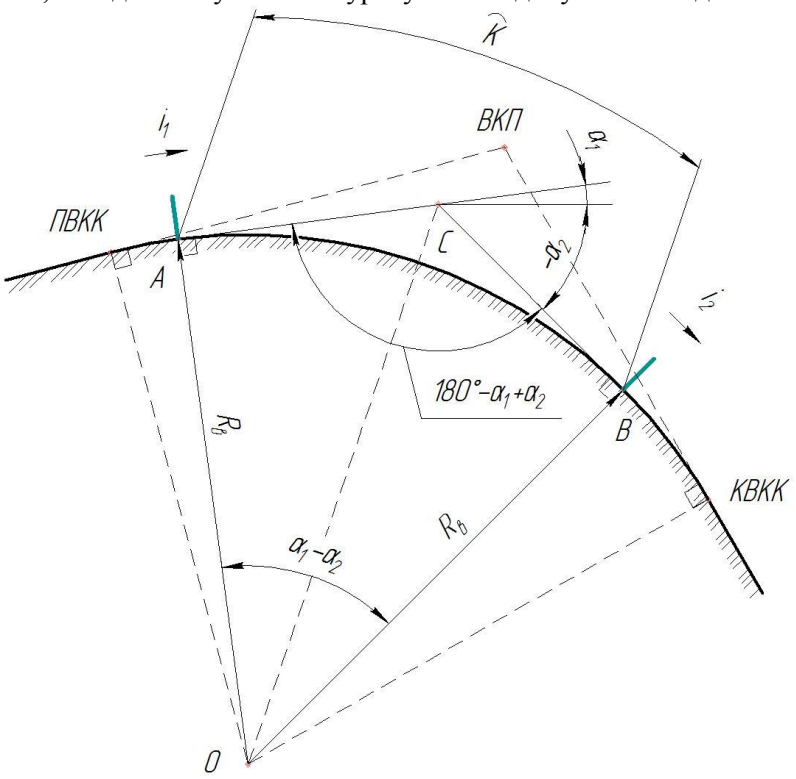

Рис. 2. Розрахункова схема для вимірювання ухилів кривих ділянок трас лісових автомобільних доріг: *ПВКК* і *КВКК* - відповідно початок і кінець вертикальної колової кривої; *ВКП* - вершина кута повороту; *О* - центр кривини (вертикальної кривої).

Величини допустимих відхилень вимірюваних параметрів (табл. 1) встановлено згідно з рядом рекомендацій [6] та з урахуванням науково обґрунтованих напрацювань в суміжних галузях [7].

На рис. 11. показано значення радіуса кривини траси лісової автомобільної дороги у вертикальній площині, які отримано шляхом розрахунку відповідно до формули (3) й даних вимірювань у польових умовах.

На рис. 3 – 11 використано ряд позначень і наведено значення величин таких технічних норм проектування і будівництва лісової дороги: проектне – значення параметра відповідно до технічної документації; факт – числове значення вимірюваної величини; ліве, праве – характеристика розташування місця вимірювання відносно осі дороги при русі у вантажному напрямку; в. м. доп., н. м. доп. – відповідно верхня та нижня межа допустимого відхилення; в. м. недоп., н. м. недоп. – відповідно верхня та нижня межа недопустимого відхилення; $i_{з.п.}$ - ухил поверхні земляного полотна у поперечному напрямку, ‰; $m_{н.}$ – коефіцієнт стрімкості укосу земляного полотна у поперечному напрямку; $i_{кан.}$ – ухил дна бокової водовідвідної канави у поздовжньому напрямку, ‰; $i_{д.о.}$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку, ‰; $i_{узб.}$ – ухил поверхні узбіччя у поперечному напрямку, ‰; $i_{позд.}$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку, ‰; $i_{осн.}$ – ухил поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку, ‰; $i_{в.}$ – ухил поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку, ‰; $l_{тр.}$ – відстань від початку траси лісової дороги до місця вимірювання параметра, м.

