

УДК 528:656.2

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.162.2016.78437>

**ПОБУДОВА УМОВНОЇ РЕПЕРНОЇ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА ДОПОМОГОЮ
СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ПРИЛАДІВ**

Канд. геогр. наук П. І. Лоцман, канд. техн. наук Є. Ф. Орел, старш. викл. Е. А. Бєліков,
магістр С. Б. Подибайло

**ПОСТРОЕНИЕ УСЛОВНОЙ РЕПЕРНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ПОМОЩЬЮ
СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ПРИБОРОВ**

Канд. геогр. наук П. И. Лоцман, канд. техн. наук Е. Ф. Орел,
старш. преп. Э. А. Беликов, магистр С. Б. Подыбайло

**CONSTRUCTING OF CONDITIONAL BENCHMARK RAIL NETWORK THROUGH
MODERN SOFTWARE COMPLEXES AND DEVICES**

PhD, associated professor P. I. Lotsman, PhD, associated professor E. F. Orel,
senior lecturer E. A. Byelikov, master S. B. Podybajlo

У статті запропоновано методику розрахунку елементів кривих, яка дасть змогу створити базу даних у відділеннях залізниці для забезпечення вирішення завдань паспортизації, експлуатації та управління об'єктами залізничного транспорту.

Ключові слова: репер, геодезична мережа, висота, невязка, залізнична крива, колія, елементи кривої, інтегральна крива, координати.

В статье предложена методика расчета элементов кривых, которая позволит создать базу данных в отделениях дороги для обеспечения решения задач паспортизации, эксплуатации и управления объектами железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: репер, геодезическая сеть, высота, невязка, железнодорожная кривая, путь, элементы кривой, интегральная кривая, координаты.

The paper proposes a method of calculating the elements of curves, which will create a database in the offices of the road, to provide solutions for the cottages, certification, operation and management of a railway trans-goad transport.

The article discusses two methods to replace the integral curve suitable step polyline. In the first method the step polyline consists of segments by turns is parallel to the X-axes and Y-axes. Further, integrating the curve, we get broken line A, B, C, D. When the stepped line integrating, we get to the desired integral curve several points, with the tangents at them. Now, it is easy inscribing a curve in this polygon of tangents and the task will be decided.

The second method is differs from the first alternate position of the polyline. Here are interval taken to segments have the same area. Taking into account the conditions of functioning railway track, it is obvious that the absolute stillness benchmark may not count, so the methods offers conditional benchmark network which takes into account the displacement of benchmark.

Keywords: benchmark, geodetic network, height, discrepancy, railway curve, track, curve elements, integral curve, coordinates.

Вступ. Об'єкти залізничного транспорту являють собою складну взаємопов'язану систему. Особливість цієї системи, її відмінність від інших систем полягає у величезності і безвідмовності роботи всіх підрозділів. Для забезпечення цього всі елементи системи, і в першу чергу залізнична колія, потребують постійного контролю геометричних параметрів, який може виконуватися за допомогою постійно закріплених на місцевості пунктів реперної геодезичної мережі, максимально наближених до залізничної колії. Такі мережі створені в усіх розвинених країнах. Відсутність постійної геодезичної мережі в Україні призводить до неможливості підтримки колії в проектному стані, до невиправданих витрат на всезростаючі обсяги ремонтних робіт [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оптимального функціонування необхідно створити діючу високоточну геодезичну опорну мережу у смузі відведення, яка могла б забезпечувати всі потреби УЗ. Цю мережу мають використовувати дистанції колії, колійні машинні станції, інженерно-геодезичні бази, колієобстежувальні станції, служби та підрозділи, а так само проектні та будівельні організації при вишукуваннях, проектуванні, експлуатації, ремонтних роботах, реконструкції об'єктів, новому будівництві.

Визначення мети та задачі дослідження. При створенні єдиної реперної системи необхідно забезпечити нормативну точність положення реперів, довгострокову збереженість і стабільність пунктів. Реперні пункти мають визначатися середньоквадратичними похибками в плані від 5 до 50 мм, по висоті від 3 до 5 мм [6]. Для детальних розрахунків плану лінії з метою підвищення швидкостей необхідні: високоточна координатна зйомка існуючого плану, рихтування плану за наслідками цих розрахунків і перевірка виконаного рихтування відповідно до «Методики аналізу точності знімання, розрахунків та виправлення залізничних кривих машинами різних типів ЦП-0164». Реалізація такої зйомки і забезпечення надалі утримання плану колії на належному рівні можливі тільки при створенні єдиної реперної системи Укрзалізниці. В подальшому автори розглядають декілька варіантів для побудови реперної мережі на кривих ділянках колії.

