

**O.V. Kucher,
I.S. Kurylyak,
V.S. Staroverov,
N.I. Koshelyuk**

STUDY OF THE METHOD TRANSFORMING EXISTING GEODESIC, TOPOGRAPHIC-CARTOGRAPHIC AND CADASTRE MATERIALS TO THE USK-2000 COORDINATE SYSTEM

The basic requirements for the transformation of coordinates, methods of transformation of coordinates and factors influencing the quality of transformation are considered. The necessary set of output data for constructing a transformation field is determined.

The transformation of coordinates by the finite element method, namely the creation of a transformation field in the form of a TIN-model and a GRID-model, has been studied in details. The algorithm of creating interpolation TIN-model and GRID-model of transformation field is considered. The properties of these models are determined, and their conformity with the basic requirements of creating a transformation field is established.

As an example, an algorithm for creating a transformation field of Odessa for the transition from the coordinates defined in the local coordinate system, formed from the reference system of coordinates SK-42, to the reference system of coordinates USK-2000 is given. The analysis of distribution of deviations between coordinates in two systems in the city of Odessa is carried out.

Keywords: coordinate system, transformation, transformation field.

Надійшла до редакції

04.09.2017

УДК 528.48

О. М. Самойленко, д-р техн. наук, професор,
директор науково-виробничого інституту геометричних,
механічних та віброакустичних вимірювань
ДП «Укрметрестестандарт»

С.А. Сикал, асп. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури,
викладач Політехнічного технікуму
Конотопський інститут Сумського державного університету

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОЛІЙНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ УКРЗАЛІЗНИЦІ КСКУ-20XX

У статті наведено умовну систему координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжну між Міжнародною референційною системою відліку ITRF20XX та запропонованою авторами Колійною системою координат Укрзалізниці

КСКУ-20XX, максимально відповідну технічним й організаційним вимогам до робіт, виконуваним на колії та біля неї, а також придатну для забезпечення навігації потягів.

Ключові слова: умовна система координат, Колійна система координат, Укрзалізниця, формули, апроксимація, обчислення, інфраструктура.

Вступ. Одним з шляхів підвищення ефективності роботи Укрзалізниці є впровадження нових вимірювальних та інформаційних технологій, а також нових методів оброблення результатів вимірювань, зберігання та використання одержаних результатів. До нових технологій вимірювання належать технології застосування не тільки електронних тахеометрів і цифрових нівелірів, а й глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) і лазерного сканування. Однією з передумов впровадження передових технологій є створення Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці (далі – Система) [1], призначеної для збирання, збереження, оброблення та комплексного використання службами та підрозділами Укрзалізниці всієї інформації, яка так чи інакше пов'язана з просторовими координатами об'єктів Укрзалізниці та їх зміною у часі.

Система наповнюється та використовується всіма службами та підрозділами Укрзалізниці та залізниць України, а також підрядними організаціями (геодезичними підрозділами Укрзалізниці, геодезичними підрядними та проектними організаціями, службами колійного господарства, центром механізації колійних робіт, енергозабезпечення, управління майном, кадастру тощо) на всіх етапах, коли визначають чи застосовують координати. Кожний з користувачів постачає у Систему та бере з неї свою специфічну інформацію, але у прив'язці до координат і часу.

У кінцевому результаті будуть вирішуватися завдання, пов'язані з визначенням місцеположення, швидкості та прискорення рухомих об'єктів на колії й з управлінням ними в просторі й часі, зокрема їх навігацією в реальному часі. Без координатно-часового забезпечення, ґрунтованого на використанні переважно глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) [14], це неможливо.

Для забезпечення роботи згаданої Системи важливе значення має єдина система координат, яка, з одного боку, добре узгоджується з всесвітніми системами координат [1], з другого – максимально відповідає потребам залізничників.

Отже, у статті наведено умовну систему координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжну між Міжнародною землею референчною системою відліку ITRF20XX, в якій працюють ГНСС-приймачі, та запропонованою Колійною системою координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, в якій будуть вирішуватися згадані вище завдання. Ці системи координат доповнюють одна одну, дають змогу розв'язувати будь-які завдання як у статистиці, так і в русі в реальному часі.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз чинних нормативних документів Укрзалізниці [7; 8; 9] свідчить про те, що залізничники не вирішували питань щодо впровадження нових методів вимірювання та визначення геометричних

параметрів колії залізниць і місцеположення інших об'єктів. Про нові системи координат, які відповідно до розпорядження [11] сприяли б впровадженню досягнень технічного прогресу, в Укрзалізниці не було й мови, хоча деякі автори [13] звертали увагу на важливість впорядкування систем координат.

