

УДК 528.8:625.72

А.Г. Батракова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

## МЕТОД ГЕОДЕЗИЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ПРИ МОНІТОРИНГУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

На підставі результатів проведеного порівняльного аналізу методів і технічних можливостей сучасних геоінформаційних систем запропоновано нові підходи до вирішення актуальних практичних завдань моніторингу поточного стану автомобільних доріг та інженерних споруд. При проведенні аналізу використовувалися як чинні світові стандарти, так і розробки вітчизняних вчених. Запропонований підхід може скласти основу нового напрямку, що полягає в об'єднанні геоінформаційних технологій та неруйнівного контролю з метою підвищення ефективності систем моніторингу поточного стану автомобільних доріг.

**Ключові слова:** геодезичні дані, геоінформаційні технології, моніторинг, автомобільна дорога.

### Постановка проблеми

Класичне застосування геодезичної прив'язки (geodetic datum) полягає у вирішенні завдань визначення форми і розмірів як земної поверхні в цілому, так і окремих її ділянок [1-6]. Для вирішення цих завдань необхідне введення загальної (універсальної) координатної системи. Нажаль, зважаючи на наявність специфічних вимог для вирішення ряду прикладних задач і різних підходів до розробки баз даних, в даний час не існує єдиного всесвітнього стандарту геодезичних даних. Розвиток супутникової геодезії призвів до переходу від сферичної моделі Землі до еліпсоїдальних моделей, що засновані на підсумках багаторічних спостережень зі супутників. Подальший розвиток стандартів геодезичних даних привів до використання поряд з найпростішими моделями плоскої (точніше кажучи - локально плоскої) поверхні до складних комплексних моделей, які практично у максимально повній формі описують не тільки розміри і форму, але й кутову швидкість, гравітаційні параметри, орієнтацію ділянок земної поверхні. Ці результати є фундаментальною частиною систем навігації, картографії, астрономії та інших. Оскільки вимоги до точності і надійності геодезичних даних постійно зростають, виникає необхідність в розробці спеціалізованих методів і технічних засобів метрологічного забезпечення. В результаті до теперішнього часу в системах глобального позиціонування (Global Positioning System - GPS) вдалося досягти точності визначення координат порядку декількох сантиметрів [7,8].

З розвитком і вдосконаленням комп'ютерних технологій, з'являються можливості не тільки для розвитку традиційних методів отримання і обробки

GPS даних, але й відкриваються принципово нові перспективи спільного застосування GPS і методів неруйнівного контролю. Ці завдання набувають особливої актуальності в дорожній галузі, де крім знання геометричних параметрів дорожніх конструкцій необхідна оцінка поточного технічного стану конструкції в цілому та окремих її елементів. Відповідно до логіки дослідження, розглянемо результати в галузі контролю поточного стану автомобільних доріг і запропонуємо можливі схеми об'єднання цих результатів в систему моніторингу.

### Аналіз сучасних досліджень і публікацій

При вирішенні завдань моніторингу поточного стану автомобільних доріг виникають як завдання неруйнівного контролю (геометричних параметрів і технічного стану всієї конструкції) так і завдання прив'язки отриманих даних до координат на земній поверхні. Зрозуміло, що технічні засоби та програми обробки повинні бути адаптовані до можливостей сучасних реляційних баз даних, а в перспективі й до баз знань. Тому спочатку розглянемо можливості засобів неруйнівного контролю. Досить повний порівняльний аналіз різних методів контролю стану дорожнього одягу наведено в [9]. Результати аналізу технічних можливостей засобів контролю із залученням найбільш ефективних хвильових методів представлені в табл. 1. Аналіз отриманих результатів свідчить, що найбільший потенціал для діагностики автомобільних доріг мають імпульсні георадари, що застосовуються як самостійно, так і в комбінації з іншими технічними засобами [10].

**Метою цієї статті** є розроблення способу геопозиціонування та прив'язки результатів підповерхневого зондування при моніторингу автомобільних доріг.

