УДК 528.8 DOI: 10.33744/0365-8171-2021-110-051-059

ГЕОДЕЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

GEODESIC TECHNOLOGIES FOR SPATIAL DATA COLLECTING FOR HIGHWAYS DIAGNOSTICS AND CERTIFICATION

***Ляшенко Дмитро Олексійович**, доктор географічних наук, доцент, ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, професор кафедри геоінформатики, e-mail: uageog@gmail.com, тел. +380673235684,*

https://orcid.org/0000-0001-5588-0322

***Павлюк Дмитро Олександрович**, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, професор, ntupavlukd@gmail.com, +380672099378,*

https://orcid.org/0000-0003-4493-4238

Анотація. У статті розглянуті питання геодезичного забезпечення діагностики та паспортизації автомобільних доріг. Визначена роль геодезичних робіт у підвищення ефективності системи управління якістю в дорожньо-будівельних організаціях України.

Ключові слова: просторові дані, геодезія, геодезичний моніторинг, дорожнє будівництво, діагностика автомобільних доріг, паспортизація автомобільних доріг.

Вступ. Розвиток мережі доріг та дорожньої інфраструктури в Україні передбачає облік, оцінювання автомобільних доріг та будівництво нових сучасних автомагістралей із високими транспортно-експлуатаційними характеристиками. Зростання рівня інформаційного забезпечення управління у транспортній галузі є надзвичайно актуальним завданням, вирішення якого необхідне для ля інтеграції України у Європейську спільноту.

Мета і методи. Нині основними засобами збирання даних про стан автомобільних доріг є інвентаризація та паспортизація.

Інвентаризація – одночасний кількісний облік дорожніх споруд з оцінкою їх стану, який здійснюється регулярно 1 раз на 8…10 років. В ході інвентаризації встановлюють або уточнюють геометричні параметри доріг, тип і стан покриття, його міцність, а також здійснюють інвентаризацію дорожніх споруд (мостів, шляхопроводів, труб, службових і технічних будинків та споруд тощо). Згідно з нормативами, інвентаризація нових доріг або доріг після реконструкції провадиться не пізніше ніж через півроку після затвердження актів державної приймальної комісії. Натомість паспортизація – систематичний технічний облік стану дороги і дорожніх споруд. Паспорт – це найважливіший документ технічного обліку даних щодо дороги, на підставі якого визначають норми витрат на ремонт і утримання, техніко-експлуатаційні показники. Паспорт містить: схему дороги (масштаб довільний) із

прив'язкою до кілометражу і зазначеними перехрестями, розв'язками, кордонами адміністративних районів. В інші розділи заносять усі загальні відомості про дорогу, економічні характеристики, статистичні дані про склад руху, технічні дані на окремі споруди й елементи (земляне полотно, проїзна частина тощо), дані про грошові витрати на ремонт, утримання і реконструкцію доріг з моменту введення дороги в експлуатацію (поточний ремонт не зазначається).

В Україні існують проблеми геоінформаційного забезпечення автодорожнього комплексу. В системі управління станом покриття автомобільних доріг [6] враховуються дані, наведені на рисунку 1.

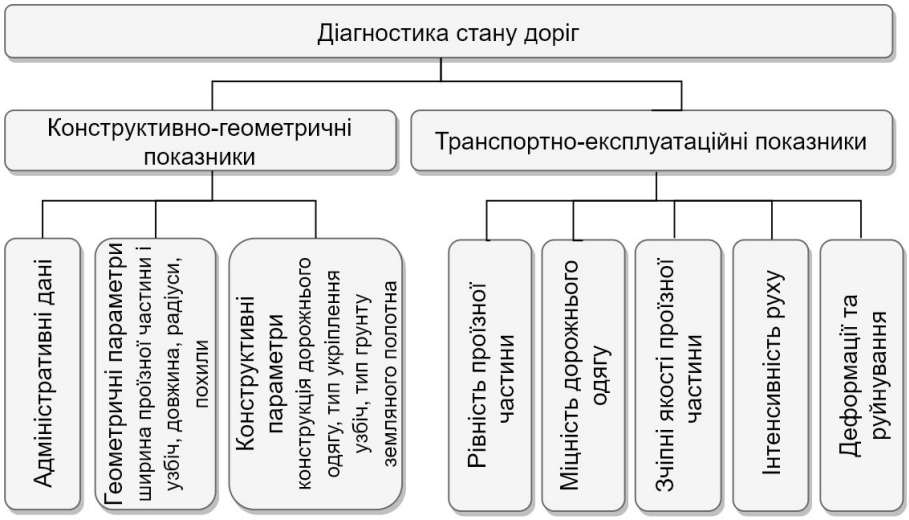

Рисунок 1 – Склад даних, що збираються для завдань управління станом покриття автомобільних доріг.