Протягом десятиліть на залізницях України домінують традиційні геодезичні методи й засоби вимірювань, які ґрунтуються на використанні мірних стрічок й оптичних геодезичних приладів [7; 9] або суто механічних засобів вимірювальної техніки (рулетки, рівні, лінійки). Рекомендується виконувати вимірювання навіть «на око» [7; 8].

Що стосується нормативно-методичних документів Укрзалізниці [9], то в них зазначено, що координати точок планового обґрунтування обчислюють, як правило, в станційній (умовній) системі координат. Допускається можливість визначення координат як в державній системі координат, так і в системі координат WGS-84. Усе розраховано на примітивний локальний підхід у локальних або місцевих системах координат. Наслідком такого підходу є робота кожного зі структурних підрозділів (ПЧ, КМС, ЕЧ та інших) Укрзалізниці у своїх (умовних) системах координат. На підставі цього можна дійти висновку про відсутність єдиної системи координат для виконання робіт на залізницях України. Це ускладнює застосування нових технологій вимірювання, таких як ГНСС, координацію робіт різних підрозділів і підрядників, багаторазове використання одних і тих самих координат та інших даних.

Поява сучасних геодезичних приладів [13] потребує негайних оперативних рішень щодо перегляду методів визначення геометричних параметрів залізничних колій та створення можливості моніторингу за допомогою ГНСС колій залізниць у часі. Застосування запропонованих систем координат дасть змогу створити основу для наповнення і використання програмних комплексів геоінформаційних систем (ГІС) та отримувати динаміку зміни геометричних параметрів колій та інших об'єктів із плином часу.

Постановка завдання. Обґрунтувати математичну основу запровадження умовної системи координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжної між Міжнародною земною референчною системою відліку ITRF20XX та запропонованою основною Колійною системою координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, проаналізувати їх основні складові та перспективи практичної реалізації.

Основна частина. Колійні машини та колієвимірювальні вагони, які курсують на залізницях України, під час виконання ремонтних робіт не мають у своєму складі високоточних ГНСС-приймачів. Вони не здійснюють прив'язки в кінематичному режимі вимірювання виконуваних ними робіт до пунктів геодезичної реперної мережі у вигляді перманентних (постійно діючих) ГНСС-приймачів, мережу яких (ще недостатньо щільну) створено в Україні. Отже, використання колійних машин та колієвимірювальних вагонів у цілком автоматичному режимі є неможливим.

Найбільш перспективним напрямом щодо виконання вимірювань з метою підготовки вихідних даних для виправки колії (в плані і профілі) є формування файлів із використанням інтегрованих колієвимірювальних комплексів, наприклад колієвимірювальних візків Amberg Technologies AG і Terra

Vermessunger AG (Швейцарія); TrimbleGedo CE (Німеччина); LeicaSiTrack: One (Швейцарія) [12], які в автоматизованому режимі визначають просторове положення та деякі геометричні параметри рейкової колії. За результатами оброблення цих результатів вимірювання формуються дані, які використовують для введення в комп'ютер даних щодо машин важкого типу для виконання колійних робіт. Виконання таких і багатьох інших робіт буде більш ефективним у разі застосування єдиної в Україні системи координат Укрзалізниці, математично пов'язаної з Міжнародною землею референційною системою координат (ITRS).

Встановленим на колієвимірювальному візку ГНСС-приймачем вимірюють просторові координати в Міжнародній земній референційній системі відліку ITRF20XX (реалізація ITRS на епоху XX), які приймачем перетворюються в геодезичну систему координат і одержують геодезичні широту B_i , довготу L_i та висоту H_i на загальноземному еліпсоїді, наприклад GRS-80 в геодезичній системі WGS-84. За вимірними значеннями міжрейкової відстані і підвищення однієї рейки над іншою та ще за деякими даними результати вимірювань ГНСС-приймачем приводять до фактичної осі колії. Такі вимірювання доцільно виконувати з кроком 1...3 м вздовж осі колії. Таким чином, фактична вісь колії, через похибки вимірювань і деформації колії, являтиме собою деяку ламану в плані і профілі лінію.