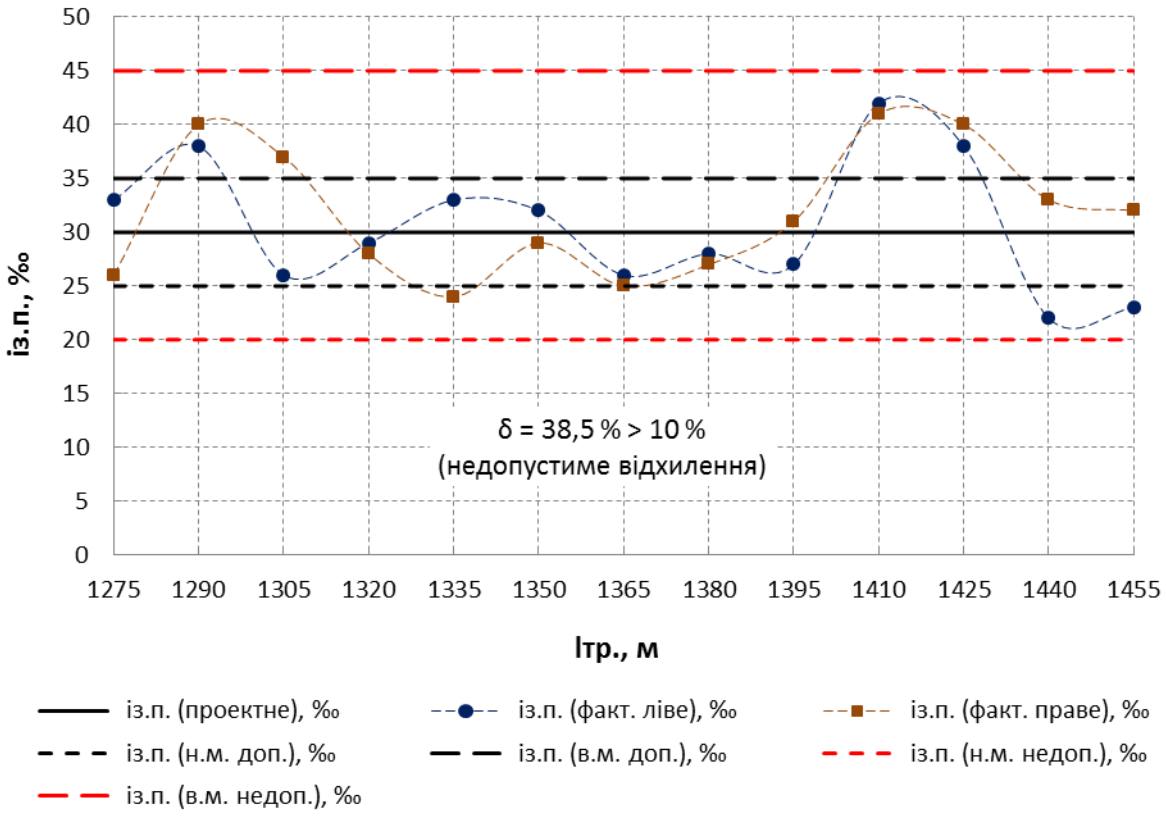

Рис. 3. Результати вимірювання ухилів поверхні земляного полотна у поперечному напрямку.

