

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ (193)

УДК 528.1

ГЕОДЕЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КРИВИХ

Кандидати техн. наук О. С. Саяпін, Є. Ф. Орел, С. М. Камчатна, О. М. Ужвієва

GEODESIC CONTROL OF THE PLANNED POSITION OF THE OUTSIDE CURVES

PhD (Tech.) O. Saiapin, PhD (Tech.) E. Orel, PhD (Tech.) S. Kamchatna,
PhD (Tech.) E. Uzhvieva (Uzhviieva)

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.189.2020.213653>

***Анотація.** Завдання забезпечення належної якості утримання залізничних кривих може бути вирішено шляхом створення спеціальних реперних систем на ділянках кривих. Наведено розрахунки для визначення величин зсувів у точках кривої для переміщення цих точок у проектне положення та послідовність їх закріплення. Виділено особливості застосування електронних тахеометрів під час приведення залізничних кривих до проектного положення, наведено технологію робіт.*

***Ключові слова:** залізничні криві, геодезичний контроль, реперні системи, електронний тахеометр.*

***Abstract.** Rail curves are the most vulnerable places on the rail in terms of design parameters violations. Existing approaches to the geodetic maintenance of the planned position of railway curves do not ensure the preservation of their design indicators. The way that can solve this problem is to create special benchmark systems on the sections of the curves. The main points of this system should be the vertices of the track or the points that allow you to determine the position of the vertex angle. More rational to date and far less costly is to set up local benchmark systems that are created for a single curve or group near the curves located.*

Created benchmark system in the future allows you to virtually exclude geodetic works from the current retention of the rail curve, reducing the control of its planned position to the measurements of distances from the benchmarks. These measures should be included in railway track reconstruction and repair projects. The definition of indentation in the plan can be made with respect to the chord that connects the intermediate points of the curve with the accepted interval of the breakdown. Calculations are made to determine the magnitudes of measurements within the transition and circular curves and the sequence of fixation of the value of displacements at the points of the curve to move these points to the design position.

The peculiarities of the use of electronic tacheometers in bringing the railway curves to the design position are highlighted. Taking a curve with an electronic tachometer can be done in detail at all points of the breakdown or in a combined way, when the tachometer determines the coordinates of a limited number of points between which the displacements are determined.

***Keywords:** railway curves, geodetic control, benchmarking, electronic tachymeter.*

Вступ. Залізничні криві – найбільш проблемні ділянки залізниці з погляду дотримання проектного положення рейкової колії. Динамічні навантаження рухомого складу, деформації земляного полотна [11], численні рихтування та підймання колії роблять криві найбільш вразливими місцями на залізниці з точки зору порушення проектних параметрів.

Найвні підходи до геодезичного забезпечення планового положення залізничних кривих не сприяють збереженню їхніх проектних показників. Так, у процесі виконання польових геодезичних робіт, як правило, не координують вершини кутів повороту траси, вирішуючи завдання оптимізації за мінімумом суми квадратів величин рихтувань (зсувів) колії. Апроксимація положення колії за цим принципом призводить до того, що оптимальна крива розташовується довільно відносно бісектриси кута повороту траси, центр кривої не лежить на ній, порушуються всі геометричні параметри кривої, стає невизначеним положення на ній усіх її основних точок і відстаней між ними. Застосування такої технології на місцевості суттєво ускладнює узгодження перехідних кривих з круговими внаслідок зміщення початку та кінця перехідних і кругових кривих. Залізнична колія фактично «блукає» по земляному полотну від ремонту до ремонту.

Недоліки геодезичного контролю прямолінійних ділянок траси також призводять до порушення проектного положення основних точок кривих, зокрема вершини кута повороту. Наприклад, під час експлуатації на прямих великої протяжності (більше 3-5 км) спостерігаються помітні ухилення осі колії від ліній тангенсів, що з'єднують суміжні вершини кутів її повороту. Об'єктивною причиною такого явища може бути похибка відновлення лінії тангенсів непрямыми способами, коли, наприклад, нема видимості між суміжними вершинами кутів

повороту траси. Таким чином, поточне утримання колії і подальший ремонт, проєктований за результатами зйомок залізниці, досить часто призводить до необхідності призначати на першій прямолінійній ділянці не менше двох додаткових кутів повороту. Це свідчить про необхідність більш ретельної геодезичної підготовки прямолінійних ділянок залізниці значної протяжності.