Перш ніж перейти до викладу послідовності обчислень, наведемо відомі формули [2; 6] для обчислення радіуса меридіана та першого вертикала в точці на поверхні еліпсоїда з геодезичними координатами – широтою B і довготою L :

$$M = a \cdot (1 - e^2) \cdot (1 - e^2 \cdot \sin B)^{-3/2}; \quad N = a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin B)^{-1/2}, \quad (1)$$

де a – велика піввісь еліпсоїда; $e^2 = 2 \cdot \alpha - \alpha^2$ – квадрат першого ексцентриситету; α – стиснення еліпсоїда.

1. Послідовність обчислень в Умовній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX в плоских прямокутних координатах

1. У базу даних (БД) Системи вводять файли з вимірними за допомогою ГНСС-приймачів геодезичними координатами точок на осі колії – геодезичною широтою B_i і геодезичною довготою L_i , вираженими у радіанах, і геодезичною висотою над еліпсоїдом H_i , а також з іншими геометричними параметрами колії, яку вимірюють колієвимірювальним візком.

2. Для кожної колії обирають початок колійної системи координат і за допомогою ГНСС-приймача визначають його геодезичну широту B_0 і геодезичну довготу L_0 в радіанах і заносять в БД.

3. Під час оброблення обирають невелику ділянку колії (таку, щоби лінійні викривлення після проектування на площину були незначні), яка об'єднує декілька структурних елементів колії (прямих, перехідних і кругових кривих). За геодезичними координатами розраховують плоскі прямокутні координати в прямокутній конформній системі координат Гауса – Крюгера всіх точок, які належать до цих структурних елементів, за наведеними у роботах [2–6] формулами.

Відстані за меридіаном від екватора до точок з широтою B_0 і B_i обчислюють за формулами:

$$X_0 = a_0 \cdot B_0 - \frac{a_2}{2} \cdot \sin 2B_0 + \frac{a_4}{4} \cdot \sin 4B_0 - \frac{a_6}{6} \cdot \sin 6B_0 + \frac{a_8}{8} \cdot \sin 8B_0; \quad (2)$$

$$X_i = a_0 \cdot B_i - \frac{a_2}{2} \cdot \sin 2B_i + \frac{a_4}{4} \cdot \sin 4B_i - \frac{a_6}{6} \cdot \sin 6B_i + \frac{a_8}{8} \cdot \sin 8B_i,$$

де a_0, a_2, a_4, a_6, a_8 – деякі коефіцієнти, які залежать від геометричних параметрів конкретного еліпсоїда, наведених після формули (1).

Плоскі прямокутні координати в прямокутній конформній системі координат Гауса – Крюгера обчислюють за спрощеними формулами:

$$y_i = (L_i - L_0) \cdot N_i \cdot \cos B_i = l_i \cdot N_i \cdot \cos B_i; \quad (3)$$

$$x_i = X_i + y_i \cdot \frac{l_i}{2} \cdot \sin B_i - X_0.$$

Більш компактними формулами для обчислення координати X_i , якими рекомендовано користуватись тільки в межах України, є такі:

$$\Delta B_i = B_i - B_0; \quad B_m = (B_i + B_0) / 2; \quad (4)$$

$$\Delta X_i = M_m \cdot \Delta B_i + \frac{a \cdot e^2 \cdot (1 - e^2)}{8} \cdot \cos 2B_m \cdot \Delta B_i^3 = M_m \cdot \Delta B_i + \omega \cdot \cos 2B_m \cdot \Delta B_i^3; \quad (5)$$

$$x_i = X_0 + \Delta X_i. \quad (6)$$

Координати x_i, y_i є координатами в Умовній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX.

4. Виконують апроксимацію цих координат прямими, клотоїдами та колами відповідно на прямих ділянках колії, перехідних та кругових кривих. За результатами обчислень визначають координати характерних точок колії та інші потрібні геометричні параметри:

- для прямих – координати початку і кінця прямої, далі їх довжину й азимут, а між прямими – кути повороту траси;

- для кругових кривих – їх радіус, координати центра кола, а також їх довжину та координати початку і кінця кривої;

- для перехідних кривих – зміщення між прямою і кривою, їх довжину, координати початку і кінця перехідних кривих.