Figure 1 – The data composition collected for the tasks of the state of highways coverage control.

Геометричні параметри беруться з технічного паспорту автомобільної дороги [7], при необхідності проводять вимірювання геометричних елементів інструментально на місцевості. До цих параметрів відносяться: 1) показники системи конструктивно-геометричних показників: геометричні параметри дороги (як правило, визначена чи приведена середня ширина, довжина, радіуси, значення похилів та ін.) і конструктивні параметри проїзної частини;

2) рівність проїзної частини;

3) систему показників деформацій (або руйнувань), наприклад, проломів, тріщин, зсувів, вибоїн, часткового або повного руйнування, пошкоджень [6];

Нажаль, вирішення наукових та практичних задач щодо вимірювання конструктивно-геометричних показників та деформацій в Україні ведеться епізодично розрізненими організаціями, що призводить до послаблення ефективності роботи, зниження надійності та якості будівництва і, як наслідок, до підвищення аварійності.

Геометрична точність визначення цих параметрів на практиці є надзвичайно низькою. Відсутні технічні регламенти щодо координатного забезпечення інвентаризації та паспортизації автомобільних доріг. Як уже зазначалося, картографічні матеріали паспорту дороги складаються у довільному масштабі. Прив'язка технічних даних на окремі споруди й елементи (земляне полотно, проїзна частина тощо) здійснюється до кілометражу з недостатньою точністю.

Рекомендації, щодо використання геоінформаційних систем розроблені Державним підприємством - українським державним інститутом з проектування об'єктів дорожнього господарства мають надто загальний характер та містять ряд дискусійних положень [8].

Зокрема сумнівним є можливість опису положення всіх просторових об'єктів для всіх автомобільних доріг України у системі прямокутних тривимірних координатах через кулястість Землі. В документі відзначається необхідність перезбереження геоінформації у базі даних при зміні картографічних проекцій, але не вказується вид проекцій, необхідна точність просторових даних.

Викладені положення зумовлюють необхідність розроблення нових підходів до реалізації завдань координатного забезпечення та збирання просторових даних для діагностики, інвентаризації та паспортизації доріг з урахуванням новітніх досягнень науки та геодезичного виробництва.

Метою статті є визначення головних особливостей геодезичних технологій збирання просторових даних для діагностики та паспортизації автомобільних доріг.

Реалізація сформульованої мети передбачає вирішення таких завдань:

- вивчення вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування геодезичних технологій інвентаризації, паспортизації та моніторингу автомобільних доріг;
- визначення рівнів та організації безперервного геотехнічного моніторингу автомобільних доріг та дорожньої інфраструктури;
- визначення напрямів використання сучасних геодезичних технологій для дослідження геометричних параметрів автомобільних доріг.

Результати і пояснення. Потребує узагальнення досвід використання різних технологій для інженерного геодезичного моніторингу об'єктів транспортної інфраструктури.

Вітчизняні фахівці наголошують на актуальності створення автоматизованих систем деформаційного моніторингу мостів [9]. Колектив авторів здійснює обґрунтування створення нової інтелектуальної інформаційно-комунікаційної технології спостереження за станом автомобільних доріг [1]. Слід позитивно охарактеризувати ініціативу колег щодо розроблення рекомендацій по застосуванню геоінформаційних технологій корпорації Autodesk в дорожньому господарстві [8].

Закордонні науковці активно використовують технології геодезії та геоматики у збиранні, обробленні та інтерпретації результатів польових випробувань щодо геометричних характеристик автомобільних доріг, мостів.