Потрібні заходи, які сприяли б уникненню наведених вище ситуацій і дозволили б підвищити якість будівельних, ремонтних робіт і в кінцевому результаті якість утримання колії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різним аспектам удосконалення технології геодезичних робіт на залізницях, зокрема в кривих ділянках, присвячена достатня кількість публікацій і досліджень. Наприклад, у роботі [2] запропоновані нові методи зйомки кривих. Нова методика визначення геометричних характеристик залізничної колії за допомогою геодезичних даних розглянута в роботі [3]. Впливу геодезичної підготовки на якість виправлень та рихтувань колії присвячена робота [7].

Геодезичні реперні системи належать до спеціальних геодезичних мереж [1]. Доцільність використання реперних систем на залізницях, вимоги до них, основні параметри викладені в роботах [4, 8, 9]. У публікації [5] показано використання реперів для зйомки, моніторингу, рихтувань та укладання колії. Вимоги до спеціальних реперних систем контролю колії в плані сформульовано в роботі [6].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою публікації є підвищення якості утримання залізничної колії у кривих ділянках шляхом удосконалення геодезичного забезпечення колійних робіт.

Завданнями для виконання цієї мети є:

– шляхи застосування спеціальних реперних систем як опорної основи для провадження геодезичних робіт у кривих;

– провадження геодезичних робіт у кривих ділянках в умовах реперних систем;

– особливості використання електронних геодезичних інструментів в умовах реперних систем.

Основна частина дослідження. На сьогодні існують дві системи утримання геометрії залізниць:

– європейська, заснована на реперних системах, покликаних підтримувати проектну геометрію залізниць;

– безреперна, при якій проектною геометрії колії фактично не існує, що, як відомо, веде до появи довгих нерівностей у плані та профілі, швидкого зносу елементів колії й рухомого складу, зокрема при швидкостях руху 100 км/год і більше.

На українських залізницях для геодезичного контролю положення рейкової колії в більшості випадків застосовується друга система, що залишилася як традиційна від радянських часів. Перша система використовується епізодично на найбільш відповідальних ділянках і спорудах залізничного транспорту, не в останню чергу внаслідок значних витрат на створення реперних систем.

Спеціальна реперна система – це планово-висотна геодезична мережа витягнутої форми. Вона складається з пунктів опорної геодезичної мережі (ОГМ) і робочої мережі (РМ) [7].

Пункти ОГМ розташовуються в смузі відведення, споруджуються за нормами закладання пунктів державної мережі на відстані 250–750 м один від одного з обов'язковою видимістю між сусідніми пунктами. Робоча мережа реперної системи створюється в безпосередній близькості від залізничної колії з відстанями між пунктами 100–140 м на прямих і 50–70 м на кривих ділянках колії. Робочі репери, як правило, розташовуються на опорах

контактної мережі або в безпосередній близькості від опори на рівні головки рейки. При визначенні відміток робочих реперів похибка нівелювання 1 км не має перевищувати ± 4 мм, а взаємне положення сусідніх реперів не має перевищувати в плані ± 5 м і по висоті ± 3 мм.

Такі реперні системи доцільно закладати під час будівництва або реконструкції залізниці. Їх створення потребує значних витрат, що є дуже вагомим фактором у наш час.

Більш раціональним з практичної точки зору на теперішній момент і значно менш витратним є закладання локальних реперних систем. Така система створюється для окремої кривої або групи поблизу розташованих кривих. Головними точками цієї системи мають стати вершини кутів повороту траси. Їх слід закріпити на місцевості довгочасними центрами і розпізнавальними знаками. Крім того, поверхня має бути не нижче (краще вище) рівня земляного полотна. Якщо вершина кута недоступна для її закріплення на місцевості, то замість неї пропонується закласти два центри на лініях тангенсів [10]. При цьому високої точності їх розміщення не потрібно, оскільки після їх встановлення по всій трасі необхідно передбачити остаточне вимірювання кутів її повороту.

На існуючій залізниці процес створення реперної системи ускладнюється. Викликано це тим, що в процесі експлуатації втрачено майже всі вершини кутів повороту траси і з'явилися додаткові кути на прямолінійних ділянках значної протяжності. Тому створювати мережу реперів можна тільки за матеріалами докладних зйомок існуючої колії і польового трасування з використанням проектних кутів і відстаней. І починати роботу слід з відновлення вершин кутів повороту траси. Окремі вершини, на яких не збереглися знаки кріплення, можна спробувати знайти промірами від збережених місцевих