Розрахунки цих координат і геометричних параметрів у процесі апроксимації, а також розрахунки їх точності є темою окремого розгляду. Наведемо тільки деякі розрахунки для розуміння процесу формування колійних координат:

$$Sp_{i-1i} = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad Sp_{ii+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}; \quad (7)$$

$$\alpha_{i-1i} = \arctg \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}; \quad \alpha_{ii+1} = \arctg \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}; \quad (8)$$

$$\beta_i = \alpha_{ii+1} - \alpha_{i-1i}; \quad Sk_i = Rk_i \cdot \beta_i, \quad (9)$$

де $x_0, y_0; x_1, y_1 \dots x_i, y_i$ – координати початків і кінців прямих, одержані з апроксимації; $Sp_{i-1}, Sp_{ii+1}, \dots$ – довжина прямих в проекції на площину; $\alpha_{i-1}, \alpha_{ii+1}, \dots$ – дирекційні кути прямих на площині, виражені в радіанах; β_i – кут повороту колії в горизонтальній площині, виражений у радіанах; Rk_i – радіус кола колії в горизонтальній площині, одержаний з апроксимації; Sk_i – довжина горизонтальної кривої.

5. Далі обирають наступну ділянку колії і виконують обчислення.

2. Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX в пласких прямокутних координатах

За довжинами структурних елементів колії – довжинами прямих та кругових кривих, обчисленими за формулами (7) та (9), а також за обчисленими довжинами перехідних кривих визначають координати характерних точок у Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX як суми відповідних довжин. Докладний виклад обчислень колійних координат не є предметом публікації, проте наведемо декілька формул:

$$x_{K1} = Sp_{01}; \quad x_{K1'} = x_{K1} + d_{01}; \quad x_{K2'} = x_{K1'} + Sk_1; \dots x_{Ki} = \dots, \quad (10)$$

де $x_{K1}, x_{K1'}, x_{K2'} \dots x_{Ki} \dots$ – горизонтальні колійні координати першої і наступних характерних точок колії (довжина колії в проекції на площину від початкової точки колії);

$d_{01} \dots$ – довжина першої і наступних перехідних кривих.

В узагальненому вигляді горизонтальну колійну координату точок колії обчислюють за формулою:

$$x_{Ki} = \sum Sp + \sum d + \sum Sk;$$

де $\sum Sp, \sum d, \sum Sk$ – відповідно суми довжин прямих ділянок, перехідних кривих та кругових кривих до характерної точки з номером i .

Відхилення точок фактичної осі колії та будь-яких інших точок від дійсної осі колії, одержаної з апроксимації перпендикулярно до неї, і є другою колійною координатою.

За горизонтальними координатами, обчисленими за формулами (10) та аналогічними формулами визначають геодезичні координати характерних точок на площині. Саме їх використовують для обчислення положення рухомої платформи на коліях у режимі реального часу. Зважаючи на відносно невеликі відстані від початкової точки ділянки до всіх інших точок, для обчислення геодезичних координат можна застосувати два варіанти наближених формул, точність яких, однак, є цілком достатньою для вирішення поставленої задачі.

Перший варіант:

$$B'_i = B_0 + \frac{x_i}{M_0}; \quad B_m = \frac{B'_i + B_0}{2}; \quad B''_i = B_0 + \frac{x_i}{M_m}; \quad (11)$$

$$B_i = B''_i - \frac{y_i^2}{2 \cdot N''_i \cdot M''_i} \cdot \operatorname{tg} B''_i; \quad L_i = L_0 + \frac{y_i}{N_i \cdot \cos B_i}, \quad (12)$$

Другий варіант:

$$l'_i = \frac{y_i}{N_0 \cdot \cos B_0}; \quad \Delta X'_i = x_i - y_i \cdot \frac{l'_i}{2} \cdot \sin B_0; \quad B'_i = B_0 + \frac{\Delta X'_i}{M_0}; \quad (13)$$

$$B_m = \frac{B'_i + B_0}{2}; \quad (14)$$

$$l''_i = \frac{y_i}{N'_i \cdot \cos B'_i}; \quad \Delta X''_i = x_i - y_i \cdot \frac{l''_i}{2} \cdot \sin B'_i; \quad B_i = B_0 + \frac{\Delta X''_i}{M_m}; \quad (15)$$

$$L_i = L_0 + l''_i \quad (16)$$

Висновки щодо точності й оптимальності застосування першого та другого варіантів необхідно зробити за окремими дослідженнями.

3. Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX у просторі

Після обчислень колійних координат на площині (зважаючи на невеликі ділянки, які обирають для оброблення, можна вважати, що на еліпсоїді) переходимо до обчислень колійних координат у просторі. Тепер до горизонтальних колійних координат на еліпсоїді додається вертикальна складова, тобто виміряні за ГНСС-методами геодезичні висоти. Геодезичні висоти відносно еліпсоїда поки що не перераховуються в нормальні висоти відносно квазігеоїда, але все одно через певні проміжки довжини колії ГНСС-вимірювання мають бути прив'язані до реперів Державної нівелірної мережі геометричним нівелюванням.

Так само, виконавши апроксимацію горизонтальних колійних координат і геодезичних висот, прямими і вертикальними кривими визначаємо радіуси цих кривих, координати їх центрів у вертикальній площині, координати початку і кінця прямих. За цими координатами обчислюємо відповідні довжини дійсної апроксимованої осі колії:

$$SH_{i-1i} = \sqrt{(x_{Ki} - x_{Ki-1})^2 \left(1 + \frac{H_{i-1}}{R + H_{s-1}}\right) \left(1 + \frac{H_i}{R + H_i}\right) + (H_{i-1} - H_i)^2}; \quad (17)$$

$$SH_{ii+1} = \sqrt{(x_{Ki+1} - x_{Ki})^2 \left(1 + \frac{H_i}{R + H_i}\right) \left(1 + \frac{H_{i+1}}{R + H_{i+1}}\right) + (H_i - H_{i+1})^2}; \quad (18)$$

$$\gamma_{i-1i} = \arctg \frac{H_i - H_{i-1}}{SH_{i-1i}}; \quad \gamma_{ii+1} = \arctg \frac{H_{i+1} - H_i}{SH_{ii+1}}; \quad (19)$$

$$\varphi_i = \gamma_{ii+1} - \gamma_{i-1i}; \quad SV_i = RV_i \cdot \varphi_i; \quad (20)$$

$$x_{H1} = SH_{01}; \quad x_{H1'} = x_{H1} + SV_1; \quad x_{H2} = x_{H1'} + SH_{12}; \quad \dots \quad x_{Hi} = \dots, \quad (21)$$

де x_{Ki-1} , x_{Ki} , x_{Ki+1} – горизонтальні координати характерних точок вертикальних кривих, одержані з апроксимації; SH_{i-1i} , SH_{ii+1} , ... – довжини прямих у проекції на вертикальну площину; γ_{01} , γ_{12} , ... – кути нахилу прямих колії до горизонту у вертикальній площині, виражені в радіанах; φ_i – кут повороту колії у вертикальній площині, виражений у радіанах; RV_i – радіус вертикальної кривої, одержаний з апроксимації; SV_i – довжина вертикальної кривої; x_{H1} , $x_{H1'}$, x_{H2} ... x_{Hi} ... – повздовжні просторові колійні координати, що дають дійсну довжину

колії; $R = \sqrt{M_m \cdot N_m}$ – середній радіус кривизни еліпсоїда на ділянці, для якої виконують обчислення.

В узагальненому вигляді просторову колійну координату точок колії обчислюють за формулою:

$$x_{Hi} = \sum SH + \sum SV,$$

де $\sum SH$, $\sum SV$ – суми довжин прямих ділянок у просторі та вертикальних кривих до точки з номером i .

4 Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX у геодезичних координатах

Перспективним є варіант обчислень, коли завдання з обчислення колійних координат виконують без переходу на площину і назад на еліпсоїд, безпосередньо на еліпсоїді. Геодезичні координати в цьому випадку є фактично координатами в УСКУ-20XX. При цьому виконують апроксимацію безпосередньо геодезичних координат на еліпсоїді, виражених у радіанах, тобто безпосередньо з апроксимації обчислюють геодезичні координати характерних точок, описаних у п. 4 розд. 1 основної частини статті.