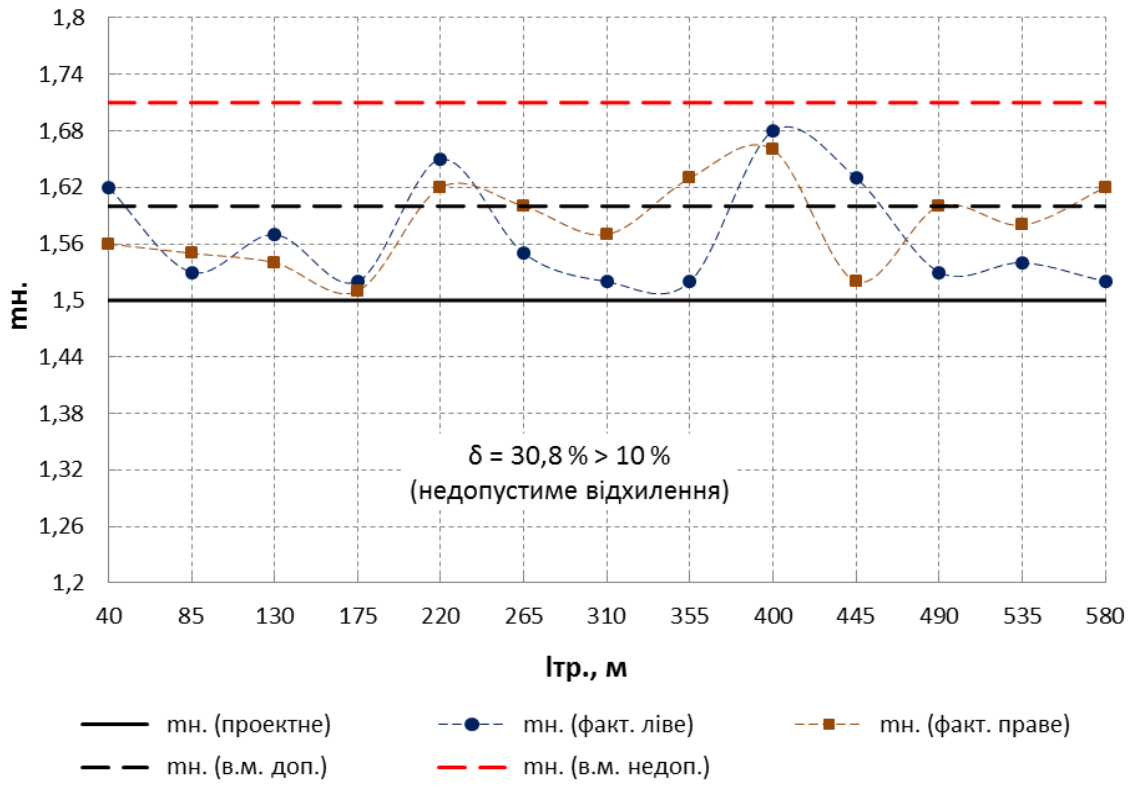

Рис. 4. Результати вимірювання стрімкості укосів земляного полотна у поперечному напрямку.

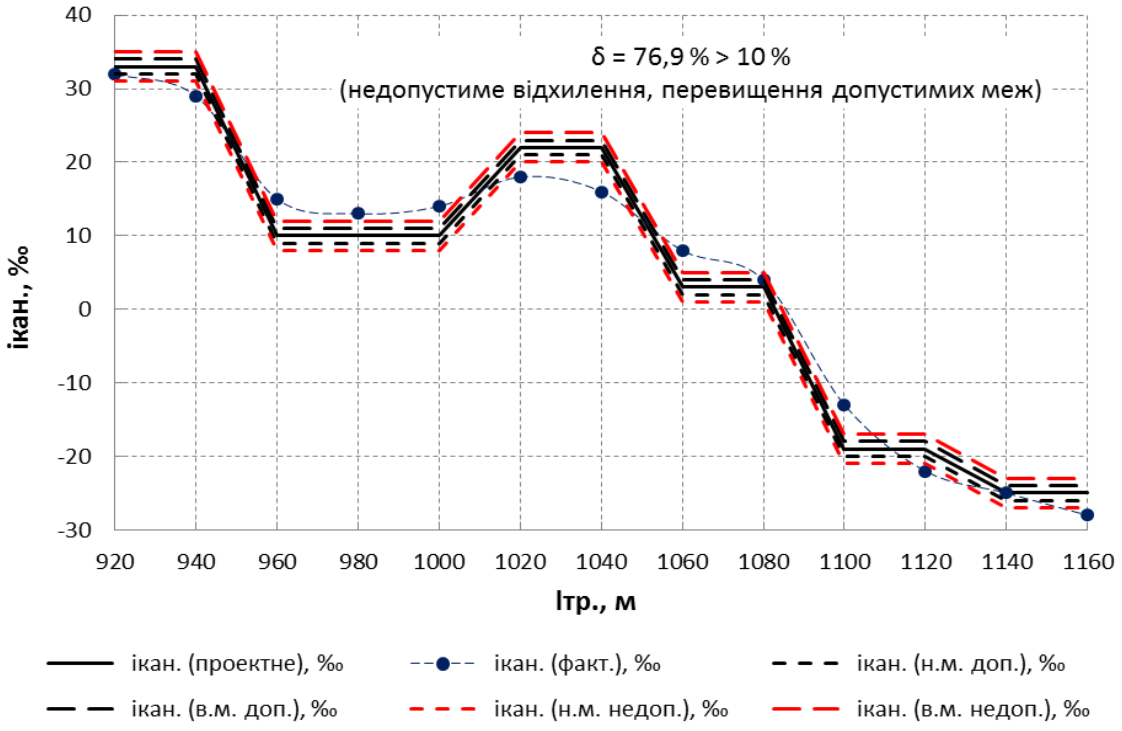

Рис. 5. Результати вимірювання ухилів дна бокових водовідвідних канав у поздовжньому напрямку.

