

УДК 630.383

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-16

Рудько І.М., к.т.н., Бакай Б.Я., к.т.н., Баріляк В.В., к.т.н.

Національний лісотехнічний університет України

## ВИЗНАЧЕННЯ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ РАДІУСІВ КРИВИХ ДІЛЯНОК ТРАС ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЛІСОПРОМИСЛОВОГО ТА ЛІСОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуто проблему технічного обліку й паспортизації мереж технологічних автодоріг лісогосподарських підприємств України. Зазначено потребу встановлення у польових умовах фактичних параметрів наявних лісових шляхів, оскільки не на усіх галузевих підприємствах є необхідна достовірна технічна інформація. Також з загальної проблеми виділено її складову частину, обумовлену потребою оперативного визначення характеристик планів трас наявних лісових доріг, зокрема й радіусів кривизни кривих ділянок.*

*У процесі аналізу публікацій результатів наукових досліджень за даною тематикою встановлено, що у суміжних галузях для визначення радіусів горизонтальних кривих ділянок доріг апробовано ряд методів, що мають певні переваги й недоліки у конкретних природно-виробничих умовах і різні значення показників точності, вартості, безпечності й простоти використання. Для визначення радіусів кривих ділянок трас лісових автодоріг рекомендовано використовувати метод фіксації кутів відхилення хорд, який є достатньо точним для інженерних розрахунків й не потребує застосування спеціального устаткування. З використанням запропонованого методу й наявних на підприємстві вимірювальних засобів проведено експериментальні дослідження. На основі набутого досвіду сформовано рекомендації щодо раціонального організування робіт у польових умовах.*

**Ключові слова:** метод фіксації кутів відхилення хорд, вимірювання, радіус, інструмент, лісова дорога.

**Постановка проблеми.** На тепер перед лісовим господарством і лісопромисловим виробництвом України постають актуальні проблеми планування розвитку мереж лісових доріг й розроблення оптимальних схем транспортного освоєння лісових масивів. На перших етапах цих процесів необхідно у польових умовах встановити фактичні параметри ряду показників для наявних автомобільних доріг чи шляхів для інших спеціалізованих видів наземного транспорту [1, 2] (на галузевих підприємствах технічні паспорти є не для всіх лісових доріг, окрім того, не в усіх технічних паспортах на інженерні споруди відображена достовірна інформація про фактичний стан їх технічних елементів).

Тому на етапах дорожньої реконструкції або паспортизації у виробничих умовах часто виникає потреба визначення основних технічних параметрів наявних об'єктів дорожньої інфраструктури загалом та характеристик розгорнутого (умовного) плану траси окремої ділянки лісового шляху зокрема [3, 4]. Одним з основних елементів, котрий характеризує криві ділянки плану лісової дороги, є радіус кривизни (стала величина для колових кривих і змінна – для перехідних) [5].

Також згідно з вимогами [6] під час виконання польових робіт необхідно систематично встановлювати сумарну протяжність доріг з радіусами кривих, які є меншими, ніж допустимі для даної категорії (типу) лісової дороги. При цьому радіуси кривих ділянок трас рекомендовано встановлювати за проектною і робочою документацією, а у разі її відсутності – з застосуванням геодезичних інструментів (методи та засоби вимірювання зазначеною інструкцією не регламентовані).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для визначення радіусів колових ділянок трас лісових доріг у польових умовах використовують ряд методів, що мають певні переваги й недоліки у конкретних природно-виробничих умовах і різні значення показників точності, вартості, безпечності й простоти використання.

Найпростішим чином [7, 8] радіус колової кривої  $R$  визначають залежно від висоти сегмента кола  $f_n$ , стягнутого хордою  $l$  (рис. 1),

$$R = \frac{f_n}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot f_n}. \quad (1)$$