Далі треба теоретично обчислити довжини й азимути геодезичних ліній за формулами, наведеними в роботах [2] або [3], але, зважаючи на невеликі відстані між точками, подальші обчислення приростів колійних координат можна виконувати безпосередньо за геодезичними координатами за спрощеними формулами:

$$Sp_{i-1i} = \sqrt{(M_m \cdot (B_i - B_{i-1}))^2 + (N_m \cdot (L_i - L_{i-1}) \cdot \cos B_m)^2}; \quad (22)$$

$$Sp_{ii+1} = \sqrt{(M_m \cdot (B_{i+1} - B_i))^2 + (N_m \cdot (L_{i+1} - L_i) \cdot \cos B_m)^2}; \quad (23)$$

$$A_{ii+1} = \arctg \frac{N_m \cdot (L_{i+1} - L_i) \cdot \cos B_m}{M_m \cdot (B_{i+1} - B_i)}; \quad A_{i-1i} = \arctg \frac{N_m \cdot (L_i - L_{i-1}) \cdot \cos B_m}{M_m \cdot (B_i - B_{i-1})}; \quad (24)$$

$$B_m = \frac{B_{i-1} + B_i}{2} \quad \text{або} \quad B_m = \frac{B_i + B_{i+1}}{2}; \quad (25)$$

$$\beta_i = A_{ii+1} - A_{i-1i}; \quad Sk_i = R_i \cdot \beta_i, \quad (26)$$

де M_m та N_m – середні радіуси кривизни меридіана та першого вертикала, обчислені за аргументом B_m за формулами (1).

Відтак колійні координати на площині й у просторі обчислюють аналогічно до формул (10) та (17) – (21). Це дасть змогу значно спростити методику обчислень.

Порівнюючи Колійну систему координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, в якій завдання вирішується безпосередньо в геодезичних координатах (тобто УСКУ-20XX є геодезичною системою) із системами координат, використовуваних в Україні [12], а також роботу в УСКУ-20XX та КСКУ-20XX у плоских прямокутних координатах, можемо навести декілька переваг Системи:

1. Немає потреби в додаткових проміжних обчисленнях, бо використовуються безпосередньо виміряні геодезичні координати.

2. Немає спотворень масштабу (довжин ліній), пов'язаних з переходом з поверхні сфероїда на площину.

3. У запропонованій системі координат обчислюють геодезичні азимути ліній, тобто немає повороту системи координат, зумовленої появою кута зближення меридіанів при їх проектуванні на площину в кожній точці вимірювань.

4. На відміну від Державної системи координат України УСК-2000 [10] Умовна система координат Укрзалізниці УСКУ-20XX у плоских координатах та суміщена з геодезичною не має переходів із зони в зону, коли одні й ті самі точки мають дві пари горизонтальних координат.

Таким чином, впровадження УСКУ-20XX і КСКУ-20XX дасть змогу всім службам, підприємствам і підрозділам Укрзалізниці, а також субпідрядникам, швидко, точно й однозначно визначати положення в плані й у просторі не тільки будь-яких об'єктів (стрілочні переходи, стовпи, перони, межі земельних ділянок тощо), а й розв'язувати проблеми, які виникли, наприклад деформацій рейкових колій відносно останнього знімання, положення дефектів рейок під час їх дефектоскопіювання, місць і величини зміщення контактного проводу. Завдання, які можуть бути вирішені, не вичерпуються цим переліком.

Висновки. Використання запропонованих систем координат УСКУ-20XX та КСКУ-20XX на залізницях України дасть змогу:

- ефективно застосовувати ГНСС та інші сучасні геодезичні технології вимірювань на залізничних коліях України;
- використовуючи ГНСС, забезпечити однозначне визначення положення рухомого об'єкта на колії або будь-якого елемента колії чи інфраструктури, а також їх деформацій і дефектів у режимі реального часу;
- забезпечити вимірювання координат колії та іншої інфраструктури Укрзалізниці відносно найближчих пунктів геодезичної мережі із СКП, не більшою за 1...3 см в плані і 2-5 см по висоті та 10 см в межах країни;
- знизити експлуатаційні витрати Системи завдяки високій мобільності й оперативності вимірювань і знаходженню потрібних точок за виміряними координатами, універсальності й багаторазовості використання одних і тих самих даних;
- забезпечити проектування, модернізацію, будівництво та ремонт колії, верхньої будови шляху та об'єктів інфраструктури;
- у перспективі забезпечити визначення пікетажного положення потягів у режимі реального часу в русі на будь-якій швидкості з похибкою порядку 1 метра.