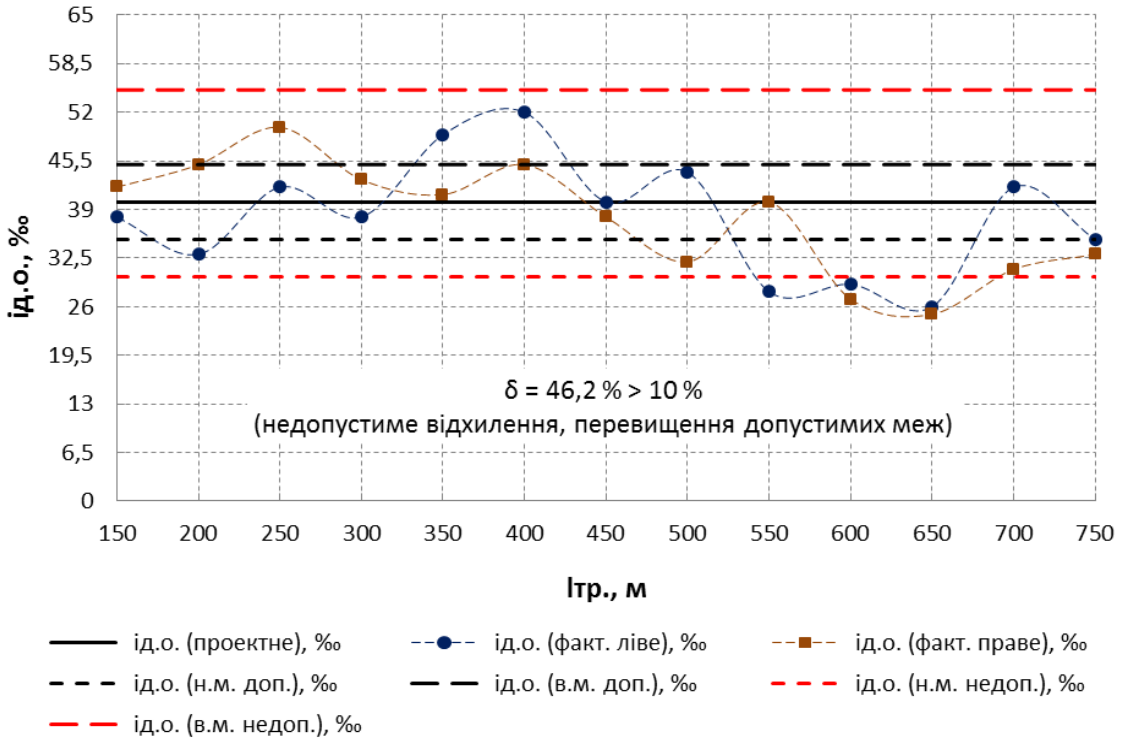

Рис. 6. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку.

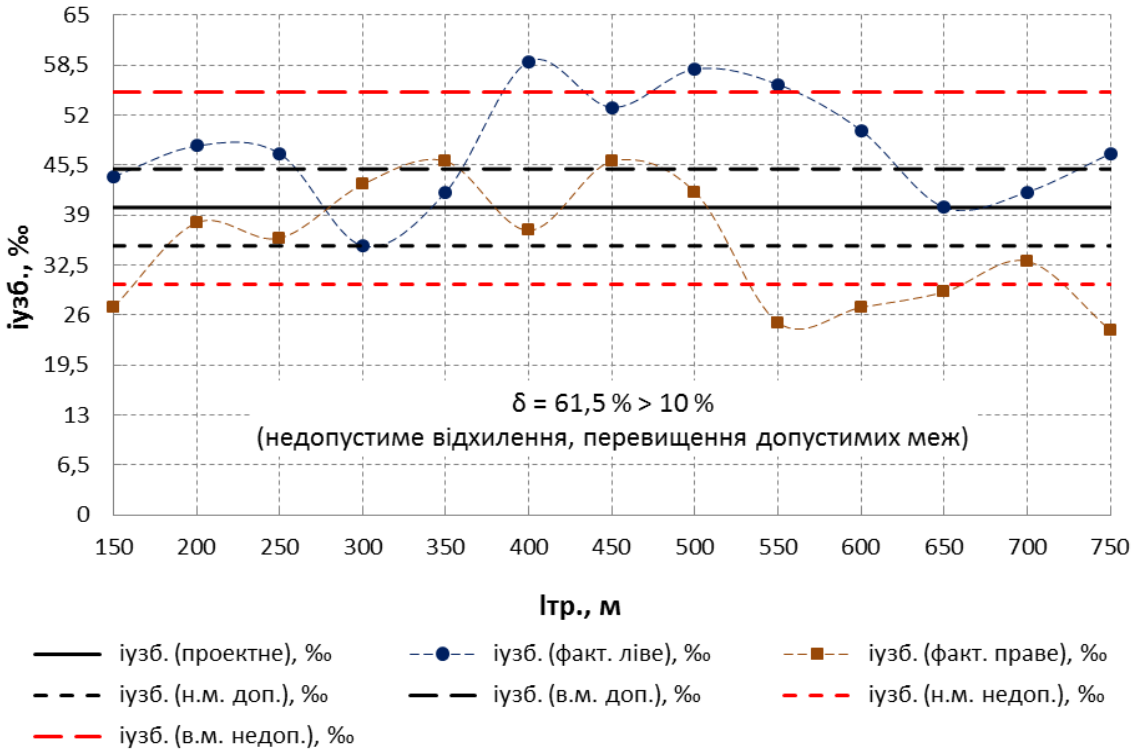

Рис. 7. Результати вимірювання ухилів поверхні узбіч у поперечному напрямку.