Нині в більшості іноземних країн запроваджуються технології автоматизації процесів збирання та оброблення даних про стан автомобільних доріг, зокрема шляхом використання електронних геодезичних приладів (електронних тахеометрів, цифрових нівелірів, ГНСС-приймачів, лазерних сканерів, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як показано на рисунку 2.

Рисунок 2 – Різні види обладнання, що використовуються для визначення параметрів автомобільних доріг у Швеції [17].

Figure 2 – Various types of equipment used to determine the parameters of highways in Sweden [17].

Широко розповсюджена методика спільного застосування акселерометрів з приймачами сигналів навігаційних супутників GPS та (BeiDou navigation System - BDS), які монтуються на автомобілі та велосипеди [21] та збирають просторові дані щодо нерівності поверхні автомобільних доріг.

Китайські фахівці повідомляють про розроблення і використання приладу, що комбінує акселерометри з GPS для отримання просторово координованих даних щодо якості дорожнього одягу [12, 13].

Японські колеги використовують вимірювання міжнародного індексу рівності (IRI) для оцінки громадських доріг у містах префектури Хоккайдо і застосовують географічну інформаційну систему ArcGIS для упорядкування баз просторових даних і ефективного способу їхньої візуалізації на цифрових картах доріг приведені на рисунку 3 [10].

Широко застосовуються технології дистанційного зондування Землі. Колектив учених з США, Японії та Індонезії застосував супутниковий радіолокаційний моніторинг (PSI-SAR – радіолокацію з синтезованою апаратурою) для виявлення та вимірювання зміщень автомобільних доріг та елементів рельєфу земної поверхні внаслідок зсувів на території Західної Суматри (Індонезія). Геокодовані геозображення контурів деформації земної поверхні були накладені на фотограмметричну модель території дослідження [15].

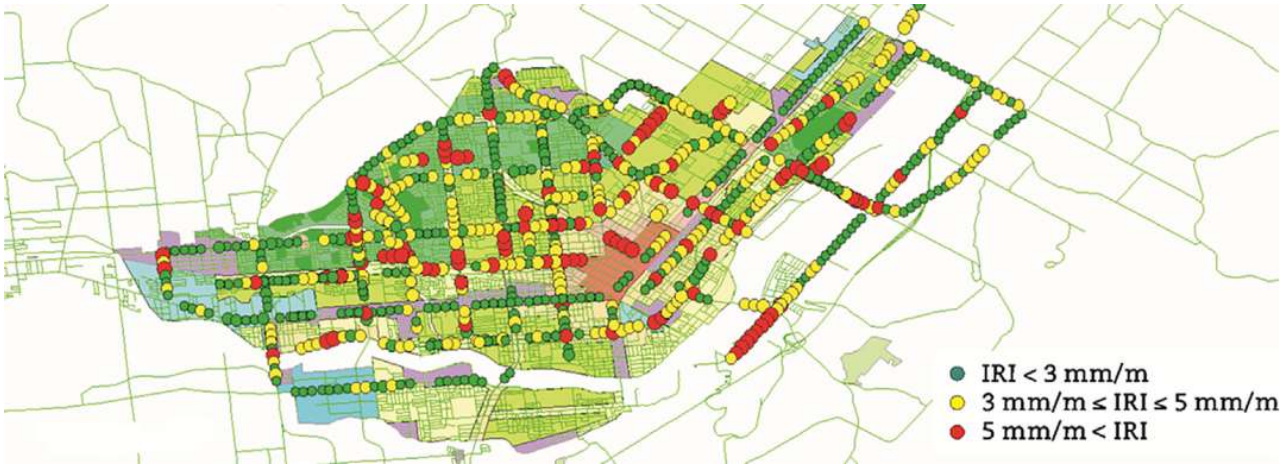

Рисунок 3 – Візуалізація індексу рівності доріг за допомогою програмного забезпечення ArcGIS [10].
Figure 3 – Visualization of International Roughness Index using ArcGIS software [10].

Окрема тема досліджень закордонних колег полягає у розробленні систем автоматичного моніторингу та визначенні деформації мостових переходів у реальному часі за допомогою супутникових приймачів BDS та GPS [11, 19, 20].