Основна частина дослідження. Інтегрована функція $y = f(x)$ зображується в декартовій координатній системі ступінчастою ламаною, складеною з прямолінійних відрізків, які паралельні до осей координат, причому одиниця масштабу для x , y і ординати η інтегральної кривої необхідно взяти однаковими (рис. 1).

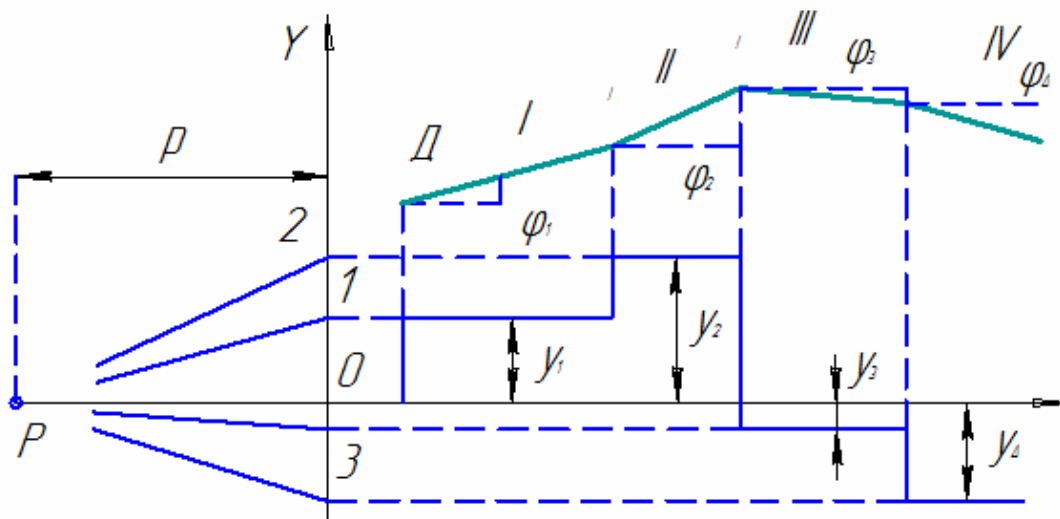


Рис. 1. Інтегрована функція $y = f(x)$ у декартовій координатній системі, зображена ступінчастою ламаною, складеною з прямолінійних відрізків, паралельних до осей координат

Розглянемо перший горизонтальний відрізок $f(x)$ між x_1 і x_2 . Нехай його відстань від осі x буде y_1 . Оскільки похідна $\frac{dF(x)}{dx}$ інтегральної функції має дорівнювати інтегрованій функції $f(x)$, то $f(x)$ зображується між x_1 і x_2 відрізком прямої, причому кут φ_1 , нахил цієї прямої до осі y необхідно взяти таким, щоб:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{dF(x)}{dx} = y_1.$$

Як показує практика вирішення цих завдань, простіше розрахувати та закріпити на колію початок, середину та кінець кривої [5].

Напрямок першого відрізка (I) інтегральної кривої таким чином визначено, початкова ж його точка A має значення $F(x)$, відповідне абсцисі x_1 довільно, і має бути так чи інакше задано в самій задачі [8].

Інтеграція другого горизонтального відрізка $f(x)$ між x_2 і x_3 дає знов

прямолінійний відрізок (II) інтегральної кривої, кут нахилу якого φ_2 визначається з рівняння:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{dF(x)}{dx} = y_2.$$

Цей відрізок є вже цілком визначеним, оскільки він має примикати до відрізка (I). Так само інтегрування триває і далі. Побудова має силу і для негативних значень підінтегральної функції. У цьому випадку кут φ буде негативним і відповідний відрізок буде направлений вниз.

Для визначення кутів нахилу φ_i відрізків інтегральної кривої зазвичай користуються таким способом: на осі абсцис, ліворуч від початку координат, вибирається «полюс» (початок кривої).