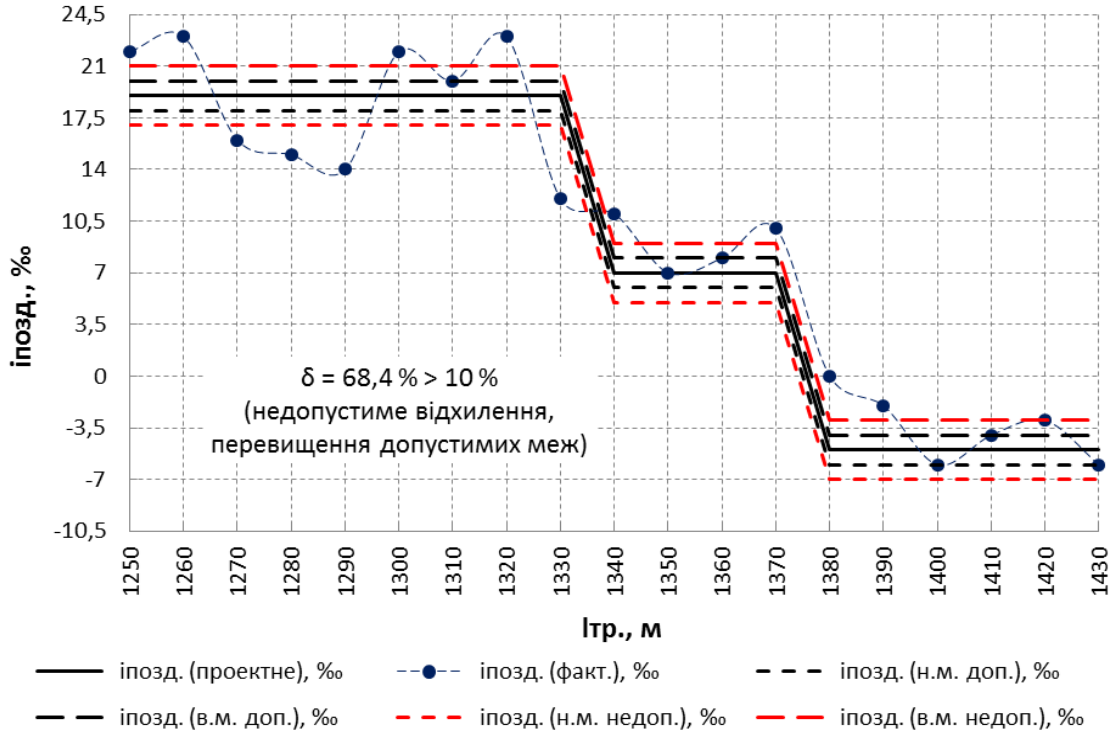

Рис. 8. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку.

