

УДК 528

д.т.н., професор Шульц Р.В.,
Київський національний університет будівництва і архітектури
к.т.н., доцент Анненков А.О.,
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ GNSS-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ГЕОДЕЗИЧОГО МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Наведено основні підходи до виконання геодезичного моніторингу засобами GNSS-технологій. Розглянуто можливі варіанти створення систем геодезичного моніторингу на базі GNSS-технологій з врахуванням сучасних досягнень в галузях розроблення геодезичних приладів, телекомунікаційних систем та супутникових технологій.

Постановка проблеми Геодезичний моніторинг інженерних споруд є одним з найважливіших етапів експлуатації об'єктів. Необхідність його проведення підтверджується численними прикладами виникнення аварійних ситуацій на відповідальних спорудах. Згідно діючих Державних будівельних норм В.1.3-2:2010 Система забезпечення геометричних параметрів в будівництві «Геодезичні роботи у будівництві», геодезичний моніторинг є однією зі складових проекту виконання геодезичних робіт при зведенні та експлуатації унікальних та експериментальних інженерних споруд. Методи виконання геодезичного моніторингу не нормуються і найчастіше залежать від характеру деформацій, що виникають при експлуатації споруд. Найчастіше для найбільш поширених типів споруд (житлові будинки) застосовується метод нівелювання, що дозволяє визначити вертикальні переміщення. Для споруд баштового типу головним показником проходження деформацій є крен, що визначається найчастіше різними типами засічок.

Сучасне будівництво характеризується значним збільшенням будівництва споруд для яких обов'язковим є визначення переміщень в просторі (висотні будівлі, мости, греблі, стадіони та ін.), при цьому частота визначення може досягати 1 год. або навіть частіше. В таких умовах використання традиційних методів моніторингу є недостатнім. Особливо складним є застосування традиційних методів при виконанні моніторингу об'єктів, що мають значні розміри (більше 0,5 км по одній з головних осей).

Виходом з такої ситуації є застосування глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), переваги яких при визначенні координат на великих відстанях доведено багатьма дослідженнями [1-4]. Існує декілька

підходів до організації геодезичного моніторингу засобами GNSS. Вибір схеми організації геодезичного моніторингу з використанням GNSS залежить, як від наявних технічних засобів, так і від типу об'єкту моніторингу. Загалом розроблено декілька підходів до організації моніторингу засобами GNSS. Поставимо собі за мету систематизувати існуючі підходи до організації геодезичного моніторингу з використанням GNSS та побудуємо узагальнену технологічну схему такого моніторингу.

Огляд попередніх публікацій Питанню дослідження можливостей використання GNSS-технологій для вирішення задач інженерної геодезії присвячено величезну кількість робіт, в першу чергу закордонних авторів [1-4]. В цих роботах отримані достатньо надійні результати щодо точності отриманих даних в залежності від умов спостережень та розроблені відповідні методики для досягнення необхідної точності. Найбільш детальний огляд інженерних задач для вирішення яких застосовують GNSS можна знайти в періодичних іноземних виданнях GPS Solutions та GPS World.

Як було зазначено в постановчій частині, GNSS раціонально застосовувати для моніторингу об'єктів, що мають значні розміри. Типовими прикладами організації GNSS моніторингу є: [5-7] – визначення просторових переміщень тіла ґрунтової та бетонної греблі, [8] – визначення просторових переміщень мостових конструкцій в умовах статичних навантажень, [9] – визначення просторових переміщень та коливань мостових конструкцій в умовах динамічних навантажень, [10] – визначення просторових переміщень підвісних вантових мостових конструкцій, [11] – визначення просторових переміщень хмарочосів, [12] – визначення просторових переміщень та коливань висотних споруд під час землетрусу, [13] – визначення просторових переміщень та оцінка стабільності земної поверхні в умовах виконання гірничих робіт, [14] – визначення просторових переміщень на зсувах. Даний перелік безумовно не є повним, але він красномовно демонструє потенціал використання GNSS-технологій при виконанні геодезичного моніторингу складних та великих за розмірами споруд. Загалом в роботах реалізується різний підхід до організації моніторингу без аргументованих роз'яснень щодо вибору конкретного підходу.

Постановка завдання Головне завдання роботи – це визначення в першому наближенні сучасної концепції створення систем геодезичного моніторингу на базі GNSS-технологій та систематизація існуючих підходів до організації такого моніторингу з врахуванням сучасних досягнень в галузях розроблення геодезичних приладів, телекомунікаційних систем та супутникових технологій..