Таблиця 1

Аналіз хвильових методів

Технічні можливості	Тепловізор	НВЧ радіометр	Ультразвукові та сейсмічні методи	Георадар
Рух зі швидкістю потоку	Так	Так	Ні	Так
Зондування на всю глибину конструкції	Ні	Так	Так	Так
Незалежність від погодних умов (освітленість, вітер)	Ні	Ні	Так	Так
Незалежність від опадів (дощу, снігу)	Ні	Ні	Обмежено	Обмежено
Виявлення та ідентифікація підповерхневих дефектів (тріщин, зон перезволоження, зниженої щільності)	Так	Ні	Обмежено	Так

**Виклад основного матеріалу**

При проведенні обстеження автомобільних доріг за допомогою георадарних технологій виникають три види завдань:

- отримання первинних даних зондування,
- прив'язка отриманих даних до конкретної ділянки дороги,
- збереження даних у спеціалізованих числових форматах для подальшого опрацювання та використання.

Методи і засоби одержання первинних даних зондування автомобільних доріг за допомогою георадарів досить докладно описані в роботах [11-15]. Тому в даній статті основну увагу приділимо проблемам позиціонування результатів зондування.

Здійснити прив'язку до конкретної ділянки

дороги можна за допомогою сучасних методів і засобів геопозиціонування. Однак, як показав практичний досвід, при цьому утруднений поточний контроль і верифікація даних. Крім того, такий підхід вимагає коштовної апаратури.

Тому пропонується здійснення прив'язки за даними датчика переміщень, встановленого на автомобілі, збереження даних в спеціалізованому форматі з наступною передачею в базу даних з прив'язкою до системи GPS. Для реалізації поставлених завдань був проведений аналіз моделей (принципів роботи) датчиків переміщення з метою вибору оптимального варіанту. Результати аналізу представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз датчиків переміщень

Тип датчика	Переваги	Недоліки
Оптичний зовнішній	Висока роздільна здатність.	Можливі пропуски імпульсів синхронізації при використанні в умовах забруднень. Похибки, пов'язані з вертикальним рухом осі колеса відносно датчика.
Оптичний вбудований	Висока роздільна здатність. Не заважає роботі систем автомобіля. Малі габарити.	Потрібно втручання в агрегати автомобіля. Датчик приводиться до руху тросом спідометру.
Магнітний зовнішній	Стійкість до забруднень.	Похибки, пов'язані з вертикальним рухом осі колеса відносно датчика.

Серед безконтактних датчиків слід згадати оптичні та магнітні датчики. Принципи їх роботи базуються на тому, що або світловий, або магнітний потік переривають за допомогою спеціальних діафрагм. Електричні сигнали, що формуються датчиками, можуть бути передані до георадара та поставлені у відповідність до записаних радарограм.

Оптичні датчики мають високу роздільну здатність, але вони працюють в чистих умовах. В умовах, коли датчик може запилюватися, більш надійним є датчик, що використовує магнітне поле. Воно є нечутливим до забруднень і датчик

залишається в робочому стані навіть при тому, що його частини можуть бути вкриті пилом.

Окремо можна запропонувати вбудований оптичний датчик. Цей датчик можна з'єднати з тросом спідометра і приводити до руху при русі автомобіля – пересувної лабораторії. Його габарити малі. Він не заважає роботі агрегатів автомобіля і може залишатися на місці на той час, коли георадар не використовується. Тому при розробленні устаткування для встановлення апаратного вимірювального комплексу «Одязг-1» на пересувну лабораторію було застосовано вбудований датчик

переміщення (датчик швидкості).

Оскільки напруга живлення бортової мережі автомобіля дорівнює 12 В, а мікропроцесор георадара потребує сигналів амплітудою 3 В, то для узгодження рівнів сигналів було розроблено та виготовлено спеціалізований блок (рис.1).

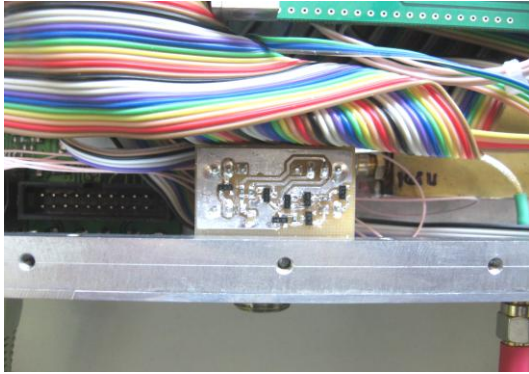


Рис. 1. Блок узгодження рівнів сигналів

Блок узгодження рівнів сигналів підключено до роз'єму датчика переміщення та мікропроцесора (рис. 2).



Рис. 2. Роз'єм датчика переміщення

Первинна обробка результатів та їх оцифрування здійснюється за допомогою програми «SignalProcessorEx», що є розробкою ІРЕ НАН України.