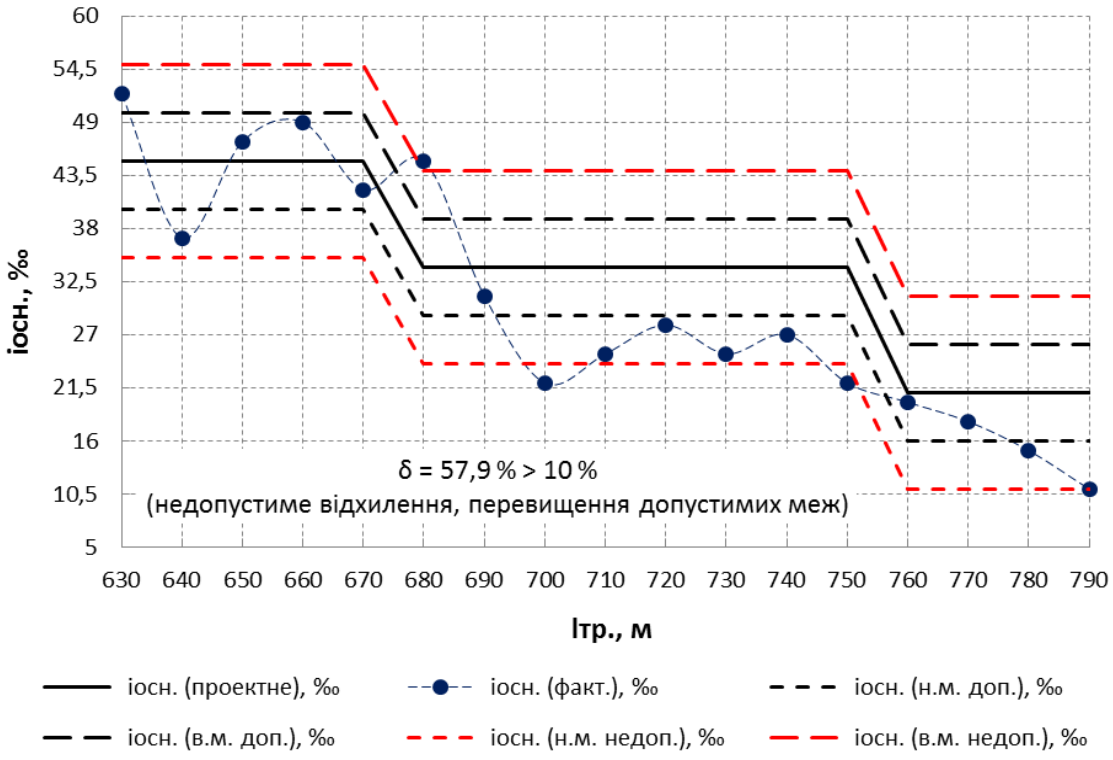

Рис. 9. Результати вимірювання ухилів поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку.

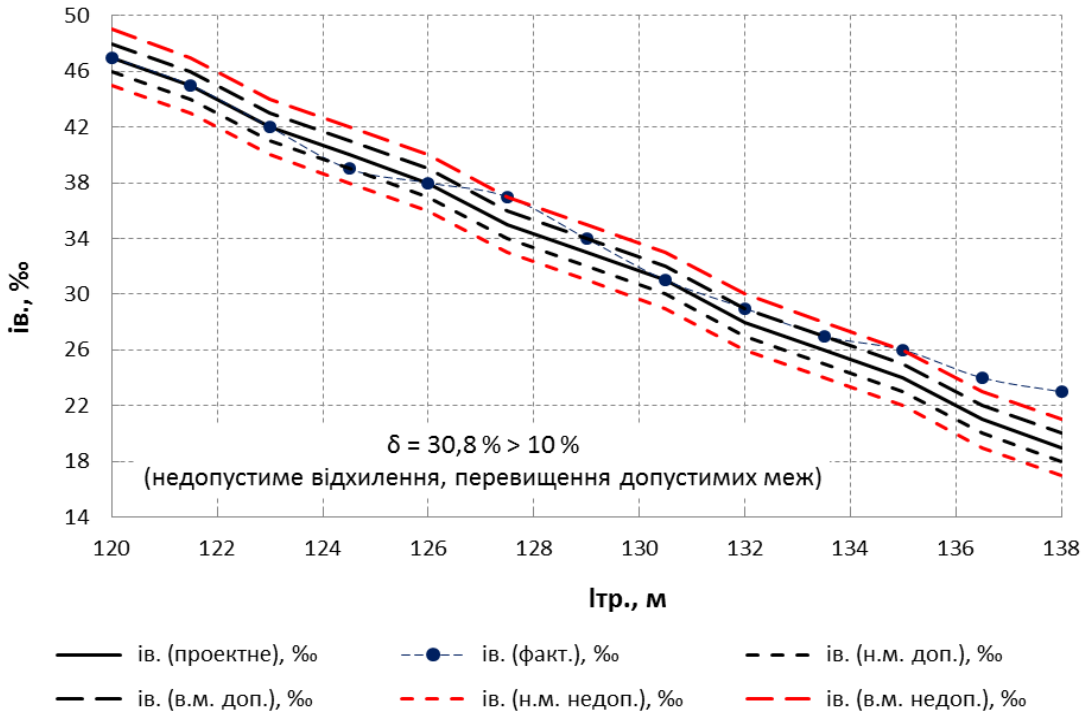

Рис. 10. Результати вимірювання ухилів поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку.