Оскільки перший доданок у формулі (1) є значно меншим, порівняно з другим доданком, то зазвичай цією величиною під час інженерних розрахунків нехтують, вважаючи, що  $f_n/2 \rightarrow 0$ . Тому на практиці для визначення радіуса здебільшого використовують формулу

$$R \approx \frac{l^2}{8 \cdot f_n}.$$

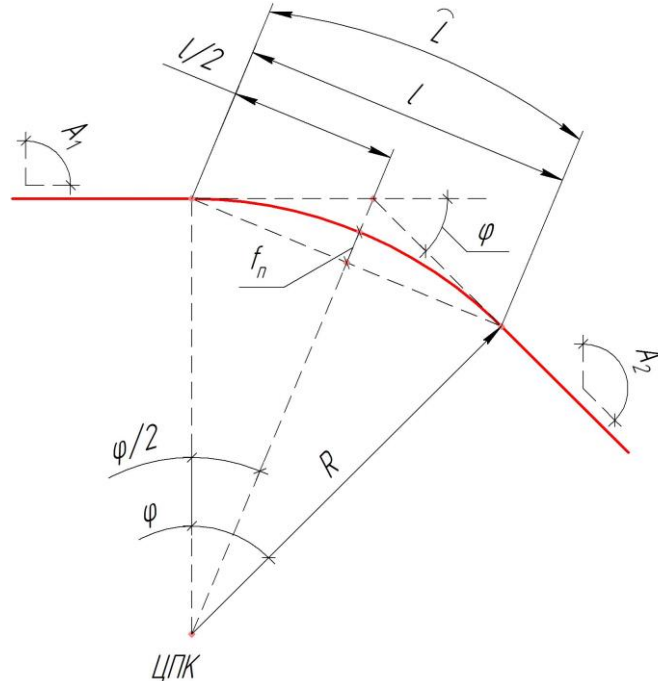


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення радіуса колової кривої  $R$  залежно від висоти сегмента кола  $f_n$ , стягнутого хордою  $l$  (ЦПК – центр повороту кривої)

Довжину хорди  $l$  приймають рівною 10...30 м залежно від величини радіуса  $R$  й довжини кривої ділянки траси  $\hat{L}$ . Процедуру вимірювання повторюють для декількох різних точок на дорозі (зазвичай приймають не менш як 5 опорних станцій, рівновіддалених одна від одної) й в кінцевому результаті обчислюють середнє арифметичне з розрахованих значень  $R$ .

Недоліками такого методу визначення радіуса колової кривої  $R$  є потреба залучення кількох (двох-трьох) людей до процесу вимірювання параметрів траси автодороги, можливі труднощі під час визначення положення осьової лінії (за умови відсутності твердого покриття), доцентрове зміщення стрічки між опорними станціями, а також визначальний вплив на результати обчислень ймовірних неточностей вимірювання серединного зміщення  $f_n$ .

Іншим поширеним методом визначення радіуса кривої  $R$  є достатньо простий щодо організування й технічного забезпечення так званий метод компаса [8, 9]. Суть цього методу полягає у вимірюванні довжини кривої проїзної частини  $\hat{L}$  з одночасною фіксацією зміни напрямку руху. Довжину кривої ділянки дороги  $\hat{L}$  зазвичай визначають вимірювальним колесом (курвіметром, одометром). Напрямок руху по кривій (азимуту) у такому разі фіксують компасом (рис. 1). Зміну напрямку руху характеризує кут  $\varphi$  (град.), який визначають залежно від чверті й різниці азимутів  $A_2$  та  $A_1$  (у кінцевій та початковій точках).

Згодом радіус кривої  $R$  обчислюють згідно з формулою ( $57,3^0 \approx 180^0 / \pi$ )

$$R = 57,3^0 \cdot \frac{\hat{L}}{\varphi}. \quad (2)$$

З практичного погляду у польових умовах легше і безпечніше проводити вимірювання такими приладами як компас і вимірювальне колесо, ніж мірною стрічкою (з винесенням її частини за межі полотна дороги). Крім того, для процесу вимірювання у такому разі не потрібно залучати інших людей й немає потреби виходити на узбіччя чи переміщатись за його зовнішні межі.

Недоліком такого методу визначення радіуса колової кривої  $R$  є точність вимірювань (азимуту на місцевості зазвичай визначають з точністю  $1^\circ$  (інколи  $0,5^\circ$ ), а довжину кривої ділянки дороги  $\widehat{L}$  – з точністю  $2 \dots 10 \text{ см} / 100 \text{ м}$ ).