предметів згідно з абрисами їх прив'язки або прямою засічкою за проектними кутами з двох сусідніх вершин траси. Можна вирішити це завдання і за матеріалами зйомки (координатами, що фіксують криву точок), але за попередньо закріпленими на місцевості (у процесі зйомки) прямолінійними відрізками (лініями тангенсів), спрямованими на суміжні вершини. Відстані між точками фіксації прямих мають бути максимально можливими. Потім за технологією, викладеною в роботі [3], знаходять оптимальні параметри кривої для майбутньої реконструкції (ремонт) цієї ділянки, а також координати вершини кута і сам кут повороту траси. Після винесення вершини кута в натуру залишилося вирішити питання, чи може вона бути головною реперною точкою (за розташуванням на місцевості) або її необхідно замінити двома реперами по лініях тангенсів.

Найбільш відповідальним моментом на даній стадії відновлення траси є обґрунтований вибір лінії тангенсів, що фіксують напрямки прямолінійних ділянок колії, особливо якщо вони за проектом були досить протяжними, а в результаті численних реконструкцій і ремонтів отримали додаткові повороти, нехай і на незначні кути. Тому перед фіксацією прямих необхідно проаналізувати матеріали зйомок, що проводилися перед останніми ремонтними роботами на даній ділянці, щоб випрямити або зменшити кількість поворотів, дотримуючись встановлених габаритів.

Створена реперна система взагалі дозволяє в подальшому повністю виключити геодезичні роботи з поточного

утримання залізничної колії, зводячи контроль його планового положення до промірювань відстаней від реперів. Вони ж (проміри) мають увійти до проектів реконструкції та ремонту залізничної колії.

Визначення фактичного положення колії в плані і порівняння його з проектним викликає значні труднощі в кривих ділянках колії. На прямих ділянках зсуви визначаються від лінії, що задається оптичними або лазерними інструментами.

Підвищення швидкостей руху та посилення вимог до норм утримання кривих вимагають пошуку ефективних методів контролю виправлення колії на кривих. Такими методами нині є роботи від фіксованих точок, розташованих безпосередньо на колії [7].

При створенні реперної системи контролю положення колії розрахунками визначаються горизонтальні відстані від кожного репера до робочої грані рейки й осі колії. За допомогою простих вимірювальних приладів визначаються їх відхилення від проектних значень. На ділянках між фіксованими точками в кожній точці розмітки визначення відступів у плані може бути виконано відносно хорди, що з'єднує ці точки. Попередньо виконується детальна розмітка проміжних точок з прийнятим інтервалом і обчислюються проектні значення стріл вигину на кожній з них.

У межах перехідних кривих стріли вигину обчислюються від хорди, що стягує початок і кінець перехідної кривої за значеннями прямокутних координат від тангенсів (рис. 1).

$$\lambda_i = K \cdot \left(1 - \frac{K^4}{40R^2l^2} + \frac{K^8}{3456R^2} - \dots \right);$$

$$y_i = \frac{K^3}{6Rl} \cdot \left(1 - \frac{K^4}{56R^2l^2} + \frac{K^8}{7040R^4l^4} - \dots \right);$$

де K – прийнятий інтервал розбиття;
 R – радіус кругової кривої;
 l – довжина перехідної кривої.

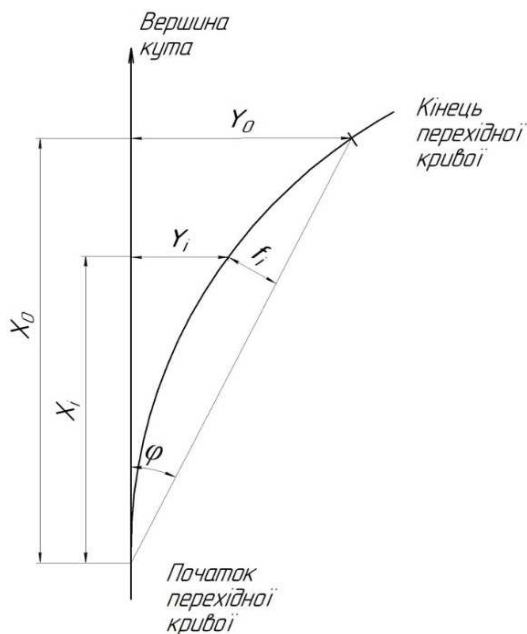


Рис. 1. Визначення стріл вигину на перехідній кривій

Згідно з прийнятим інтервалом розбиття за прямокутними координатами від тангенса x_i та y_i визначаються стріли вигину f_i .

$$f_i = x_i \cdot \sin \varphi - y_i \cdot \cos \varphi ;$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Y_0}{X_0} \right),$$

де φ – кут між тангенсом і хордою;
 X_0, Y_0 – координати кінця перехідної кривої.