### Зондування з датчиком переміщення

Порядок роботи з датчиком переміщення:

- підключити датчик переміщення до георадара;
- у програмі «SignalProcessorEx» встановити маркер у вікні (рис. 3);

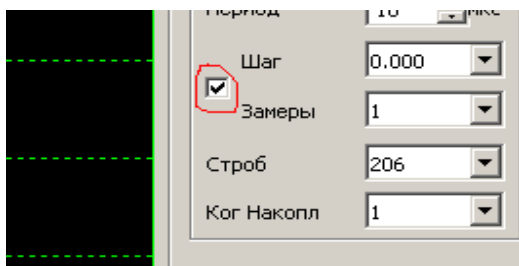


Рис. 3. Вікно програми «SignalProcessorEx»

- у вікні «Вимірювання» необхідно вибрати кількість вимірювань між імпульсами датчика переміщення в діапазоні від 1 до 255, якщо зондування проводиться менше ніж через 13 см (рис. 4 а);

- у вікні «Крок» можна вибрати довжину кроку вимірювання (кількість імпульсів від датчика переміщення, якими можливо знехтувати в серії вимірів). Ця функція необхідна для зменшення обсягу записаного файлу вимірювань (рис. 4 б);

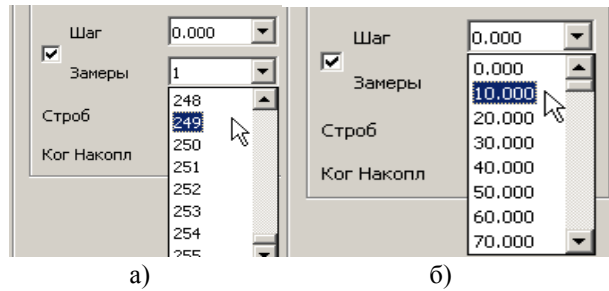


Рис.4 Вікно «Вимірювання»

При використанні зовнішнього датчика програма визначає напрямок руху георадара - прямий або зворотній. При русі в прямому напрямку відбуваються вимірювання у відповідності з налаштуваннями. У випадку руху в зворотному напрямку вимірювання не виконуються, відбувається тільки відлік відстані. Вимірювання почнуться, коли автомобіль буде рухатися у прямому напрямку і повернеться у вихідну точку, де було зроблено останній вимір. Ця функція необхідна для запобігання дублюванню даних, якщо під час вимірювань автомобіль повертається до вихідної точки маршруту зондування.

Для інтерпретації даних моніторингу фахівцями Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна була розроблена програма GeoVizu-2, яка дозволяє відображати серію сигналів (радарограму) або окремі сигнали, що обрані оператором (рис. 5).

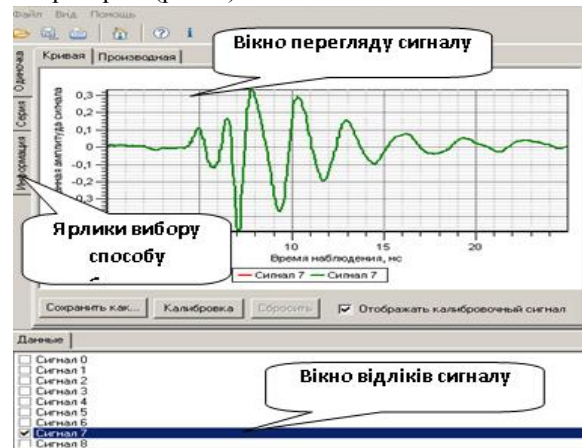


Рис. 5. Робоче вікно програми GeoVizu-2 при відображенні обраного сигналу

Головне меню програми містить функції: відображення радарограм; обробки радарограм; моделювання розповсюдження сигналів; вирахування обраного сигналу від усіх інших (до 6 відліків); пакетної обробка та модифікації сигналів; аналізу сигналів; налаштування програми; довідкові матеріали.

### Висновки

Запропоновано схему отримання та передачі з георадара на комп'ютер даних, що мають прив'язку до обраної ділянки автомобільної дороги. Проведене макетування схеми передачі даних та розроблений пристрій, що узгоджує логічні рівні напруги сигналів, що використовуються в платі управління, підтвердили високий потенціал запропонованого підходу.