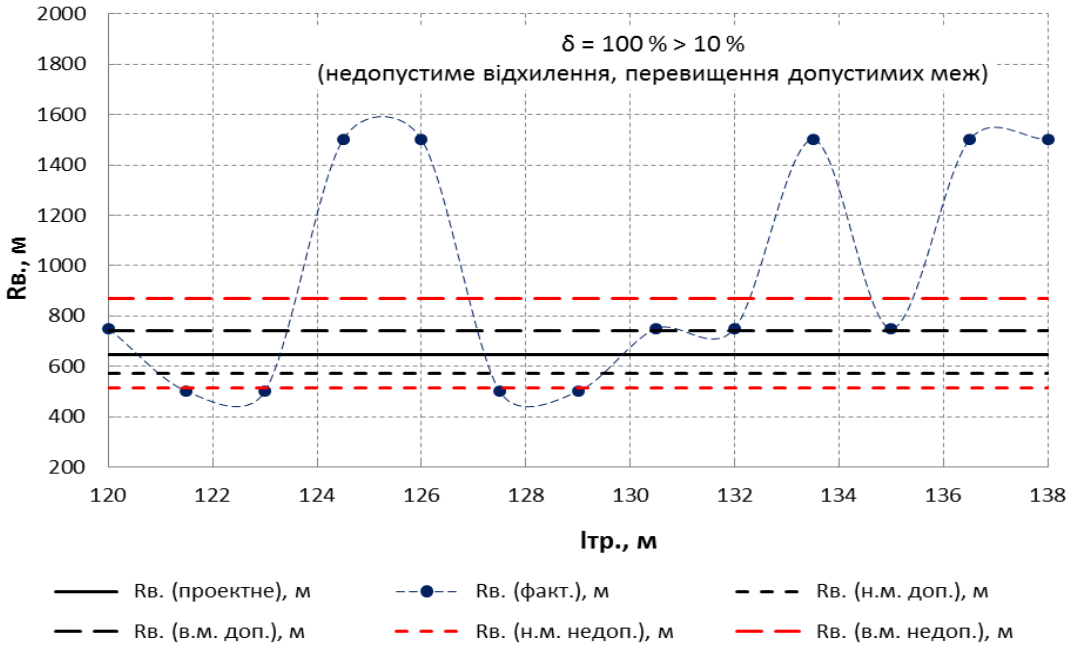

Рис. 11. Числові значення радіуса кривини траси лісової дороги у вертикальній площині, обчислені на основі результатів вимірювання ухилів її локальних ділянок.

Таблиця 1

Параметри контролю конструкційних елементів лісової дороги

Конструкційний елемент, вид робіт і параметр, який підлягає контролю	Кількість вимірів та місце вимірювання (нормативні вимоги)	Значення параметра	
		проектне	допустиме
1	2	3	4
Ухил поверхні земляного полотна у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 15 м (не менше двох вимірів на смузі руху через кожних 100 м)	30 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 20 … 45 ‰ (від – 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 25 … 35 ‰ (від – 5 ‰ до + 5 ‰)
Стрімкість укосів земляного полотна у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 45 м (не менше двох вимірів з обох боків насипу або виїмки через кожних 100 м)	1,5	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах до 1,71 (зменшення стрімкості до 10 %)
			решта результатів контрольних вимірів в межах до 1,6 (зменшення стрімкості до 5 %)
Ухил дна бокової водовідвідної канави у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 20 м по осі канави (не менше одного виміру на 20 м споруди)	-25 … 33 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень

Ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 50 м (не менше одного виміру через кожних 100 м)	40 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 30 … 55 ‰ (від – 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 35 … 45 ‰ (від – 5 ‰ до + 5 ‰)
Ухил узбіччя у поперечному напрямку	2 виміри з обох боків від осі дороги через кожні 50 м (не менше двох вимірів на обох напрямках руху через кожних 100 м)	40 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 30 … 55 ‰ (від – 10 ‰ до + 15 ‰)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 35 … 45 ‰ (від – 5 ‰ до + 5 ‰)
Ухил поверхні покриття дорожнього одягу у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 10 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 100 м)	-5 … 19 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 2 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 1 см)
Ухил поверхні ґрунтової основи (земляного полотна) у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 10 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 100 м)	21 … 45 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 10 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 10 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 5 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 5 см)
Ухил поверхні покриття дорожнього одягу в межах вертикальної кривої у поздовжньому напрямку	1 вимір через кожні 1,5 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 10 м)	19 … 47 ‰	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах ± 2 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 2 см)
			решта результатів контрольних вимірів в межах ± 1 ‰ від проектних значень (для висотних відміток ± 1 см)
Радіус кривини ділянки траси у вертикальній площині	1 вимір через кожні 1,5 м по осі дороги (не менше одного виміру через кожних 10 м)	645 м	до 10 % результатів контрольних вимірів в межах 512,79 … 869,1 м (– 20 % … + 35 %)
			решта результатів контрольних вимірів в межах 571,34 … 740,46 м (– 11 % … + 15 %)

Висновки. Розроблено рекомендації щодо вимірювання ухилів конструкційних елементів лісових доріг та локальних ділянок місцевості із застосуванням попередньо розробленого та виготовленого гравітаційного інклінометра маятникового типу. При цьому зазначено особливості використання приладу для вимірювання ухилів прямих та локальних вертикальних кривих ділянок трас лісових автомобільних доріг, а також визначення ухилів ділянок місцевості значної протяжності.

Із застосуванням запропонованого приладу (інклінометра) проведено експериментальні

дослідження і наведено результати вимірювань ухилів конструкційних елементів лісової автомобільної дороги: поверхні земляного полотна (у поперечному та поздовжньому напрямках), укосів земляного полотна (у поперечному напрямку), водовідвідних канав (у поздовжньому напрямку), поверхні покриття дорожнього одягу (у поперечному та поздовжньому напрямках), поверхні узбіч (у поперечному напрямку), а також ухилів локальних вертикальних кривих ділянок її траси.