Перспективи подальших досліджень. Потрібно більш докладно описати всі стадії координування точок від геодезичної мережі України до координування точок на рейках та біля них, а також апроксимацію координат прямими, перехідними та круговими кривими.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Самойленко О. М.* Технічні аспекти створення системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці / О. М. Самойленко, С. А. Сикал // *Залізничний транспорт України*. – 2017. – № 1. – С. 60–66.
2. *Закатов П. С.* Курс высшей геодезии. / П. С. Закатов. – изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с.

3. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. / В. П. Морозов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
4. Яковлев Н. В. Высшая геодезия: учебник для вузов / Н. В. Яковлев. – М.: Недра, 1989. – 445 с.
5. Зданович В. Г. Высшая геодезия: учеб. пособие для спец. «Маркшейдерское дело» / В. Г. Зданович. – М.: Углетехиздат, 1954. – 280 с.
6. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия (Теоретическая геодезия). – М.: Недра, 1978. – 264 с.
7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев та ін. – К.: Поліграфсервіс, 2012. – 456 с.
8. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії / Е. І. Даніленко та ін.; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління колійного господарства. – К.: Транспорт України, 2002. – 156 с.
9. Методичні вказівки зі складання масштабних і схематичних планів станцій та поздовжніх профілів колій. ЦП 0125: затв. наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 р. №972-ЦЗ / І. П. Корженевич, К. П. Мартова, М. Г. Ренгач, О. В. Гоц. – К.: Алькор, 2004. – 36 с.
10. Порядок побудови Державної геодезичної мережі. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-п>.
11. Розпорядження «Про схвалення Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/>.
12. Інформаційні матеріали компаній Amberg, Leica, Trimble [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ambergtechnologies.ch>; http://digital-imaging.leica-geosystems.com/en/SiTrackOne-by-Leica-Geosystems_107060.htm; <http://trimble-railway.com/en/>.
13. Степанов М. М. Аналіз систем координат, що використовуються в Україні / М. М. Степанов, Т. В. Уварова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Випуск 4 (20). – С. 110–112.
14. Воробьев К. А. Спутниковые ГНСС-измерения в режиме реального времени – GSM RTK / К. А. Воробьев // Геопрофи. – 2008. – № 2. – С. 47–49.

REFERENCES

1. Samojlenko, O.M. & Sykal, S.A. (2017). Tekhnichni aspekty stvorennia systemy koordynatno-chasovoho zabezpechennia roboty Ukrzaliznytsi. *Zaliznychnyj transport Ukrainy – The Railway Transport of Ukraine*, 1, 60–66. [in Ukrainian].
2. Zakatov, P. S. (1976). *Kurs vysshej geodezii: izd. 4, pererab. i dop.* Moskva. [in Russian].
3. Morozov, V. P. (1979). *Kurs sferoidicheskoy geodezii: izd. 2, pererab. i dop.* Moskva. [in Russian].
4. Yakovlev, N. V. (1989). *Vysshaya geodeziya: Uchebnik dlya vuzov.* Moskva. [in Russian].