У межах кругової кривої (рис. 2) проектні стріли вигину f_{np} в точках розмітки від хорди, що стягує фіксовані точки, можуть бути визначені за формулою

$$f_{np} = \frac{a \cdot b}{2R},$$

де a, b – відстань від точки до кінців хорди;
 R – радіус кругової кривої.

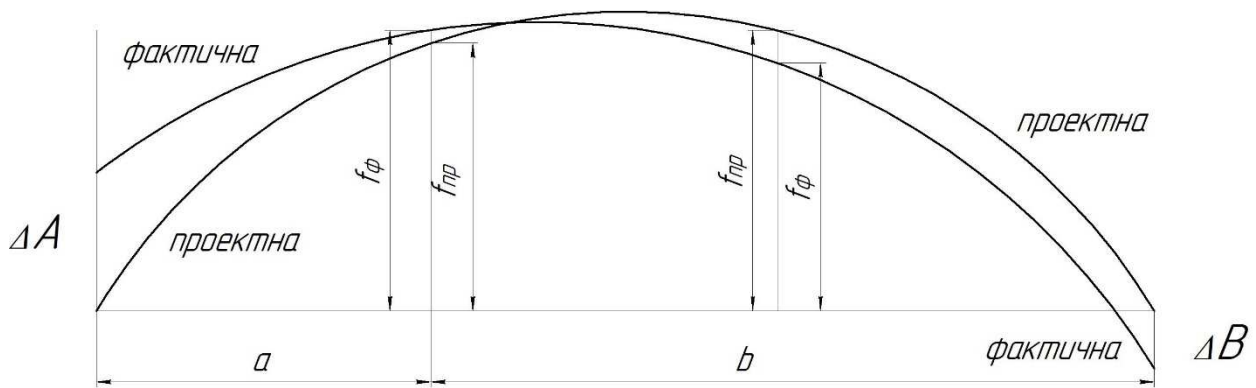


Рис. 2. Визначення стріл вигину на круговій кривій: f_{ϕ} і $f_{пр}$ – фактичні і проектні стріли вигину; ΔA і ΔB – зсуви (рихтування) у точках А і В (кінці хорди); a й b – відстані від проміжної точки до кінців хорди

За відомими зсувами у фіксованих точках за допомогою оптичних або лазерних приладів створюється напрямок проектного розташування хорди, відносно якої вимірюються фактичні стріли вигину.

У фіксованих точках за допомогою закріпленої на залізничній рейці рейки (лінійки) з поділками відносно робочої грані головки рейки фіксується величина зсуву для переміщення цих точок у проектне положення.

Над однією з отриманих точок встановлюється прилад (спеціальний візир, теодоліт, лазерний генератор), а над іншою точкою – візирна ціль, наведенням на яку здійснюється створення проектного положення хорди. Відносно цієї хорди (лінії візування) з використанням нівелірної рейки визначається фактичне положення рейкової колії в точках розмітки. Величина зсувів у цих точках визначається за формулою

$$\Delta f = f_{\phi} - f_{пр}$$

Якщо зсув Δf позитивний, то рихтування кривої здійснюється усередину, а якщо негативний, то назовні.

Технологія визначення зсувів електронним тахеометром полягає в такому. Визначення рихтувань шляху виконується з попереднім розбиттям кривої на фіксовані ділянки. Розбиття починається з початку або кінця кривої з нумерацією

кожної точки. Для кожної точки, зафіксованої згідно з прийнятим інтервалом розбиття, визначають прямокутні координати від тангенсів, а потім у тій самій системі координат виконують детальну зйомку кривої електронним тахеометром і знаходять їхні фактичні координати.

Для зйомки кривої тахеометр встановлюють у початковій точці (початок або кінець кривої), привласнюють їй нульові координати, виконують орієнтування по прямій колії таким чином, щоб дирекційний кут на репер, встановлений у вершині кута, дорівнював нулю. Зйомку можна виконувати з початкових точок (початок або кінець кривої) або з будь-якої точки, розташованої поза залізничною колією, причому кількість точок стояння тахеометра може бути будь-якою. Розташовуватися ці точки можуть як усередині, так і ззовні кривої.