Відомою є розроблена в Техаському транспортному інституті мобільна система "Радіусметр", яка дозволяє фіксувати параметри процесу проходження транспортним засобом горизонтальних кривих плану, обробляти дані GPS в автоматичному режимі за допомогою мікроконтролера й обраховувати значення локального радіуса кривої ділянки шляху [8]. Таку мобільну систему можна встановити на будь-якому транспортному засобі, що рухатиметься з довільною швидкістю, зокрема й у звичному потоці руху машин.

Аналогічні мобільні системи (але здебільшого на базі смартфонів), які оснащені давачами GPS, гіроскопами й акселерометрами для фіксування зміни доцентрового прискорення об'єкта у режимі реального часу, використовують в ряді країн під час формування детальних баз даних інвентаризації проїзних селищних доріг загального користування [10, 11, 12].

Перевагою таких мобільних систем є можливість опрацювання великих масивів інформації й використання їх як альтернативних технологій до основних методик, а недоліками – точність отриманих результатів (особливо для відомчих автодоріг з перехідним та нижчим типами покриття й нерівностями поверхні дорожнього одягу), технологічна складність і вартість (як для неспеціалізованих підприємств).

У роботі [8] також наведені результати експериментальних досліджень й аналіз основних десяти комбінованих методів визначення радіусів горизонтальних кривих ділянок трас сільських доріг у польових умовах стосовно їх точності, вартості, безпечності й простоти використання. У цій праці зокрема наведено важливий висновок про те, що для різних підприємств і служб (як-от транспортних агентств, експертів з технічного розслідування дорожньо-транспортних пригод, катастроф та аварій на автомобільному транспорті, інженерів, проєктантів і будівельників, науковців-дослідників у галузі транспорту тощо) прийнятними є різні методи, що обумовлено кінцевою метою й прийнятним рівнем точності та затрат.

**Постановка завдання.** Зважаючи на потребу оперативного визначення у польових умовах радіусів кривизни кривих ділянок трас технологічних автомобільних доріг лісопромислового та лісогосподарського призначення, а також з урахуванням рівня технічного оснащення вітчизняних лісогосподарських підприємств, особливостей виконання робіт неспеціалізованими бригадами й ланками робітників, обґрунтувати теоретичні засади, методологічний підхід і рекомендації щодо раціонального організування вищезазначених робіт у польових умовах.

**Викладення основного матеріалу.** Раціональним для визначення у рівнинних та горбистих умовах лісоексплуатації (а також за сприятливих обставин й у гірських умовах) радіусів кривих ділянок трас лісових доріг є застосування методу фіксації кутів відхилення хорд (рис. 2а), який є достатньо точним для інженерних розрахунків й не потребує використання спеціального устаткування. В інженерній практиці ряду зарубіжних країн [4] послуговуються модифікованими версіями цього методу з використанням довідкових даних, зведених в таблиці залежно від радіуса кривої  $R$  (користування такими табличними базами даних не завжди є достатньо зручним).

Для безпосереднього вимірювання кутів відхилення хорд у польових умовах раціонально використовувати спеціальні компаси або інші прилади, для вимірювання відстаней на місцевості – рулетки чи мірні стрічки.

Теоретичною основою застосування вищезазначеного методу є такий підхід. Відповідно до рис. 2б кут при основі рівнобедреного трикутника становить  $90^\circ - \varphi / 2$  (оскільки сума кутів трикутника рівна  $180^\circ$ )

$$90^\circ - \varphi / 2 + 90^\circ - \varphi / 2 + \varphi = 180^\circ .$$

Також відповідно до наведених даних

$$90^\circ - \varphi / 2 + 90^\circ - \varphi / 2 + \beta_2 - \beta_1 = 180^\circ ,$$

де  $\beta_1, \beta_2$  – кути відхилення хорд, град.