Основний зміст роботи. Серед методів визначення місцеположення за допомогою GNSS-технологій загально відомими є два: абсолютний та відносний. У випадку вирішення задачі геодезичного моніторингу придатним є тільки відносний метод. По-перше він дозволяє досягти найвищої точності, а по-друге спостереження за деформаціями інженерних споруд найчастіше виконуються в умовній системі координат, що не вимагає абсолютного позиціонування об'єкту в прийнятих глобальних системах координат. В такому випадку один з приймачів встановлюється на пункт з відомими координатами (може бути прийнятий умовно) і всі подальші визначення координат об'єкту виконують відносно цього пункту (рис. 1).

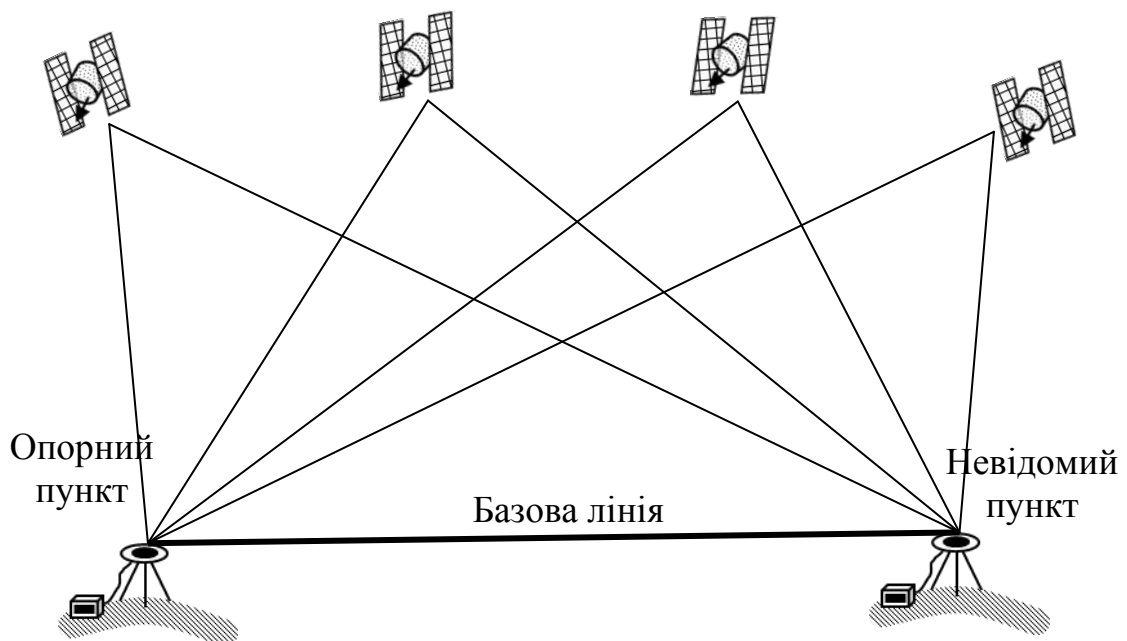


Рис. 1. Принцип визначення координат точок GNSS відносним методом

Система визначення відносного місцеположення в режимі статички вимагає встановлення приймача на всі точки спостережень з подальшим виконанням камерального оброблення. У випадку проведення геодезичного моніторингу обов'язковим є наявність супутникових антен на всіх точках спостережень об'єкту одночасно. Проте після виконання сеансу спостережень необхідно вирішити задачу об'єднання даних з усіх приймачів в один проект і виконати вирівнювання результатів спостережень з подальшим обчисленням переміщень точок. Зрозуміло, що такий підхід не вкладається в концепцію моніторингу з частотою спостережень 1 год. або частіше, а мову про моніторинг кінематичних процесів в режимі реального часу можна взагалі не вести.

З поступовим удосконаленням всіх сегментів глобальних навігаційних супутникових систем, розвитком телекомунікаційних технологій та удосконаленням програмного забезпечення оброблення GNSS-вимірювань, було розроблено та реалізовано на практиці метод визначення відносного місцеположення в режимі кінематики реального часу (RTK). В порівнянні зі статичним визначенням відносного місцеположення метод RTK, має нижчу точність, однак коли мова йде про спостереження великих інженерних споруд, для яких величини переміщень на рівні 10-15 мм в просторі є нормальними, метод RTK став революційним винаходом (рис. 2).