Відстань $\overline{PO} = p$ мм візьмемо тут рівною довжині одиниці масштабу, якою ми користувалися для x і y . Продовживши горизонтальні відрізки, що входять у графік $f(x)$ до перетину з віссю y , ми отримаємо

на ній ряд точок, позначених 1, 2, ...,

причому $\overline{O1} = y_1$, $\overline{O2} = y_2$ тощо. Якщо тепер з'єднати полюс P , що означає початок кривої, з цими точками 1, 2... на осі y , то

кути нахилу променів $\overline{P1}, \overline{P2}, \dots, \overline{Pi}$ будуть якраз $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i$. Відрізки інтегральної кривої мають бути паралельними цим променям.

У багатьох випадках буває вигідно взяти полюсну відстань OP . На практиці на цій відстані створюється перехідна крива, відмінна від одиниці масштабу на осі x [3]. Крім того, масштаби на осі y і осі x можуть бути також різні. Ми побачимо зараз, що в цьому випадку ми отримаємо цілком певний масштаб, в якому мають бути виміряні ординати $\eta = F(x)$ інтегральної кривої.

Якщо довжина одиниці масштабу по осі x l_x мм, а по осі y l_y мм, то графік нашої функції $y = f(x)$ зображує нам числа x і y відрізками $x \cdot l_x$ мм і $y \cdot l_y$ мм.

Якщо взяти полюсну відстань ρ мм і зберігати в силі всі побудови, ми отримаємо для кутів між променями, проведеними з полюса, і віссю x рівняння:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = y_i \cdot \frac{l_y}{\rho}.$$

З іншого боку, якщо ординати $\eta = F(x)$ інтегральної кривої взяти в масштабі l_η , то тангенс кута між дотичною до цієї кривої і віссю x дорівнює:

$$\frac{l_\eta}{l_x} \cdot \frac{dF(x)}{dx}.$$

Щоб наша побудова давала дійсно інтегральну криву, ми повинні мати:

$$\operatorname{tg} \varphi = y \cdot \frac{l_y}{\rho} = \frac{l_\eta}{l_x} \cdot \frac{dF(x)}{dx}$$

Незалежно від вибору одиниць масштабу має виконуватися рівняння:

$$\frac{dF(x)}{dx} = y.$$

Звідси випливає співвідношення між трьома масштабами і полярною відстанню:

$$l_\eta = \frac{l_x \cdot l_y}{\rho}.$$

Загальний випадок інтеграції будь-якої кривої ми зведемо до вже вирішеного питання про інтеграцію ступінчастої кривої, замінюючи інтегральну криву підходящою ступінчастою ламаною. Це можна виконати двома способами. Отже, ми отримаємо два методи інтегрування, які будемо просто називати першим і другим.

Перший метод. Функція $f(x)$, яка має бути проінтегрована на інтервалі від x_1 до x_2 , зображується кривою $T_1 \cdot Q \cdot R \cdot T_8$ (рис. 2). Цю криву ми замінюємо ступінчастою кривою $T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \dots T_8$, складеною з відрізків поперемінно паралельних осям x і y , і побудованою певним чином. Спочатку проводяться відрізки, паралельні осі x , а саме: $T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4 \cdot T_5 \cdot T_6 \cdot T_7 \cdot T_8$. Перший і останній з цих відрізків визначаються тим, що вони мають проходити через початкову та кінцеву точку кривої на інтервалі інтеграції. Вибір інших відрізків залежить від виду кривої: там, де крива йде більш строго, ці відрізки беруться частіше; якщо, наприклад, $f(x)$ має максимум або мінімум, то в ступінчасту лінію включають дотичну в цій точці (яка буде паралельна осі x).

Паралельні осі y , відрізки T_3, T_4, T_5, T_6 проводяться так, щоб однаково заштриховані сегменти, що лежать по обидва боки кожного такого відрізка, паралельного осі y , мали рівну площу. До якої міри точності це можна зробити,

залежить від мистецтва обчислювача. Будемо вважати цю умову точно виконаною і проінтегруємо ступінчасту криву за методом ступінчастої кривої. Ми отримаємо ламану A, B, C, D , причому положення початкової точки несуттєве.