Заслуговує на увагу розробки стосовно методології проектування підземних мереж у довгих тунелях за допомогою гіротеодолітів. Зокрема слід відзначити роботу іспанських колег, присвячену геодезичному забезпеченню будівництва високошвидкісних залізничних тунелів в Іспанії [18].

Слід відзначити ряд публікацій, присвячених застосуванню мобільного лазерного сканування для створення інформаційних продуктів, які служать для картографування паводків, планування стоку вод з поверхні та інвентаризації доріг [14, 16].

Розвиток сучасного транспорту і інфраструктури неможливий без застосування неперервного геотехнічного моніторингу. Слід визначити такі територіальні рівні моніторингу:

– локальний (частіше наземний або геодезичний);

– регіональний (повітряний або космічний);

– глобальний (космічний і космічний з наземної підтримкою).

Комплексний моніторинг автомобільних доріг також базується на використанні великої кількості фізичних, математичних, інформаційних, картографічних і цифрових моделей. Це обумовлює необхідність узагальнення досвіду моніторингу та подальшого його дослідження як нового наукового напряму.

Дані про якісний стан автомобільних доріг повинні використовуватися для вирішення таких завдань:

- стратегічного довгострокового планування (знання стану всієї дорожньої мережі);
- моніторингу об'єктів та проектів (поточний збір даних при будівництві, реконструкції та обслуговуванні доріг);
- плануванню розвитку дорожньої мережі;
- контролю якості виконання робіт підрядниками.

Комплекс робіт з діагностики та моніторингу автомобільних доріг є складовими системи управління дорожнім господарством і перевезеннями і складаються з таких етапів: збирання польових даних, їх аналіз та прийняття управлінських рішень (рис.4) у сферах безпеки, комфорту водіїв, тривалості майбутньої експлуатації доріг, стану навколишнього природного середовища.

Відомо, що геотехнічний моніторинг споруд, - це комплекс заходів, які забезпечують регулярне спостереження (моніторинг) за технічним станом територій та ґрунтових мас з метою попередження негативних явищ, що впливають на цілісність і надійність об’єктів спостереження [3].

Рисунок 4 – Рівні використання технічних параметрів та показників моніторингу для управління дорожнім господарством.

Figure 4 – Levels of technical parameters and monitoring indicators usage for road management.

У розвинутих країнах створюються системи, які в автоматизованому режимі повідомляють операторів, про структурні деформації будівель і споруд (мостів, тунелей, насипів, відкосів, інших інженерних споруд та їхніх частин).

Склад і обсяги робіт із діагностики автомобільних доріг залежать від виду та періодичності обстеження. Зазвичай враховуються наступні показники:

- геометричні параметри;
- характеристики міцності дорожнього одягу;
- рівність і зчіпні якості покриття;
- стан проїжджої частини й узбіч;
- стан водовідвідних споруд;
- стан елементів інженерного облаштування дороги.

Проведений аналіз існуючих методів визначення геометричних параметрів автомобільних доріг в Україні показав, що головними їх недоліками є такі: низька продуктивність випробувань внаслідок використання ручної праці оператора, значна вага та громіздкість обладнання, небезпека потрапляння оператора під колеса дорожньо-будівельної техніки чи рухомого транспорту та інші.

Таблиця 1 – Сучасні методи дослідження геометричних параметрів автомобільних доріг
Table 1 – Modern methods of highways geometrical parameters studying

Назва методу	Геометричні параметри дороги
Високоточне нівелювання	Ширина проїзної частини, Кількість смуг руху та ширина кожної смуги, Ширина узбіч, Поздовжні та поперечні ухили; Рівність дорожнього покриття; Глибина та ширина колії, Висота та ширина випору
ГНСС-вимірювання	
Лінійно-кутові вимірювання	
Наземне лазерне сканування	
Стереофотограмметричний	

Методи та прилади для геометричного контролю структурних деформацій поділяються на дві групи відповідно до двох основних груп професіоналів, які використовують ці методи [11]:

1) Геодезичні – технології глобальних систем супутникового позиціювання (ГНСС), дистанційні (БПЛА, літаки, штучні супутники Землі) фотограмметричні, наземні геодезичні вимірювання (за допомогою теодолітів, гіротеодолітів, нівелірів, тахеометрів, лазерних сканерів тощо).

