

УДК 528.482

ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

ШУТИНА Г. С.¹, к. т. н.

¹Кафедра землевпорядкування, будівництва автодоріг та геодезії, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(097)5184254, e-mail: anuta140@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

Анотація. Постановка проблеми. Отримання достовірних результатів геодезичного моніторингу залежить від низки факторів. Один з основних – надійність геодезичних пунктів, прийнятих як вихідні для створення геомоніторингової мережі. Відповідно до чинних нормативних документів щодо створення планових і висотних геодезичних мереж стійкість геодезичних пунктів повинна визначатися за результатами періодичного контролю їх координат. Як показує практика, цього недостатньо, оскільки опорні геодезичні пункти одночасно з об'єктом моніторингу піддаються зсуву. Тому оцінка вихідної надійності і систематичного контролю опорних пунктів геомоніторингової мережі – актуальне питання. **Мета дослідження** – підвищити надійність результатів геодезичного моніторингу на основі використання стабільних опорних геодезичних пунктів. Розробити ймовірнісні інтервали похибок визначення координат геодезичних пунктів різних класів, на основі яких можна судити про їх зміщення під час відбору стабільних геодезичних пунктів. **Висновок.** Шляхом відбору стабільних опорних геодезичних пунктів за інтервальними оцінками похибок визначення їх координат із заданим рівнем надійності та визначенням режиму їх контролю можна створити надійну геодезичну моніторингову мережу, використання якої, для геодезичного моніторингу інженерних об'єктів, дозволить отримати надійні, достовірні результати спостережень.

Ключові слова: надійність, геодезичний моніторинг, стабільні пункти, ймовірнісні інтервали

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

ИШУТИНА А. С.¹, к. т. н.

¹Кафедра землеустройства, строительства автодорог и геодезии, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(097)5184254, e-mail: anuta140@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

Аннотация. Постановка проблемы. Получение достоверных результатов геодезического мониторинга зависит от ряда факторов. Одним из основных является надежность геодезических пунктов, принятых в качестве исходных для создания геомониторинговой сети. Согласно действующим нормативным документам по созданию плановых и высотных геодезических сетей, устойчивость геодезических пунктов должна определяться по результатам периодического контроля их координат. Как показывает практика, этого недостаточно, т.к. опорные геодезические пункты одновременно с объектом мониторинга подвергаются смещению. Поэтому оценка исходной надежности и систематического контроля опорных пунктов геомониторинговой сети является актуальным вопросом. **Цель работы** – повысить надежность результатов геодезического мониторинга на основе использования стабильных опорных геодезических пунктов. Разработать вероятностные интервалы погрешностей определения координат геодезических пунктов различных классов, на основе которых можно судить об их смещении при отборе стабильных геодезических пунктов. **Вывод.** Путем отбора стабильных опорных геодезических пунктов по интервальным оценкам погрешностей определения их координат с заданным уровнем надежности и определением режима их контроля можно создать надежную геодезическую мониторинговую сеть, использование которой при геодезическом мониторинге инженерных объектов позволит получить надежные, достоверные результаты наблюдений.

Ключевые слова: надежность, геодезический мониторинг, стабильные пункты, вероятностные интервалы

THE TECHNOLOGY OF IMPROVING THE RELIABILITY OF GEODETIC MONITORING

ISHUTINA A. S.¹, Cand. Sc. (Tech.)

¹ Department of Land Management, Road-Building and Geodesy, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38(097)5184254, e-mail: anuta140@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

Summary. Raising of problem. Reliable results of geodetic monitoring depends on several factors. One of the main factors is reliability of geodetic points taken as the source for the creation of geomonitoring network. According to the current normative documents for the creation of horizontal and vertical geodetic networks, the stability of the

geodetic points should be determined by the results of periodic monitoring of their coordinates. As practice shows this is not enough, because geodetic reference points simultaneously offset with the monitoring object. Therefore, the assessment of source reliability and systematic control of the base points of geomonitoring network are important. **Purpose.** To increase the reliability of results of geodetic monitoring which based on the use of stable reference geodetic points. To develop probabilistic intervals of errors of determination of coordinates of geodetic points of various classes based on which we can judge their offsets in the selection of a stable geodetic points. **Conclusion.** By sampling stable reference geodetic points on the interval estimates of the errors of the coordinates with a given level of reliability and defining the mode of their control, you can create a reliable geodetic monitoring network. Using this network for geodetic monitoring of engineering facilities will allow us to obtain reliable, valid observation results.