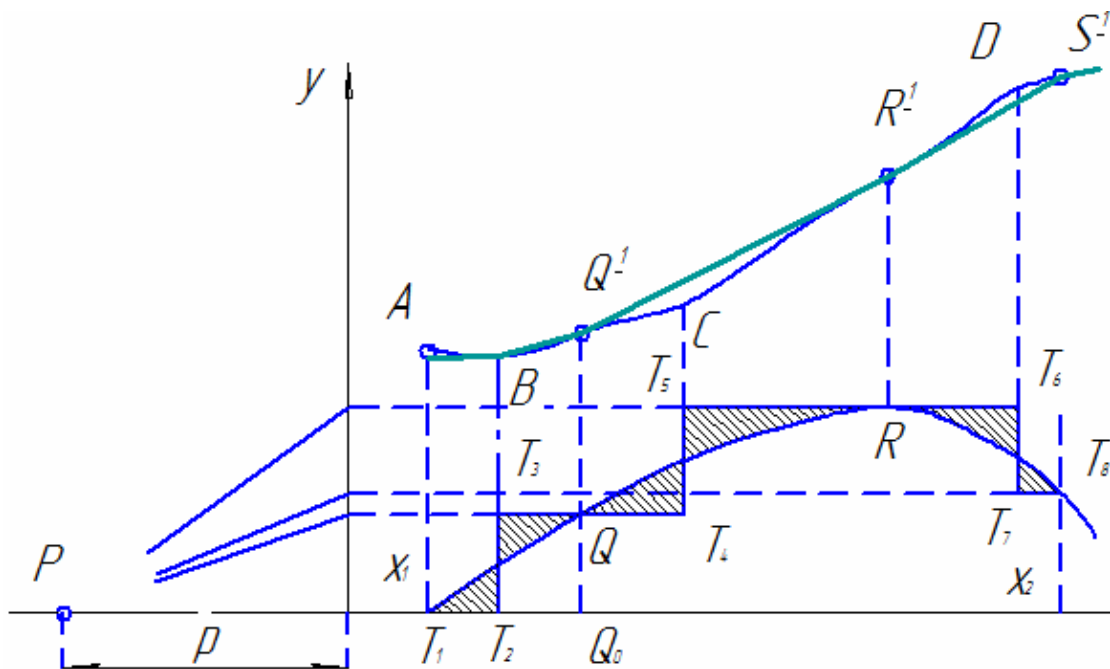


Рис. 2. Функція $f(x)$, проінтегрована на інтервалі від x_1 до x_2 і зображена кривою

$$T_1 \cdot Q \cdot R \cdot T_8$$

Тепер ми знаємо такі властивості інтегральної кривої $\eta = F(x)$, яка має скластися після інтегрування [4]:

1. Вона проходить через точку A .
2. Вона проходить через точку Q' , яка лежить на відрізку інтегральної (по відношенню до ступінчастої кривої) ламаної, проти точки Q , у якій горизонтальний відрізок T_3, T_4 , ступінчастої кривої перетинає криву $f(x)$.

Дійсно, якщо відраховувати координати обох інтегральних кривих для ступінчастої кривої і для $f(x)$ від осі абсцис, що проходить через точку A паралельно осі x , то їх довжина дає значення площі під відповідною інтегральною кривою, ліворуч

від розглянутої ординати. Але з рівності заштрихованих сегментів випливає, що зліва від QQ' площа під ступінчастою кривою дорівнює площі під кривою $f(x)$. Таким чином, відкладені на QQ' ординати обох інтегральних кривих мають однакову величину і точка Q' є спільною для обох інтегральних кривих.

Так само ми побачимо, що обидві інтегральні криві мають проходити через точку R' і точку S' . Взагалі обидві інтегральні криві матимуть спільні точки для тих абсцис, які відповідають точкам перетину кривої $f(x)$ з паралельними осі x відрізками ступінчастими лініями.

3. Сторони інтегральної ламаної A, B, C, D є дотичними до шуканої інтегральної кривої:

$$\eta = F(x) = \int_{x_1}^x f(x) dx.$$

Це ми отримаємо з того, що точка Q' є точкою кривої $\eta = F(x)$. Дотична до кривої $\eta = F(x)$ у точці Q' утворює з віссю x кут φ , для якого, у разі рівних одиниць масштабів:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dF(x)}{dx} = f(x) = Q_0 Q$$

Але якраз цей кут з віссю x утворює сторона BC ламаної, оскільки BC є інтегральною кривою для T_3, T_4 .

Абсолютно так само ми переконаємося в тому, що AB дотикається $F(x)$ у точці A , CD – у точці R' і DS – у точці S .

Таким чином, інтегруючи ступінчасту лінію, ми отримаємо для шуканої інтегральної кривої ряд точок з дотичними в них. Тепер вже легко вписати криву в цей багатокутник дотичних – і завдання буде вирішено.