Розроблено програмне забезпечення для отримання в автоматичному режимі даних моніторингу автомобільних доріг при русі лабораторії. Отримані дані використовуються для оцінки поточного стану конструкцій автомобільних доріг як самостійно, так й у складі відповідних баз даних. Окремо слід відзначити, що дані після обробки та інтерпретації отримують прив'язку до відповідних GPS баз даних, що забезпечує високу ефективність їх подальшого застосування для проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

### Література

1. Blewitt, G. (1989). *Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km*. *Journal of Geophysical Research*, 94(B8), 10187-10203
2. Heflin, M., Bertiger, W., Blewitt, G., Freedman, A., Hurst, K., Lichten, S., Lindqwister, U., Vigue, Y., Webb, F., Yunck, T. and Zumberge, J. (1992). *Global Geodesy Using GPS without Fiducial Sites*. *Geophysical Research Letters*, 19(2), 131-134
3. Larson, K. M., Freymueller, J.T., Philipsen, S. (1997). *Global Plate Velocities from the Global Positioning System*. *Journal of Geophysical Research*, 102(B5), 9961-9981
4. Overgaauw, B., Ambrosius, A.C., K.F. Wakker, K.F. (1994). *Analysis of the EUREF-89 GPS Data from the SLR/VLBI Sites*. *Bulletin Geodesique*, 68, 19-28
5. Reigber, C., Feissel, M. (1996). *IERS Missions, Present and Future. Report on the 1996 IERS Workshop: IERS Technical Note 22, Observatoire de Paris*, 50
6. Schwarz, C.R., Wade, E.B. (1990). *The North American Datum of 1983: Project Methodology and Execution*. *Bulletin Geodesique*, 64, 28-62
7. *Advanced Mission Planning Tool for Real-Time Kinematic (RTK) GPS Surveying : Technical report*. (2001). Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, 114
8. Jian Wang, A., Yang, Gao, Zengke, Li, Xiaolin, Meng, Craig, M. Hancock. (2016). *Tightly-Coupled GPS-INS-UWB Cooperative Positioning Sensors System Supported by V2I Communication*. *Sensors (Basel)*, 16(7), 944. Retrieved from

<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/7/944>

9. Батракова, А.Г. *Методология мониторинга дорожных одежд нежесткого типа с применением георадарных технологий [Текст] : дис.... докт. техн. наук. / А.Г. Батракова. — Харьков, 2014. — 397 с.*
10. Stroup-Gardiner, M., Brown, E.R. (2000). *Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements : Rep 441*. National Academy Press Washington : D.C., 104
11. Pochanin, G.P., Masalov, S.A., Ruban, V.P. (2016). *Advances in Short Range Distance and Permittivity Ground Penetrating Radar Measurements for Road Surface Surveying*, in: *Advanced Ultrawideband Radar: Signals, Targets and Applications*. CRC Press - Taylor & Francis Group, 20-65
12. Batrakov, D.O., Antyufeyeva, M.S., Antyufeyev, A.V., Batrakov, A.G. (2016) *Inverse problems and UWB signals in biomedical engineering and remote. Processing 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 5-11 September, Odessa, Ukraine, 148-151*
13. Batrakov, D.O., Antyufeyeva, M.S., Antyufeyev, A.V., Batrakov, A.G. (2016). *UWB Signal Processing During Thin Layers Thickness Assessment*. *IEEE Radar Methods and Systems Workshop, September 27-28, Kyiv, Ukraine, 36-39*
14. Batrakov, D.; Antyufeyeva; M., Antyufeyev; A., Batrakov, A. (2017). *Remote sensing of plane-layered media with losses using UWB signals*. *IEEE Conference Publications: XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT)*. 370–373
15. Batrakov, D.; Antyufeyeva; M., Antyufeyev; A., Batrakov, A. (2017). *GPR data processing for evaluation of the subsurface cracks in road pavements*. *IEEE Conference Publications: 9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)*, 1–6.