Звідси величина центрального кута  $\varphi$  становитиме

$$\varphi = \beta_2 - \beta_1 = \Delta\beta. \quad (3)$$

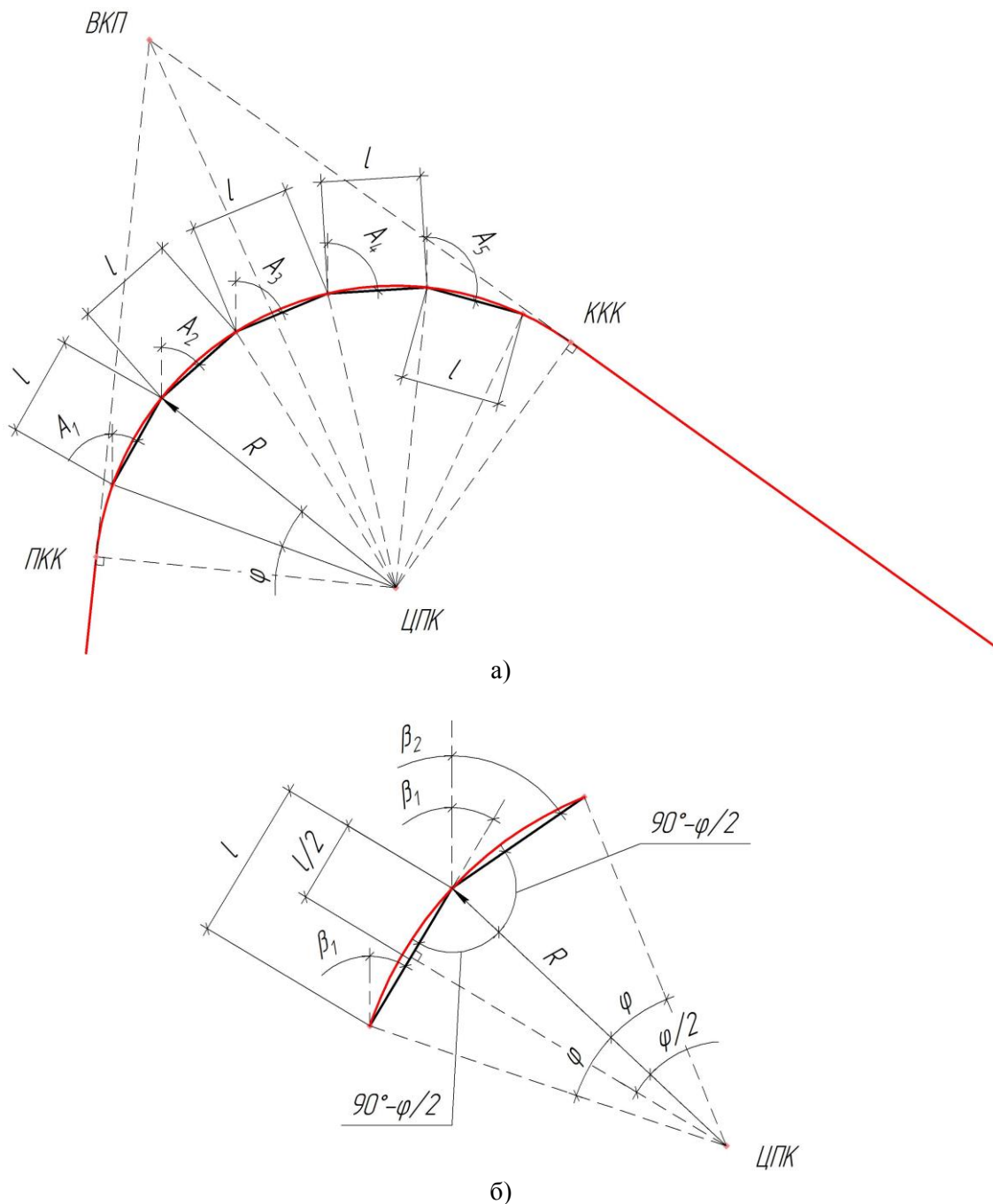


Рис. 2. Розрахункові схеми для застосування методу фіксації кутів відхилення хорд:

а – принципова схема, б – загальна схема;

ПКК – початок колової кривої; ККК – кінець колової кривої; ВКП – вершина кута повороту;  $A_i$  – азимут, град.