2) Геотехнічні структурні вимірювання локальних деформацій з використанням датчиків нахилу, деформаційних датчиків, екстензометрів[1], лазерних датчиків тощо [4].

Кожен спосіб вимірювань має свої переваги та недоліки. Метод лазерного вимірювання відстані та роботи з геодезичними інструментами залежить від погодних умов (туман, дощ, імла). Геотехнічні структурні вимірювання часто супроводжуються зупинкою руху транспорту на ділянках досліджуваних доріг, що не завжди виправдане з економічних міркувань.

Геотехнічні методи найкраще підходять для дослідження об’єктів невеликої протяжності, при чому амплітуда зміщень і деформацій незначні. Отже, для таких інженерних споруд як автомобільні дороги, мости та тунелі ці методи мають обмежене використання.

Перевагою геодезичних спостережень, що виконуються шляхом побудови мережі точок та вимірювань кутів і відстаней, є те, що вони забезпечують надмірні спостереження, що дозволяє оцінити їх точність та виявити похибки (грубі, випадкові та систематичні).

В результаті геодезичних спостережень отримуються просторові дані (ПД), які слід визначити як набори даних або бази даних про об'єкти реального світу, що мають певне місцеположення на поверхні Землі, зафіксоване у встановленій системі просторово-часових координат [5]. Нині якісні просторові дані є невід’ємною частиною видів діяльності, пов’язаних з будівництвом, дослідженням та експлуатацією інженерної інфраструктури.

Останні досягнення в галузі комп'ютерних технологій та геоматики дозволили використовувати точне геодезичне обладнання для вимірювання та контролю деформації інженерних споруд, зокрема автомобільних доріг. Поява сучасних тахеометрів дозволяє працювати без кутникових відбивачів. Технології супутникового позиціювання підвищують автономність вимірювання координат об’єктів.

Види і методи спостережень за деформаціями споруд обираються таким чином, щоб їх можна було виразити в показниках відповідного критерію безпеки. Для кожного виду і методу спостережень визначаються вимірювані параметри, форма їх представлення і необхідна точність вимірювань. При

1 Пристрій, який дозволяє визначити ступінь деформації твердих тіл.

виборі методів і засобів вимірювань враховується необхідність найбільш повного виключення систематичних похибок вимірювань.

Система спостережень (моніторингу) найчастіше складається з кількох блоків [3]:

- система спостережень за станом навколишнього масиву ґрунту за межами огороджувальних конструкцій об'єкта;
- система спостережень за деформаціями конструкцій споруджуваного об'єкта;
- система спостережень за існуючими об'єктами, розташованими в зоні впливу будівництва.

Звичайно, геодезичне моделювання об'єкта (і його оточення) означає закріплення на місцевості мережі дискретних точок таким чином, щоб точки найкращим чином характеризували об'єкт, а також ряду точок що представляють рухи і деформації об'єкта. Це означає, що моделюються як геометрія об'єкта але і процес деформації. Спостереження за геометричними характеристиками в певні проміжки часу, дозволяє охарактеризувати рухи об'єкту (осідання, просідання, набухання і усадки) [2]. Це дозволяє контролювати моделі, які описують статичні, кінематичні та динамічні параметри доріг.

Перспективним є застосування разом із статичними також і кінематичних моделі деформацій, які дозволяють оцінити швидкість і навіть прискорення руху точок контролю.

Висновки та рекомендації. Підвищення якості автомобільних доріг, мостів та тунелів пов'язане з оперативним збиранням просторових даних для завдань діагностики та прийняття на їх основі обґрунтованих управлінських рішень. Результат роботи визначається повнотою, якістю та своєчасністю отримання просторових даних щодо геометричних параметрів доріг від геодезистів та інших якісних даних про стан доріг від інших фахівців. Будівельна організація в процесі планування, здійснення та контролю будівельних процесів на всіх стадіях життєвого циклу автомобільної дороги для забезпечення відповідності її вимогам якості потребує цілий ряд геометричних параметрів (поздовжні та поперечні ухили; рівність дорожнього покриття; глибина та ширина колії тощо).