Для знаходження точності цього методу, замість яких-небудь аналітичних оцінок, порадимо читачеві просто виконати інтегрування за цим методом для якої-небудь елементарної функції, і він буде вражений точністю. Можна досягти не меншої точності, ніж за допомогою інтеграла. Можна перевірити планіметром площу інтегральної кривої (для даного інтервалу) і отриману величину порівняти з кінцевою ординатою інтегральної кривої, яка має, у відповідному масштабі, зображувати цю площу.

Для збільшення точності рекомендується, замість того щоб робити маленькі сходинки, взяти кілька різних

ламаних і при останньому проведенні кривої використовувати всі отримані точки та дотичні.

Другий метод. Другий метод відрізняється від першого іншим розташуванням ламаної (рис. 3). Тут відрізки $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots$ паралельні осі x , взяті так, щоб однаково заштриховані сегменти, що лежать над і під цими відрізками, мали рівну площу. Ступінчаста крива інтегрується ламаною $ABC\dots E$, і можна бачити, що шукана інтегральна крива

$$\eta = F(x) = \int_{x_1}^x f(x) dx$$

проходить через кутові точки $A, B, \dots, E$ цієї ламаної. Дотичні в цих точках можуть бути отримані спеціальною допоміжною побудовою. Щоб знайти, наприклад, дотичну в точці B , проведемо через точку перетину $f(x)$ з відрізком T_2, T_3 паралель осі x . Вона перетне вісь y в точці σ , і промінь P_σ визначить напрямок дотичної в точці B .

Враховуючи умови функціонування залізничної колії, очевидно, що на абсолютну нерухомість реперів сподіватися не доводиться, тому викладена методика запропонує умовну реперну мережу, де враховується зміщення реперів.

Обидва методи інтегрування можна охарактеризувати тим, що перший (для шуканої інтегральної кривої) – ламана з дотичних, а другий – ламана з хорд. Тому, взагалі, перший спосіб є більш точним. Другий спосіб, однак, доцільно застосовувати, коли потрібен не цілком хід інтегрованої кривої $F(x)$, але тільки значення $F(x_i)$ для окремих заданих (наприклад, рівновіддалених) значень.

У цьому випадку ми прокладаємо вертикальні сходинки через ці точки x_i і

отримуємо точки інтегральної кривої для цих же абсцис.

Інтегрування, у разі замкнутої кривої, може бути завжди зведено (розкладено на

суму інтегралів) до інтегрування однозначної функції.

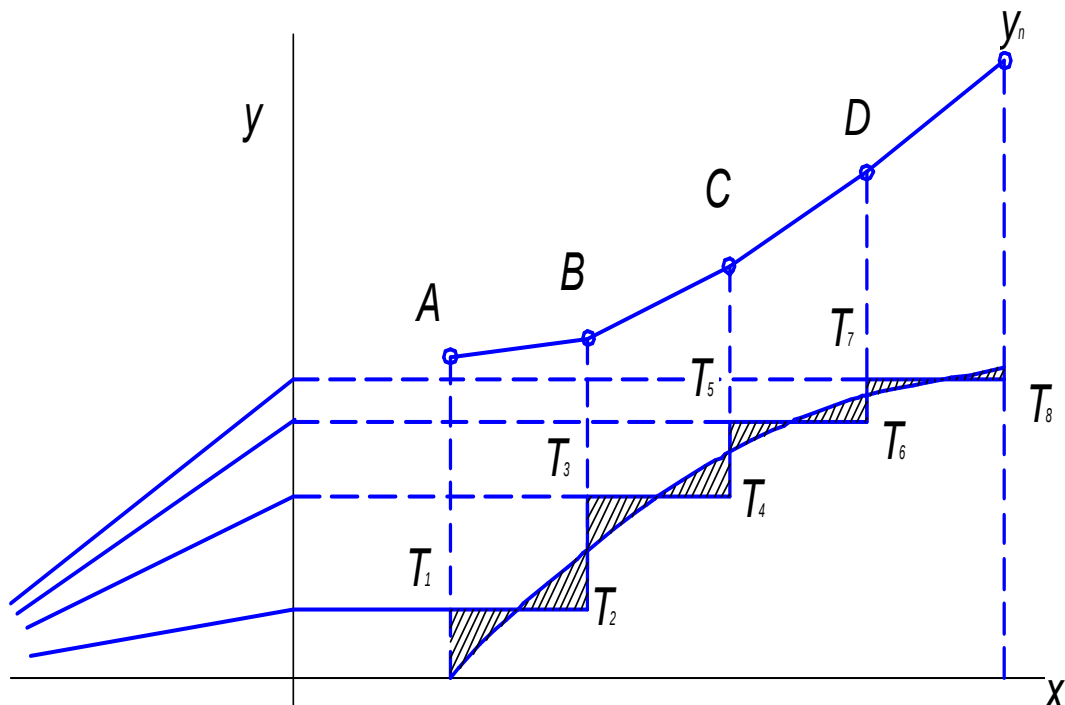


Рис. 3. Розташування кривої складається з відрізків $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots$, паралельних осі x