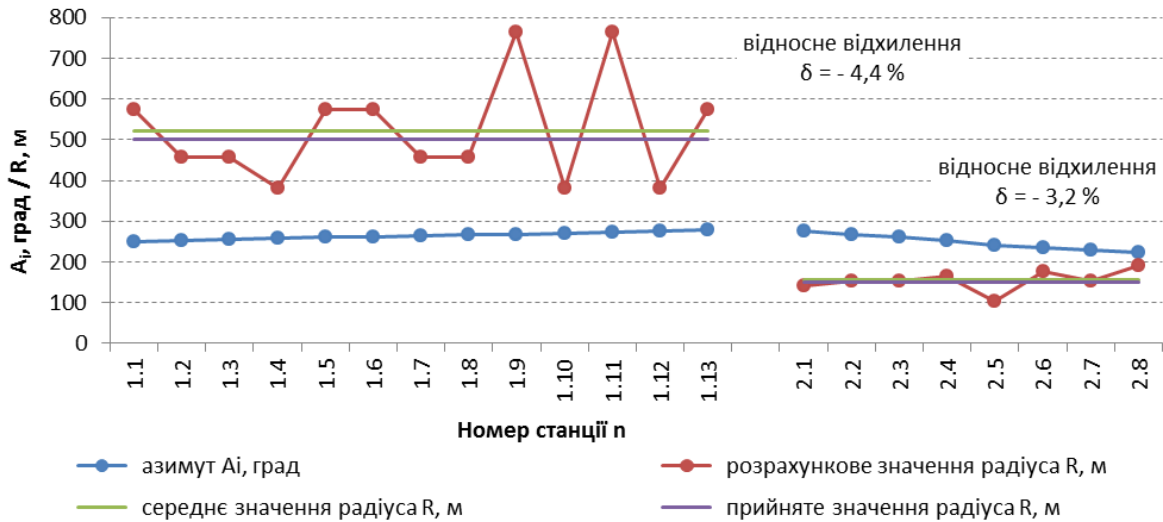
Оскільки  $\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{l}{2 \cdot R}$ , то

$$R = \frac{l}{2 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{l}{2 \cdot \sin \frac{\Delta\beta}{2}}. \quad (4)$$

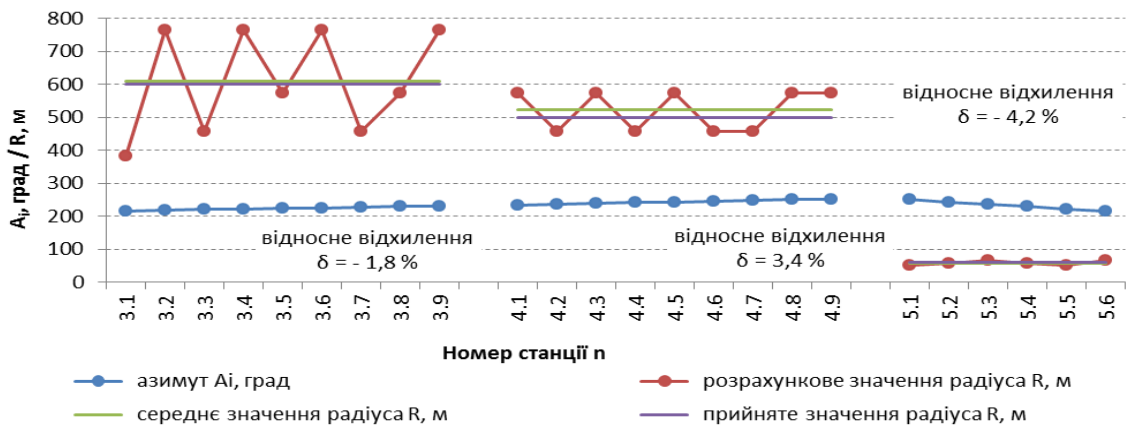
Довжину хорди  $l$  варто приймати, орієнтуючись на величину радіуса кривої  $R$ : при  $R < 100$  м  $l \approx 5$  м, при  $R = 100 \dots 500$  м  $l \approx 10$  м, при  $R > 500$  м  $l \approx 20$  м, але з таким розрахунком, щоб для кожної ділянки кривої припадало не менш як 5 опорних станцій.

Відповідно до положень вищезазначеного методу проведено ряд безпосередніх вимірювань в польових умовах Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату ДВНЗ "Національний лісотехнічний університет України.