Keywords: *reliability, geodetic monitoring, stable points, probabilistic intervals*

Постановка проблеми. Геодезичний моніторинг є джерелом інформації про стан інженерних об'єктів, яка дозволяє встановити адекватну картину розвитку деформаційних процесів. Достовірність результатів геодезичного моніторингу залежить від багатьох факторів, серед яких можна виділити: точність приладів, кваліфікацію спостерігача, методику спостережень, а також надійність (стабільність) опорних пунктів геодезичної мережі. Практика показує, що останньому фактору приділяють недостатньо уваги, при цьому вважають, що вдалий вибір місць закладання геодезичних пунктів, а також матеріалів їх конструкцій гарантує їх довговічність та стабільність (незмінність положення). З часом під впливом комплексу факторів (техногенних та природних) відбувається зміщення опорних пунктів, що негативно впливає на всі подальші результати спостережень, особливо довгострокових, знижує їх достовірність та дає невірну інформацію про розвиток деформаційних процесів інженерних об'єктів. Отже, необхідне проведення періодичного контролю координат опорних геодезичних пунктів.

Аналіз публікацій. Існує багато публікацій, присвячених геодезичному моніторингу інженерних об'єктів, що розташовані на техногенно-навантажених територіях зі складними інженерно-геологічними умовами, несприятливими для будівництва. У праці [1] розглянуто можливість застосування супутникових технологій і геометричного нівелювання для геодезичного моніторингу техногенно-навантажених територій. У публікації [2] розглянуто створення геодезичного моніторингу екологічно та техногенно небезпечних об'єктів та організації спостережень за деформаційними процесами. Відомі праці закордонних учених, у яких описано досвід використання GPS для моніторингу осідання території нафтового

родовища біля Лонг-Біч (США) [3] та наведено приклад застосування технології GPS для моніторингу стану підвісних мостів Цинг Ма, Тінг Кау та Кап Шуї Мун в Гонконзі [4].

Застосування сучасних супутникових методів під час геомоніторингу, безумовно, дозволяє автоматизувати спостереження та обробку даних, досягти необхідної точності вимірювань завдяки оптимальному вибору режиму спостережень. Незважаючи на всі переваги цього методу, питання достовірності даних геомоніторингу залишається актуальним зв'язку з тим, що під впливом різних факторів (техногенних чи природних) відбуваються зміщення (нестабільність положення) опорних геодезичних пунктів. Із 2013 р. з'явилися публікації [5; 6], у яких досліджується надійність активних моніторингових геодезичних мереж Канівської та Дніпровської ГЕС через установлення математичної залежності між надійністю та геометричною формою побудови. Активні геомоніторингові мережі (АГМ) створюються, як правило, для моніторингу безпеки відповідальних споруд (ГЕС, АЕС тощо). Для геомоніторингу міських інженерних об'єктів використання АГМ не доцільне через велику собівартість.

Мета статті – розробити методику підвищення надійності геодезичного моніторингу шляхом відбору стабільних (надійних) геодезичних пунктів за результатами їх оцінювання, а також імовірнісні інтервали похибок визначення координат геодезичних пунктів із метою відбору стабільних геодезичних пунктів відповідного класу точності для заданого рівня надійності.

Виклад матеріалу. Геомоніторинг інженерних об'єктів пропонується здійснювати у декілька етапів. На першому етапі необхідно проводити геологічні та геоморфологічні дослідження території, а також ви-

конувати обстеження геодезичних пунктів для встановлення збереженості їх центрів та знаків згідно з діючим нормативним документом [7]. Якщо візуальним оглядом місцевості відшукати пункт не вдається, застосовують інструментально-геодезичні методи розшуку пункту.