При зйомці кривої з довільної точки після визначення її координат у системі прямокутних координат від тангенсів визначають координати всіх зафіксованих точок на кривій. Для визначення координат точок на кривій бажано мати спеціальну штангу з пристроєм закріплення її на рейці або з фіксацією середини колії. Даний пристрій повинен мати рівень для встановлення штанги у вертикальне положення і гарантувати примусове центрування відбивача над точкою.

Контролем точності визначення координат є рівність теоретичних і фактичних значень абсцис. Величина зсуву визначається за різницею фактичної і проектної ординати.

$$\Delta f = y_f - y_{пр}$$

Зйомка кривої електронним тахеометром може проводитися детально по всіх точках розбиття або комбінованим способом, коли тахеометром визначаються координати обмеженої кількості точок, між якими зсуви визначаються способом, описаним вище.

Висновки. Існуючі підходи до геодезичного забезпечення планового положення залізничних кривих не забезпечують належну якість утримання цих ділянок залізниць. Шлях, яким можна вирішити проблему, – це створення спеціальних реперних систем на ділянках

кривих. Головними точками цієї системи мають стати вершини кутів повороту траси або точки, що дозволяють визначити положення вершини кута.

Створена реперна система в подальшому дозволяє практично виключити геодезичні роботи з поточного утримання залізничної кривої, зводячи контроль її планового положення до промірювань відстаней від реперів. Наведено розрахунки для визначення величин цих промірів у межах перехідної та кругової кривих і послідовність фіксації значення зсувів у точках кривої для переміщення цих точок у проектне положення.

Виділено особливості застосування електронних тахеометрів під час приведення залізничних кривих до проектного положення, наведено технологію робіт.

Список використаних джерел

1. Постанова КМ України від 7 серпня 2013 р. № 646 Інд. 70. Деякі питання реалізації частини першої ст.12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» База даних КМ України. URL: <http://www.kmu.gov.ua/npas/246662567> (дата звернення: 28.01.2020).
2. Корженевич И. П. Новые способы съёмки железнодорожных кривых. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2006. № 12. С. 53–56.
3. Добрынин Н. Ф., Левицкий А. А. Новый метод определения геометрических характеристик железнодорожного пути по геодезическим данным. *Вестник РГУПС*. 2011. № 1 (41). С. 146-152.
4. Матвеев С. И., Коугия В. А., Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте / под ред. С. И. Матвеева. Москва: УМК МПС России, 2002. 225 с.
5. Корженевич И. П. Точность съёмки плана железнодорожной колеи и пути ее повышения. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2009. № 27. С. 116-120.
6. Корженевич И. П. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2008. № 25. С. 69–71.
7. Полетаев В. И., Шкурников С. В., Голубцов В. А. Подготовка железнодорожного пути к работе путевых машин. *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2009. № 2. С. 50-60.

8. Полетаев В. И. Состояние и перспективы использования реперной системы железной дороги. *Записки Горного института*. 2004. Т. 156. С. 207-210.
 9. Денисов А. В., Ръжик Е. А. Реперная система как способ геодезического обеспечения пути. *Мир транспорта*. 2015. Т. 13. № 6. С. 206–215.
 10. Добрынин Н. Ф., Левицкий А. А. Роль реперной системы при строительстве и текущем содержании железных дорог. *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 2. С. 142–145.
 11. Vitalii Protsiuk. Georadar technologies application during determination of deformation characteristics of subgrade soils. *TRANSBUD-2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 708. Art. №012023. IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/708/1/012023 1.
-

Саяпін Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою Українського державного університету залізничного транспорту.
E-mail: sayapin09@ukr.net. ORCID iD: 0000-0002-9719-6497.

Орел Євген Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою Українського державного університету залізничного транспорту.
ORCID iD: 0000-0002-6261-1558.

Камчатна Світлана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою Українського державного університету залізничного транспорту.
E-mail: Kamchatnayasn@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-5711-4146.

Ужвієва Олена Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою Українського державного університету залізничного транспорту.
E-mail: elena.uzhviieva.72@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-3399-0472.

Oleksandr Saiapin, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Research and Design of Means of Communication, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Railway Transport.
E-mail: sayapin09@ukr.net. ORCID iD: 0000-0002-9719-6497.

Yevhen Orel, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Research and Design of Means of Communication, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-6261-1558.

Kamchatna Svetlana, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Research and Design of Means of Communication, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Railway Transport.
E-mail: Kamchatnayasn@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-5711-4146.

Uzhviieva (Uzhviieva) Elena, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Research and Design of Means of Communication, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Railway Transport.
E-mail: elena.uzhviieva.72@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-3399-0472.

Статтю прийнято 05.02.2020 р.