### Referenses

1. Blewitt, G. (1989). *Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km*. *Journal of Geophysical Research*, 94(B8), 10187-10203
2. Heflin, M., Bertiger, W., Blewitt, G., Freedman, A., Hurst, K., Lichten, S., Lindqwister, U., Vigue, Y., Webb, F., Yunck, T. and Zumberge, J. (1992). *Global Geodesy Using GPS without Fiducial Sites*. *Geophysical Research Letters*, 19(2), 131-134
3. Larson, K. M., Freymueller, J.T., Philipsen, S. (1997). *Global Plate Velocities from the Global Positioning System*. *Journal of Geophysical Research*, 102(B5), 9961-9981
4. Overgaauw, B., Ambrosius, A.C., K.F. Wakker, K.F. (1994). *Analysis of the EUREF-89 GPS Data from the SLR/VLBI Sites*. *Bulletin Geodesique*, 68, 19-28
5. Reigber, C., Feissel, M. (1996). *IERS Missions, Present and Future. Report on the 1996 IERS Workshop: IERS Technical Note 22, Observatoire de Paris*, 50
6. Schwarz, C.R., Wade, E.B. (1990). *The North American Datum of 1983: Project Methodology and Execution*. *Bulletin Geodesique*, 64, 28-62
7. *Advanced Mission Planning Tool for Real-Time Kinematic (RTK) GPS Surveying : Technical report*. (2001). Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, 114
8. Jian Wang, A., Yang, Gao, Zengke, Li, Xiaolin, Meng, Craig, M. Hancock. (2016). *Tightly-Coupled GPS-INS-UWB Cooperative Positioning Sensors System Supported by V2I Communication*. *Sensors (Basel)*, 16(7), 944. Retrieved from

<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/7/944>

9. Batrakova, A.G. (2014). *Methodology of nonrigid road pavements monitoring with application of georadar technologies. The dissertation on competition of a scientific degree of a Dr.Sci.Tech..* Kharkov, 397

10. Stroup-Gardiner, M., Brown, E.R. (2000). *Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements : Rep 441. National Academy Press Washington : D.C., 104*

11. Pochanin, G.P., Masalov, S.A., Ruban, V.P. (2016). *Advances in Short Range Distance and Permittivity Ground Penetrating Radar Measurements for Road Surface Surveying, in: Advanced Ultrawideband Radar: Signals, Targets and Applications. CRC Press - Taylor & Francis Group, 20-65*

12. Batrakov, D.O., Antyufeyeva, M.S., Antyufeyev, A.V., Batrakova, A.G. (2016) *Inverse problems and UWB signals in biomedical engineering and remote. Processing 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 5-11 September, Odessa, Ukraine, 148-151*

13. Batrakov, D.O., Antyufeyeva, M.S., Antyufeyev, A.V., Batrakova, A.G. (2016). *UWB Signal Processing During Thin Layers Thickness Assessment. IEEE Radar Methods and Systems Workshop, September 27-28, Kyiv, Ukraine, 36-39*

14. Batrakov, D.; Antyufeyeva; M., Antyufeyev; A., Batrakova, A. (2017). *Remote sensing of plane-layered media with losses using UWB signals. IEEE Conference Publications: XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). 370–373*

15. Batrakov, D.; Antyufeyeva; M., Antyufeyev; A., Batrakova, A. (2017). *GPR data processing for evaluation of the subsurface cracks in road pavements. IEEE Conference Publications: 9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR), 1–6.*

**Автор:** БАТРАКОВА Анжеліка Геннадіївна  
доктор технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри  
випробувань та проектування доріг й аеродромів  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет  
E-mail - rp@khadi.kharkov.ua  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4067-4371>

#### METHOD FOR GEODETIC DATUM EVALUATION DURING HIGHWAYS MONITORING

A. Batrakova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

*Based on the results of the comparative analysis of methods and technical capabilities of modern GPS, new approaches to solving such actual practical problems as monitoring of the current state of highways pavements and engineering structures are proposed. During the provided analysis, both the current world standards and the development of domestic scientists were used. The proposed approach can form the basis of a new scientific direction, consisting of combining GPS technologies and non-destructive testing to improve the quality of the monitoring of the current state of highways pavements. The scheme of receiving and transmitting data from a GPR to a computer that has anchorage to a selected section of the highway is proposed. A layout of the data transmission scheme has been carried out and a device that coordinates the logic voltage levels of the signals used in the control board has been confirmed the high potential of the proposed approach. The software for obtaining in automatic mode data of the monitoring of highways during the movement of the laboratory is developed. The obtained data are used to assess the current status of roads design, both on their own and in the composition of the respective databases. It should be noted separately that all data after processing and interpretation are linked to the corresponding GPS databases, which ensures high efficiency of their further application for optimization of repair and maintenance of highways.*

**Keywords:** geodetic data, geo-information technologies, monitoring of current state, road.