Результати камеральних робіт та проведених обчислень показано на рис. 3 (різниця кутів відхилення хорд ( $\Delta\beta$ ) для 1-шої кривої ділянки склала 1 ... 3 град., для 2-тої – 4 ... 11 град., для 3-тньої – 1,5 ... 2,5 град., для 4-тої – 1 ... 2,5 град., для 5-тої – 4 ... 8 град. За потреби обчислене значення радіуса колової кривої допустимо заокруглювати до найближчого цілого числа, кратного 5 (10) м, але з відхиленням не більш як 5 % (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Результати визначення величин радіусів кривих ділянок траси технологічної автомобільної дороги лісогосподарського призначення (грунтового проїзду) у польових умовах:

- а) – станції 1.1 ... 1.13 (1-ша ділянка), 2.1 ... 2.8 (2-га ділянка);
- б) – станції 3.1 ... 3.9 (3-тя ділянка), 4.1 ... 4.9 (4-та ділянка), 5.1 ... 5.6 (5-та ділянка)

Для вимірювання магнітних азимутів (румбів) прямих ділянок траси технологічної автомобільної дороги лісогосподарського призначення (грунтового проїзду) та кутів відхилення хорд у природно-виробничих умовах лісогосподарського підприємства використано ручну бусоль Шмалькальдера БШ 1 (встановлену на легкому штативі), для якої характерна достатньо висока точність (поділки на ній нанесені через  $1^\circ$ , а точність вимірювання становить  $0,5^\circ$ ) та швидкість роботи, порівняно з компасом. У конструкції бусолі лімб скріплений із стрілкою і

повертається разом із нею. Два діоптри скріплені із корпусом, тому при візуванні азимут можна отримати одразу на лімбі. Однак, кутове значення значно краще знімати на очному діоптрі, зміщеному на  $180^\circ$  (через це північ лімба позначено на  $180^\circ$ , південь –  $0^\circ$ ). У процесі маршрутного знімання покази з бусолі знімають безпосередньо, дивлячись на віху: у нижній частині діоптра дзеркало відбиває покази лімба бусолі, що є прямим азимутом об'єкта знімання. Для зменшення ймовірності помилок варто проводити орієнтування з наступних станцій на попередню й визначати зворотній магнітний азимут, який відрізняється на  $180^\circ$  від прямого вимірюваного азимута в напрямку на дану станцію.

Для вимірювання лінійних розмірів методом безпосереднього порівняння в процесі польових досліджень використано рулетку Р20УЗК (3-го класу точності з міліметровою шкалою й довжиною стрічки 20 м).

**Висновки.** З метою визначення у польових умовах радіусів кривих ділянок трас технологічних автомобільних доріг лісопромислового та лісогосподарського призначення працівниками галузевих лісогосподарських підприємств може бути використаний метод фіксації кутів відхилення хорд, який є цілком придатним для виконання робіт у рівнинних та горбистих умовах лісоексплуатації (а також за сприятливих обставин й у гірських умовах) й не потребує застосування високоартісного геодезичного інструменту чи іншого спеціального устаткування.

Для вимірювання кутів відхилення хорд безпосередньо на місцевості раціонально використовувати спеціальні компаси або інші прилади з точністю вимірювання  $0,5^\circ$  і вище, для вимірювання відстаней – рулетки, мірні стрічки або інші прилади з точністю вимірювання 2 ... 10 см / 100 м і вище. Також для виконання польових робіт можна ефективно застосувати наявні на лісогосподарських підприємствах високоточні геодезичні інструменти (оптичні й лазерні нівеліри, оптичні й електронні теодоліти, електронні тахеометри тощо).

#### 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. Адамовський М. Г., Бакай Б. Я. Аналіз і перспективи використання трельовальних тракторів у лісовому комплексі України // Науковий вісник УкрДЛТУ: Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля. – Львів: УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 14.3. – С. 175 – 182.
3. Коржов В. Л., Кудра В. С., Тимчук Б. Й. Оцінка параметрів лісотранспортної мережі у гірських лісах (на прикладі ДП “Осмолодське лісове господарство”) // Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 13. – С. 210 – 216.
4. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Tom Ryan, Henry Phillips, James Ramsay, John Dempsey. – Dublin: COFORD, 2004. – 156 s.
5. Vatankhah A. R., Easa S. M., Mahdavi A. Alternative Solutions for Horizontal Circular Curves by Noniterative Methods // Journal of Surveying Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2013. – P. 111 – 119.
6. Инструкция по техническому учету и паспортизации лесных автомобильных дорог / ПКТИ Минлеспрома УССР // Утв. Минлесдревпромом УССР 23.01.1985 г. – К.: Минлесдревпром УССР, 1984. – 36 с.
7. Lynn B. Fricke. Traffic Accident Reconstruction. – Evanston: Northwestern University Traffic Institute, 1990. – 452 p.
8. Comparison of Radius-Estimating Techniques for Horizontal Curves / Carlson Paul J., Burris Mark, Black Kit, Rose Elisabeth R. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – Washington: NATL ACAD SCIENCES, 2005. – № 1918. – P. 76 – 83.
9. John C. Glennon, James R. Loumiet. Measuring Roadway Curve Radius Using the Compass Method // Motor-Vehicle Accident Investigation and Reconstruction Services. Crash Forensics. – 2003. – 3 p.
10. Wood Jonathan S., Zhang Shaohu. Identification and Calculation of Horizontal Curves for Low-Volume Roadways Using Smartphone Sensors / Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – Washington: NATL ACAD SCIENCES, 2018. № 2672. – P. 1 – 10.
11. Ai Chengbo, Tsai Yichang (James). Automatic Horizontal Curve Identification and