Здійснений аналіз засвідчив, що нині отримання цих параметрів найзручніше здійснювати за допомогою новітніх геодезичних технологій: високоточного нівелювання, ГНСС-вимірювань, лінійно-кутових вимірювань, наземного лазерного сканування, стереофотограмметричного.

Оперативність, швидкість та якість просторових даних, отриманих за допомогою новітніх технологій призведе до підвищення конкурентоспроможності будівельної організації та підвищенню безпеки водіїв.

Перелік посилань

1. Алексієв В.О. [и др.]. Інтерактивний моніторинг автомобільних доріг : монографія / В.О. Алексієв, О.П. Алексієв, А.А. Видмиш, В.О. Хабаров, Вінниця: ВНТУ, 2012. 144 с.

2. Баран П.І. Інженерна геодезія : Монографія / П.І. Баран, Київ: Віпол, 2012. 618 с.

3. Дишлик А., Марков Е., Кожан Е. Комплексний геотехнічний моніторинг як основа збереження пам'яток архітектури // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2010. № II (20). С. 135–141.

4. Зацаринный А.В. Автоматизация высокотчных инженерно-геодезических измерений / А.В. Зацаринный, М.: Недра, 1976. 247 с.

5. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Горковчук М.В. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних // Вісник геодезії та картографії. 2012. № 4. С. 33–42.

6. Рибіцький Л.Л. [и др.]. Система управління станом покриттів автомобільних доріг. Інструкція до формування банків даних для Системи за результатами натурних обстежень автомобільних доріг / Л.Л. Рибіцький, С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ, Українська державна корпорація "Укравтодор":, 2001. 26 с.

7. Сизоненко В. [и др.]. Паспорт автомобільної дороги. СОУ 45.2-00018112 - 038 : 2009 / В. Сизоненко, С. Галімський., Л. Рибіцький, М. Гуков, К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. 76 с.

8. Сизоненко В.В., Рибіцький Л.Л. Рекомендації по застосуванню геоінформаційних технологій в дорожньому господарстві. Р В.3.1-218-05416892-735:2008. / В.В. Сизоненко, Л.Л. Рибіцький, К.:, 2008. 30 с.

9. Старовєров В., Адаменко О. Геодезичний моніторинг мостів // Geodesy, architecture & construction 2011" (GAC-2011), 24-26 November 2011. С. 168–171.

10. Abulizi N. [и др.]. Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016. № 5 (3). С. 398–411.

11. Beshr A.A.E.-W. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques // Engineering. 2015. № 08 (07). С. 488–498.

12. Du Y. [и др.]. Measurement of International Roughness Index by Using Z -Axis Accelerometers and GPS // Mathematical Problems in Engineering. 2014. (2014). С. 1–10.

13. Kongyang Chen [и др.]. Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, 2011. 1032–1037 с.

14. Kumar P. [и др.]. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. (32). С. 125–137.

15. Razi P. [и др.]. 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV // IEEE Access. 2018. (6). С. 12395–12404.

16. Shams A. [и др.]. Highway Cross-Slope Measurement Using Mobile LiDAR // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2018. С. 036119811875637.

17. Sjögren L. Overall quality management of road condition monitoring: a case study / L. Sjögren, 2015. 21 с.

18. Velasco-Gómez J. [и др.]. Use of the gyrotheodolite in underground networks of long high-speed railway tunnels // Survey Review. 2016. № 350 (48). С. 329–337.

19. Xi R. [и др.]. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques // Measurement. 2018. (120). С. 128–139.

20. Yang J. [и др.]. Automatic deformation monitoring for large span bridge based on multi-constellation BDS and GPS system // International Journal of Robotics and Automation. 2018. № 5 (33).

21. Zang K. [и др.]. Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors on Bicycle-Mounted Smartphones // Sensors. 2018. № 3 (18). С. 914.

GEODESIC TECHNOLOGIES FOR SPATIAL DATA COLLECTING FOR HIGHWAYS DIAGNOSTICS AND CERTIFICATION

Liashenko Dmytro Oleksiiovych, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of Road Design, Geodesy and Land Management Department, e-mail: uageog@gmail.com, +380673235684, https://orcid.org/0000-0001-5588-0322.