На другому етапі визначають координати геодезичних пунктів супутниковими методами. Для визначення координат збережених пунктів застосовують статичний супутниковий метод із використанням двочастотних приймачів, які приймають С/А і Р коди та вимірюють псевдовіддалі до супутників кодовим та фазовим методами. Точність визначення векторів базових ліній залежить від кількості і геометричного розташування супутників, що одночасно спостерігаються з кожного пункту протягом сеансу спостережень, сприятливого періоду спостережень, залишкових впливів іоносферної і тропосферної рефракції, довжин базових ліній та технічних характеристик приймачів, що повинно забезпечити задану проектом точність. Основні вимоги до супутникових спостережень на пунктах Державної та місцевої геодезичних мереж наведені у [8].

Спостереження виконують двічі за короткий проміжок часу. Порівнюючи отримані координати з даними попереднього

циклу вимірювання, виявляють зміщення пунктів. Обирають необхідний рівень надійності залежно від категорії відповідальності об'єкта геомоніторингу за нормативним документом [9] та виконують інтервальне оцінювання отриманих зміщень геодезичних пунктів, виявивши, таким чином, ненадійні пункти.

Інтервальною називають оцінку, яка визначається двома числами – кінцями інтервалу, що покриває оцінюваний параметр. Інтервальною оцінкою математичного сподівання з надійністю γ нормально розподіленої кількісної ознаки X за вибірковою середнім \bar{x} при відомому середньому квадратичному відхиленні σ генеральної сукупності служить довірчий інтервал

$$\bar{x} - t \left(\frac{\sigma}{n^{0,5}} \right) < X < \bar{x} + t \left(\frac{\sigma}{n^{0,5}} \right), \quad (1)$$

де $t \left(\frac{\sigma}{n^{0,5}} \right) = \delta$ – точність оцінки,

n – обсяг вибірки,

σ – середнє квадратичне відхилення координат геодезичних пунктів,

t – значення аргументу функції Лапласа $\Phi(t)$,

при якому $\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}$,

γ – надійність.

Таблиця 1

Розподіл середніх квадратичних похибок за класами [7]

Назва характеристики	клас			
	1	2	3	4
Кількість пунктів (n)	813	5586	10084	8174
Середнє (\bar{x}), м	0,003	0,020	0,032	0,032
Середнє квадратичне відхилення (σ), м	0,002	0,007	0,013	0,009

Таблиця 2

Імовірнісні інтервали похибок визначення координат геодезичних пунктів

надійність \ клас мережі	0,9	0,95	0,99
	інтервали похибок визначення координат, мм		
1	2,88–3,12	2,86–3,14	2,82–3,18
2	19,85–20,15	19,82–20,18	19,76–20,99
3	31,79–32,21	31,75–32,25	31,67–32,33
4	31,76–32,24	31,72–32,28	31,63–32,37

За даними таблиці 1 [10] розраховано довірчі інтервали похибок визначення координат геодезичних пунктів 1–4-го класів із заданою надійністю (табл. 2).

Відповідно до таблиці 2, якщо величина похибки визначення координат міститься в знайденому інтервалі, – пункт вважається стабільним, зміщення відсутнє; якщо вихо-

дить за межі імовірнісного інтервалу – відбувається зміщення пункту, тобто пункт вважається нестабільним.

Відбір стабільних геодезичних пунктів здійснюється відповідно до необхідного рівня надійності, який задають залежно від класу наслідків об'єкта геомоніторингу. Відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 [9]

виділяють три класи відповідальності (наслідків) будівель та споруд (СС3, СС2, СС1), для яких для відбору стабільних геодезичних пунктів локальної геомоніторингової мережі рекомендовано задати рівень надійності відповідно 0,99; 0,95 та 0,90.

На третьому етапі геомоніторингу обирають надійні опорні геодезичні пункти за результатами контролю їх координат та формують локальний геомоніторинговий полігон із жорсткою прив'язкою до обраних опорних пунктів геодезичної мережі. Далі виконують оцінку надійності створеної локальної геомоніторингової мережі шляхом визначення ймовірності незмінного положення геодезичних пунктів мережі за результатами періодичного контролю координат геодезичних пунктів. За необхідності підвищують надійність геомоніторингової мережі шляхом відновлення положення окремих «ненадійних» геодезичних пунктів. На четвертому етапі визначають ступінь техногенного навантаження ділянки території майбутніх робіт.