Measurement Method Using GPS Data // Journal of Transportation Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2015. – Vol. 141 (2). – P. 1 – 34.

12. Luo Wenting, Li Lin; Wang Kelvin C. P.. Automatic Horizontal Curve Identification and Measurement Using Mobile Mapping System // Journal of Surveying Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2018. – Vol. 144 (Issue 4). – P. 1 – 15.

**Рудько І.М., к.т.н., Бакай Б.Я., к.т.н., Барыляк В.В., к.т.н.**  
Національний лесотехнічний університет України

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ РАДИУСОВ КРИВЫХ УЧАСТКОВ ТРАСС ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рассмотрена проблема технического учета и паспортизации сетей технологических автодорог лесохозяйственных предприятий Украины. Отмечена потребность на первом этапе определения в полевых условиях фактических параметров существующих лесных дорог, поскольку не на всех отраслевых предприятиях есть необходима достоверная техническая информация. Также с общей проблемы выделена ее составная часть, обусловленная необходимостью оперативного определения характеристик планов трасс существующих лесных дорог, в частности и радиусов кривизны кривых участков.*

*В процессе анализа публикаций результатов научных исследований установлено, что в смежных отраслях апробирован ряд методик определения радиусов горизонтальных кривых участков дорог, имеющих определенные преимущества и недостатки в конкретных природно-производственных условиях и различные показатели точности, стоимости, безопасности и простоты использования.*

*Для определения радиусов кривых участков трасс лесных автодорог рекомендуется использовать метод фиксации углов отклонения хорд, который является достаточно точным для инженерных расчетов и не требует применения специального оборудования. С применением предложенного метода и имеющегося на предприятии измерительного инструмента проведены экспериментальные исследования. На основе приобретенного опыта сформированы рекомендации по рациональной организации работ в полевых условиях.*

**Ключевые слова:** метод фиксации углов отклонения хорд, измерения, радиус, инструмент, лесная дорога.

**I. Rudko, B. Bakay, V. Barylyak**  
Ukrainian National Forestry University

### **DETERMINATION IN FIELD CONDITIONS OF THE CURVES SECTIONS RADIUS OF THE TECHNOLOGICAL AUTOMOBILE ROADS FOR TIMBER AND FORESTRY PURPOSE**

*The problem of technical accounting and certification of technological roads networks of Ukrainian forestry enterprises was considered. The need for the first stage of determining the actual parameters of existing forest roads in the field was noted, since not all industry enterprises need reliable technical information. Also, with a general problem, its component part is distinguished, due to the need to quickly determine the characteristics of the alignment plans of existing forest roads, in particular, the radius of curvature of the sections curves.*

*In the analyzing process of the research scientific results publication, it was found that in related industries a number of methods have been tested for determining the radius of horizontal curves road sections that have certain advantages and disadvantages in specific natural working conditions and various indicators of accuracy, cost, safety and ease of use.*

*It is recommended to use the chord angle fixing method to determine the radius of forest road curves sections, which is accurate enough for engineering calculations and does not require the use of special equipment. Using the proposed method and the measuring instrument available at the enterprise, experimental studies were carried out. Based on the experience gained, recommendations for rational organization of work in the field were formed.*

**Keywords:** method for fixing chord deflection angles, measurements, radius, instrument, forest road.