Pavlyuk D.O., National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, postgraduate student, Dr.Tech. Sci., professor. https://orcid.org/0000-0003-4493-4238

Summary. The article is devoted to geodetic supply of highways diagnostics and certification. The role of geodetic techniques for improving the efficiency of the quality management system in road construction organizations of Ukraine is determined.

Key words: spatial data, geodesy, geodetic monitoring, road construction, diagnostics of highways, certification of highways.

References

1. Aleksiiev V.O. [and etc]. Interaktyvnyi monitorynh avtomobilnykh dorih : monohrafiia / V.O. Aleksiiev, O.P. Aleksiiev, A.A. Vydmysh, V.O. Khabarov, Vinnytsia: VNTU, 2012. 144 c.

2. Baran P.I. Inzhenerna heodeziia : Monohrafiia / P.I. Baran, Kyiv: Vipol, 2012. 618 c.

3. Dyshlyk A., Markov E., Kozhan E. Kompleksnyi heotekhnichnyi monitorynh yak osnova zberezhennia pamiatok arkhitektury // Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. 2010. № II (20). C. 135–141.

4. Zatsarynnui A.V. Avtomatyzatsyia vusokotchnukh ynzhenerno-heodezycheskykh yzmerenyi / A.V. Zatsarynnui, M.: Nedra, 1976. 247 c.

5. Karpinskyi Yu.O., Liashchenko A.A., Horkovchuk M.V. Kontseptualni zasady otsiniuvannia ta zabezpechennia yakosti heoprostorovykh danykh // Visnyk heodezii ta kartohrafii. 2012. № 4. C. 33–42.

6. Rybitskyi L.L. [and etc]. Systema upravlinnia stanom pokryttiv avtomobilnykh dorih. Instruktsiia do formuvannia bankiv danykh dlia Systemy za rezultatamy naturnykh obstezhen avtomobilnykh dorih / L.L. Rybitskyi, S.S. Kyzyma, O.P. Kanin, M.M. Lykhostup, Ukrainska derzhavna korporatsiia “Ukravtodor”:, 2001. 26 c.

7. Syzonenko V. [and etc]. Pasport avtomobilnoi dorohy. SOU 45.2-00018112 - 038 : 2009 / V. Syzonenko, S. Halimskyi., L. Rybitskyi, M. Hukov, K.: Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy (Ukravtodor), 2009. 76 c.

8. Syzonenko V.V., Rybitskyi L.L. Rekomendatsii po zastosuvanniu heoinformatsiinykh tekhnolohii v dorozhnomu hospodarstvi. R V.3.1-218-05416892-735:2008. / V.V. Syzonenko, L.L. Rybitskyi, K.:, 2008. 30 c.

9. Starovierov V., Adamenko O. Heodezychnyi monitorynh mostiv // Geodesy, architecture & construction 2011” (GAC-2011), 24-26 November 2011. C. 168–171.

10. Abulizi N. [and etc]. Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016. № 5 (3). C. 398–411.

11. Beshr A.A.E.-W. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques // Engineering. 2015. № 08 (07). C. 488–498.

12. Du Y. [and etc]. Measurement of International Roughness Index by Using Z -Axis Accelerometers and GPS // Mathematical Problems in Engineering. 2014. (2014). C. 1–10.

13. Kongyang Chen [and etc]. Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, 2011. 1032–1037 s.

14. Kumar P. [and etc]. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. (32). C. 125–137.

15. Razi P. [and etc]. 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV // IEEE Access. 2018. (6). C. 12395–12404.

16. Shams A. [and etc]. Highway Cross-Slope Measurement Using Mobile LiDAR // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2018. C. 036119811875637.

17. Sjögren L. Overall quality management of road condition monitoring: a case study / L. Sjögren, 2015. 21 c.

18. Velasco-Gómez J. [and etc]. Use of the gyrotheodolite in underground networks of long high-speed railway tunnels // Survey Review. 2016. № 350 (48). C. 329–337.

19. Xi R. [and etc]. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques // Measurement. 2018. (120). C. 128–139.

20. Yang J. [and etc]. Automatic deformation monitoring for large span bridge based on multi-constellation BDS and GPS system // International Journal of Robotics and Automation. 2018. № 5 (33).

21. Zang K. [and etc]. Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors on Bicycle-Mounted Smartphones // Sensors. 2018. № 3 (18). C. 914.