П'ятий етап включає вибір методу та періодичності виконання геодезичних спостережень за деформаціями інженерних об'єктів залежно від швидкості зміщень і точності вимірювань. Особливу увагу приділяють техногенно-перевантаженим ділянкам, на яких рекомендовано застосовувати комбіновані методи спостережень за деформаціями інженерних об'єктів та використовувати запропоновану універсальну конс-

трукцію геодезичної марки [11], за допомогою якої можна визначати як планове, так і висотне положення об'єктів із застосуванням як сучасних супутникових методів, так і традиційних.

На шостому етапі геомоніторингу, виконують оцінку точності отриманих результатів, яка полягає у визначенні комплексу характеристик ($S_{сеп}, \Delta S_{ij}; k; f$) та порівняння їх із гранично допустимими значеннями. Моделювання результатів геомоніторингу виконують із застосуванням математичних моделей та ГІС-технологій.

Висновки. Якість результатів геодезичних спостережень та їх достовірність залежать, головним чином, від точності вимірів і стійкості опорних геодезичних пунктів. Якщо врахувати, що сучасні технології геодезичних спостережень дозволяють звести до мінімуму вплив інструментальних помилок, то питання стійкості вихідних геодезичних пунктів міської планової і висотної мережі вимагає відповідних наукових досліджень як украй актуальне. Для отримання достовірної інформації про стан інженерних об'єктів необхідно проводити періодичний контроль координат вихідних геодезичних пунктів із метою виявлення ненадійних пунктів за інтервальною оцінкою похибок визначення їх координат. Використання стабільної геодезичної мережі дозволить підвищити надійність та достовірність даних геомоніторингу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Янчук О. Є. Геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.24.01 / Янчук Олександр Євгенович ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 2011. – 18 с.
2. Чорнокінь В. Я. Інженерно-геодезичний моніторинг деформаційних процесів на екологічнонебезпечних територіях та інженерних спорудах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.01 / Чорнокінь Василь Якович ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2002. – 16 с.
3. Staying afloat GPS monitors oilfield subsidence / B. Remondi, C. Henderson, D. Rutledge, R. Koerner // GPS World. – 2002. – Vol. 13, № 10. – P. 12–18.
4. Wong K. Monitoring Hong Kong's bridges: Real-Time Kinematic spans the gap / K. Wong, K. Man, W. Chan // GPS World. – 2001. – Vol. 12, № 7. – P. 10–12.
5. Третяк К. Р. Розроблення методики до розрахунку надійності активних моніторингових геодезичних мереж / К. Р. Третяк, І. Р. Савчин // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 1. – С. 5–10.
6. Третяк К. Р. До питання надійності активних моніторингових геодезичних мереж / К. Р. Третяк, І. Р. Савчин // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідом. наук.-техн. зб. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львівська політехніка" ; відп. ред. К. Р. Третяк. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – Вип. 77. – С. 122–126.
7. Інструкція з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України : затв. Наказом № 23 від 29 лютого 2000 р. / Головне управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України. – Київ, 2000. – 28 с. – Режим доступу: http://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/Inst_z_obstezh_DGM_23.pdf

8. Супутникові геодезичні спостереження на пунктах державної та міської геодезичних мереж м. Дніпропетровськ : інформ. звіт № 2 з НДР (проміж.) / Держ. служба геодезії, картографії та кадастру, Наук.-дослід. ін-т геодезії і картографії ; кер. роботи О. В. Кучер ; виконавець Висотенко Р. О. – Київ, 2011. – 100 с.
9. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва : ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 / Мінрегіон України. – Уведене вперше. – Київ, 2013. – 37 с.
10. Кучер О.В. Внедрение государственной референсной системы координат Украины / О.В. Кучер // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2012. – № 3(46). – С. 67–73.
11. Геодезичний знак : пат. 95035 Україна : МПК G01C 15/02 / Бегічев С. В., Ішутіна Г. С. (Україна) ; заявник і патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – № u201406691 ; заявл. 16.06.14 ; опубл. 10.12.14, Бюл. № 23. – 4 с.