Отримані результати вимірювань порівняно з даними технічної документації на будівництво лісової автомобільної дороги та допустимими нормативними відхиленнями. На цій основі зроблено висновки щодо допустимості чи недопустимості відхилень фактичних геометричних параметрів конструкційних елементів лісової дороги від проектних значень, а також щодо наявного перевищення встановлених нормативними вимогами допустимих меж.

Опрацьована процедура багаторазових технічних вимірювань ухилів конструкційних елементів лісових доріг може бути рекомендована для попереднього оцінювання стану об'єктів лісової інфраструктури, зокрема для лісових доріг постійної та тимчасової дії, а також виконання технологічних процесів підготовчих, допоміжних, основних та опоряджувальних робіт під час дорожнього будівництва, експлуатаційного утримання, ремонту та реконструкції. Таким чином, у виробничих умовах раціонально використовуватимуть сучасні електронні геодезичні прилади, високоточний інструмент і спеціалізоване програмне забезпечення.

Інформаційні джерела

1. Рудько І. М. Розроблення конструкції та обґрунтування параметрів інклінометра для вимірювання ухилів технічних елементів лісових доріг // Перспективні технології та прилади. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – Вип. 11 (2). – С. 93 – 100.
2. Пеньков В. О. Моделювання проявів локальної кривизни при техногенному впливі на дороги // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – Вип. 52. – К.: КНУБА, 2014. – С. 305 – 310.
3. Гайдар М. О. Проектування лісовозних автомобільних доріг. – Львів: Вища школа. Видавництво при Львівському державному університеті, 1982. – 231 с.
4. 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.
5. Технічна документація будівництва лісової автомобільної дороги в Суходільському лісництві ДП "Бібрське лісове господарство" / ФОП Стиранівський О. А. – Том 1. Пояснювальна записка. Відомості і робочі креслення. – Львів, 2014. – 33 с.
6. Медвідь С., Ковтун Й., Сасюк В. Будівництво лісових автомобільних доріг: методичні вказівки з розроблення технологічних карт будівництва дорожніх одягів. – Львів: НЛТУ України, 2006. – 83 с.
7. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3-4:2015 / ДП "ДерждорНДІ", Укр. держ. ін-тут з проектув. об'єктів дор. г-ва, ТОВ "Дорожні інноваційні технології", ТМ "Стандартпарк" // Затверджені Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 234 від 21.09.2015 р. – [Чинні від 2016-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 104 с. – (Державні будівельні норми України).

Рудько И.М., к.т.н., Барыляк В.В., к.т.н., Цымбалюк Ю.И., к.т.н.
Национальный лесотехнический университет Украины

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УКЛОНОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИТАЦИОННОГО ИНКЛИНОМЕТРА МАЯТНИКОВОГО ТИПА

Рассмотрены особенности процесса измерения уклонов технических элементов лесных дорог с применением разработанной конструкции гравитационного инклинометра маятникового типа. Обработано методику измерения уклонов поверхностей локальных участков местности и участков местности значительной протяженности.

Проведены в полевых условиях измерения уклонов технических элементов лесной дороги,

© Рудько І. М., к.т.н., Бариляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.

в частности земляного полотна, водоотводных канав, дорожной одежды (проезжей части и обочин). Экспериментальные исследования проведены на прямых и вертикальных кривых участках трассы лесной дороги.

На основе приобретенного опыта эксплуатации прибора разработаны рекомендации по его рациональному использованию при строительстве, реконструкции и ремонте лесных дорожных сетей.

Ключевые слова: *инклинометр маятникового типа, измерения, уклон, лесная дорога, технический элемент.*

I. Rudko, V. Barylyak, Yu. Tsymbalyuk
Ukrainian National Forestry University

PECULIARITIES OF MEASURING THE SLOPES OF STRUCTURAL ELEMENTS OF FOREST ROADS WITH THE USE OF THE GRAVITATIONAL INCLINOMETER OF THE PENDULUM TYPE

Peculiarities of the process of measuring the slopes of technical elements of forest roads using the developed design of a pendulum-type gravitational inclinometer are considered. The method for measuring the slopes of the surfaces of local sites and areas of a considerable extent has been processed.

In the field, measurements were made of the slopes of the technical elements of the forest road, in particular the roadbed, drainage ditches, pavement (roadway and roadside). Experimental studies were carried out on the straight and vertical curves of the forest road route.

Based on the experience gained in operating the device, recommendations have been developed for its rational use in the construction, reconstruction and repair of forest road networks.

Keywords: *inclinometer of pendulum type, measurements, slope, forest road, technical element.*

Стаття надійшла до редакції 07.09.2018

© Рудько І. М., к.т.н., Бариляк В. В., к.т.н., Цимбалюк Ю. І., к.т.н.