5. Zdanovich, V. G. (1954). *Vyshshaya geodeziya: ucheb. posobie dlya spec. «Markshejderskoe delo»*. Moskva. [in Russian].
6. Pellinen, L. P. (1978). *Vyshshaya geodeziya (Teoreticheskaya geodeziya)*. Moskva. [in Russian].
7. Danilenko, E. I., Orlovs'kyj, A. M., Kurhan, M. B., Yakovliev, V. O. et al. (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts' Ukrainy*. Kyiv: TOV «Polihrafservis». [in Ukrainian].
8. Danilenko, E. I. et al. (2002). *Pravyla i tekhnolohiia vykonannia robot pry potochnomu utrymanni zaliznychnoi kolii*. Kyiv: Transport Ukrainy. [in Ukrainian].
9. Korzhenevych, I. P., Martova, K. P., Renhach, M. H., Hots O. V. (2004). *Metodychni vказivky zi skladannia masshtabnykh i skhematychnykh planiv stantsij ta pozdovzhnykh profiliv kolij*. Kyiv: Al'kor. [in Ukrainian].
10. Poriadok pobudovy Derzhavnoi heodezychnoi merezhi. Zatverdzheno postanovoju Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 serpnia 2013 r. № 646. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-p>. [in Ukrainian].
11. Rozporiadzhennia: «Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky Ukrainy u sferi kosmichnoi diial'nosti na period do 2032 roku». Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/>. [in Ukrainian].
12. Informatsijni materialy kompanij Amberg, Leica, Trimble. Retrieved from <http://www.ambergtechnologies.ch>; http://digital-imaging.leica-geosystems.com/en/SiTrackOne-by-Leica-Geosystems_107060.htm; <http://trimble-railway.com/en/>. [in Ukrainian].
13. Stepanov, M. M. & Uvarova, T. V. (2011). Analiz system koordynat, scho vykorystovuiut'sia v Ukraini. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku – Control, Navigation and Communication Systems*, issue 4 (20), 110–112. [in Ukrainian].
14. Vorob'ev K. A. (2008). Sputnikovye GNSS-izmereniya v rezhime real'nogo vremeni – GSM RTK. *Geoprofi – Geoprofi*, 2, 47–49. [in Russian].

А.Н. Самойленко,

С.А. Сыкал

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУТЕВОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ УКРАИНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ КСКУ-20XX

В статье представлена условная система координат Украинской железной дороги УСКУ-20XX как промежуточная между Международной референсной системой отсчета ITRF20XX и предложенной авторами Путевой системой координат Украинской железной дороги КСКУ-20XX, которая максимально отвечает техническим и организационным требованиям к работам, которые выполняются на пути и возле него, а также пригодная для обеспечения навигации поездов.

Ключевые слова: *условная система координат, путевая система координат, украинская железная дорога, формулы, аппроксимация, вычисления, инфраструктура.*

A. Samoilenko,
S. Sykal

MAIN PRINCIPLES OF CREATION AND USE OF THE COLLECTION SYSTEM OF COORDINATE OF UKRZALISKI KSKU-20XX

The article describes the conditional coordinate system of JSC «Ukrzaliznytsia» USKU-20XX as the intermediate system between the International Earth Reference Frame ITRF20XX, in which the GNSS receivers work, and the offered KSKU-20XX Coordinate System of JSC 'Ukrzaliznytsia', in which there will be solved the problems, related to location, speed and acceleration of moving objects on the track, and their control in space and time, including provision of their navigation in real time. These systems meet technical and organizational requirements for the work performed on the track and near it at maximum rate, and are also suitable for providing trains' navigation, which in its turn will allow all services, enterprises and units of JSC «Ukrzaliznytsia» to quickly, precisely and unambiguously locate on the map and space not only any objects (switches, catenary masts, platforms, boundaries of land plots, etc.), but also problems occurred with them.

Keywords: Conditional coordinate system, Track coordinate system, Ukrainian Railways, formulas, approximation, calculations, infrastructure.

Надійшла до редакції

20.09.2017

УДК 528.2

А.П. Исаев, канд. техн. наук, доцент

Р.В. Шульц, д-р техн. наук, профессор

Ю.Ф. Гуляев, доцент кафедры инженерной геодезии

В.С. Стрилец, ас. кафедры инженерной геодезии

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСАДКИ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ)

В статье рассмотрен подход к выполнению предварительного расчета точности геодезических измерений осадок статически неопределимых конструкций на примере прямолинейного вертикального стержня. Предложено для выполнения расчетов использовать базовые принципы строительной механики. Расчеты выполнены исходя из принципа напряженно-деформированного состояния конструкций. Представлен анализ механического движения сооружения во время осадки, при этом рассмотрены две модели сооружения – в виде абсолютно твердого тела и деформируемого тела. Показана связь осадки с деформациями элементов конструкций и напряжениями в их сечениях.

© А.П. Исаев, Р.В. Шульц,
Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец, 2017