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Визначення взаємних просторових положень, створених у смузі відведення реперів залізниці, на підставі теорії інтеграції кривої надасть можливість більш чітко визначити головні точки кривої і усі її елементи, які є важливими при реконструкції.

Запропонована методика розрахунку елементів кривих дає змогу скласти базу даних у відділеннях дороги, яка

забезпечить вирішення завдання паспортизації, експлуатації та управління об'єктами залізничного транспорту.

При використанні даної методики простіше розраховуються параметри перехідних кривих.

Інтервал інтеграції при заміні кривої на ламану ступінчасту ділянками дасть можливість визначити пункти реперної мережі та вибрати найбільш зручну відстань між реперами залежно від радіуса кривої.

Список використаних джерел

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]: ЦП-0113. – [Чинний з 2004-10-08]. – К., 2004. – 32 с.
2. Про підготовку інфраструктури до впровадження прискореного руху поїздів на напрямках Київ-Полтава-Красноград-Лозова-Донецьк, Київ-Коростень-Здолбунів-Львів [Текст]: наказ № 159-Ц від 22.04.2011 р.

3. Бердута, В. Радиус для скоростного движения [Текст] / В. Бердута // Магістраль. – К., 2011. – №36 (1619). – С. 6.
4. Туровский, И. Я. Каким способом замерять кривые? [Текст] / И. Я. Туровский // Путь и путевое хозяйство. – 1965. – №8. – С. 26-28.
5. Проценко, А. И. Ошибки измерения кривизны на железнодорожных кривых по способу Гоникберга и влияние этих ошибок на точность определения параметров кривых [Текст] / А. И. Проценко, В. А. Фишер // Труды НИИЖТа. – 1976. – Вып. 184. – С. 40-50.
6. Корженевич, І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 [Текст] / І. П. Корженевич // Залізничний транспорт України. – 2007. – №5. – С. 79-82.
7. Кулаев, Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте [Текст]: учеб.-метод. пособие / Ю. Ф. Кулаев. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 182 с.
8. Астахов, В. Н. Методы геодезических расчетов кривизны структурных трасс железных дорог [Текст] / В. Н. Астахов, А. С. Саяпин, П. И. Лоцман // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С.157-160.
9. Pantyushin, A.V. Optoelectronic system for monitoring displacements, based on LED fiducial marks / A.V. Pantyushin, M.G. Serikova, A.N. Timofeev // Journal of Optical Technology, 2009. – Vol. 76 Issue 8. – pp. 507-510.
10. Meyer, C. The Florence High-Speed Railway Hub: 4D monitoring – innovations in data acquisition and data management for tunneling projects in sensitive urban areas / C. Meyer, P. Cucino, G. Eccher, D. Ulrich // World Tunnel Congress 2013 Geneva Underground – the way to the future! – 2013. – pp. 1403-1410.

Рецензент д-р техн. наук, професор Г. Л. Ватуля

Лоцман Павел Игоревич, кандидат географических наук, доцент секции кафедры колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057)-730-10-67.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач секції кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057)-730-10-67.

Орел Євген Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057) -730-10-67 (10-67).

Подибайло Сергій Борисович, начальник дільниці Київської дистанції колії регіональної філії Південно-Західної залізниці ПАТ Укрзалізниця. Тел.067-450-75-16, 050-736-86-95.

Lotsman Paul, Associate candidate of geographical sciences section of the department «Road and trakacilities» Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (+38057) -730-10-67.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer section of the Department «Road and trakacilities» Ukrainian State University of Railway Transport. (+38057)-730-10-67.

Orel Yevhen Fedorovich, PhD, Associated Professor, Associated Professor of Track and Track Facilities Department. Tel. 057 -730-1067 (10-67).

Podybajlo Sergiy Borysovyich, master of branch, Kiev Railway Distance, Production department, Regional branch of South-West railway PJS «Ukrzaliznytsa» Tel. 067-45075-16, 050-736-86-95.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.