REFERENCES

1. Janchuk O. Je. *Gheodezychnyj monitoryng tekhnoghenno-navantazhenykh terytorij: avtoref. dys. kand. tehn. nauk: 05.24.01* [Geodetic monitoring of technologically impacted territories. Author's abstract of Cand Sc. (Tech.) Dissert. 05.24.01]. Nats. un-t «L'vivs'ka politehnika», Lviv, 2011, 18 p. (in Russian).
2. Chornokinj V. Ja. *Inzhenerno-geodezychnyj monitoryng deformacijnyh procesiv na ekologonebezpečnyh terytorijah ta inzhenernyh sporudah: avtoref. dys. kand. tehn. nauk: 05.04.01* [Engineering and geodetic monitoring of deformation processes on environmentally unsafe territories and engineering structures. Author's abstract of Cand. Sc. (Tech.) Dissert.: 05.04.01]. Kyji'v. nats. un-t bud-va i arkhitektury, Kyiv, 2002, 16 p. (in Russian).
3. Remondi B., Henderson C., Rutledge D. and Koerner R. *Staying Afloat. GPS Monitors Oilfield Subsidence*. 2002, GPS World, vol. 13, no. 10, pp. 12-18.
4. Wong K., Man K., Chan W. *Monitoring Hong Kong's bridges: Real-Time Kinematic spans the gap*. 2001, GPS World, vol. 12, no 7, pp. 10-12.
5. Tretjak K.R. and Savchyn I.R. *Rozroblennja metodyky do rozrakhunku nadijnosti aktyvnykh monitoryngovykh gheodezychnykh merezh* [Development of methods of calculation of reliability of active geodetic monitoring networks]. *Visnyk gheodeziji ta kartoghrafiji* [Journal of Geodesy and Cartography]. 2013, no. 1, pp. 5-10. (in Ukraine).
6. Tretjak K.R. and Savchyn I.R. *Do pytannja nadijnosti aktyvnykh monitoryngovykh gheodezychnykh merezh* [To the issue of reliability of active geodetic monitoring networks]. *Gheodezija, kartoghrafija i aerofotoznmannja* [Geodesy, Cartography and Aerial Survey]. *M-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrai'ny*, [The Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine]. Nats. un-t "L'vivs'ka politehnika", L'viv: Vyd-vo L'vivs'koi' politehniky, 2013, no. 77, pp. 122–126. (in Ukraine).
7. *Instrukcija z obstezhennja ta onovlennja punktiv Derzhavnoji gheodezychnoji merezhi Ukrajiny* [Manual of examination and update of points of State geodetic network of Ukraine]. *Holovne upravlinnja gheodeziji, kartoghrafiji ta kadastru pry Kabineti Ministriv Ukrajiny* [Main Department of Geodesy, Cartography and Cadastre at the Cabinet of Ministers of Ukraine]. Kyiv, 2000, 28 p. Available at: http://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/Inst_z_obstezh_DGM_23.pdf (in Ukraine).
8. Kucher O.V. and Vysotenko R.O. *Sputnykovi gheodezychni sposterezhennja na punktakh derzhavnoji ta misjkoji gheodezychnykh merezh m. Dnipropetrovsjk* [Satellite geodetic observations at geodetic points of state and local geodetic networks of Dnepropetrovsk]. *Derzh. sluzhba geodezii', kartografii' ta kadastru, Nauk.-doslid. in-t geodezii' i kartografii'*. Kyiv, 2011, 100 p. (in Ukraine).
9. *Vyznachennia klasu naslidkiv (vidpovidalnosti) ta kategorii skladnosti obektiv budivnytstva: DCTU N B V.1.2-16:2013* [State standard of Ukraine N B V.1.2-16:2013. The definition of the class of consequences (responsibility) and category of complexity for construction objects]. Kyiv, 2013, 37 p. (in Ukraine).
10. Kucher O.V. *Vnedrenie gosudarstvennoy referentsnoy sistemy koordinat Ukrainy* [The implementation of the state reference frame coordinate system of Ukraine]. *Avtomatizirovannye tehnologii izyskanij i proektirovanija* [The automated technology of research and design]. 2012, no. 3(46), pp. 67-73. (in Russian).
11. Bjezhichev S.V. and Ishutina G.S. *Geodezychnyj znak: pat. 95035 Ukrai'na: MPK G01C 15/02* [Geodetic mark: pat. 95035 Ukraine: MPK G01C 15/02]. no. u201406691, 2014. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Ю. О. Кірічек

Надійшла до редколегії: 17.11.2015 р. Прийнята до друку: 20.11.2015 р.