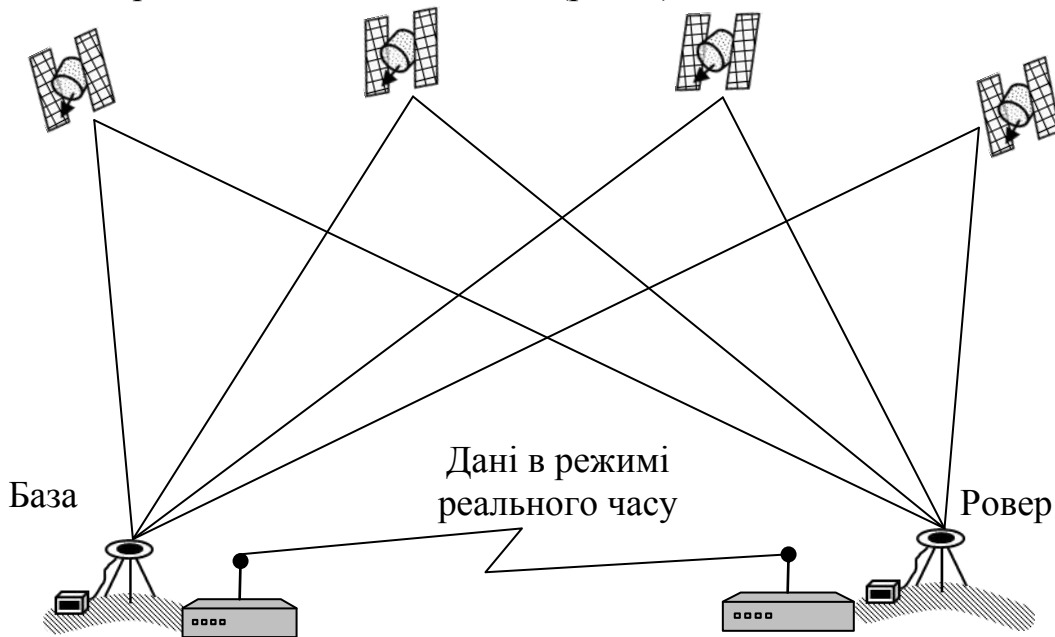


Рис. 2. Принцип визначення координат точок GNSS-методом в режимі RTK

Головна відмінність і перевага цього методу в порівнянні із статичним це визначення координат точок в режимі реального часу з частотою, що досягає 10 Гц. Головною умовою реалізації методу RTK є наявність телекомунікаційної мережі для безперервного зв'язку базового приймача з ровером. Особливо корисним є застосування методу RTK для моніторингу споруд, що перебувають під впливом динамічних навантажень (мости, телевежі, хмарочоси), які мають антропогенне (рух транспорту) або природне походження (вітер, температура, землетрус).

Подальший розвиток методу RTK – Web RTK. Концепція Web RTK (рис.3) полягає у використанні базового комп'ютера на контрольній станції, який має доступ до всіх вирішень місцеположення. Система включає в себе три головні блоки: розповсюдження RTK-поправок до кожного ровера через під'єднання до Інтернету (блок 1); приймання RTK-поправок роверами, визначення місцеположення в режимі RTK та відправлення отриманого

місцеположення в мережу Інтернет (блок 2); отримання вирішень місцеположення кожного ровера та аналіз їх динаміки (блок 3). Реалізація такого підходу дозволяє в першу чергу підвищити надійність визначення RTK-поправок та отриманих в режимі реального часу переміщень точок об'єкту.

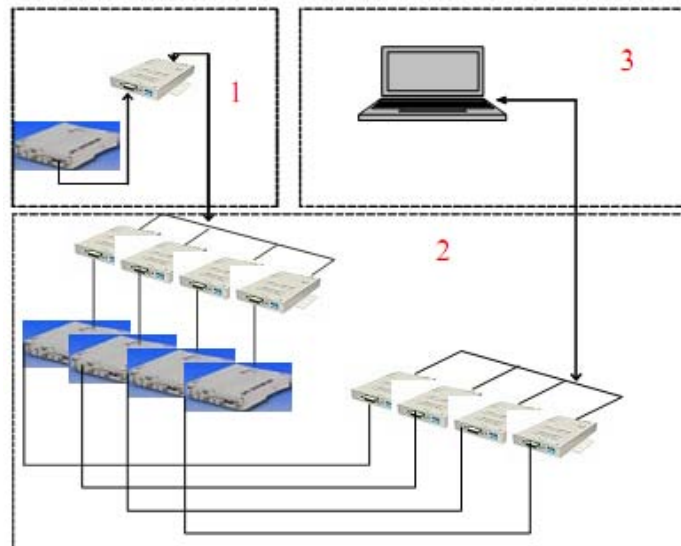


Рис. 3. Концепція Web RTK

Наведені схеми організації геодезичного моніторингу можуть бути реалізовані будь-якою компанією, що має відповідне матеріально-технічне забезпечення.

Більш складним, як з фінансової так і організаційної точки зору є організація GNSS-моніторингу з використання псевдосателітів (псевдолітів) [15].

Псевдоліт являє собою встановлений на місцевості в точці з відомими координатами прилад, який працює аналогічно до супутника на орбіті, тобто випромінює радіосигнал на певній частоті. Цей сигнал сприймається GNSS-приймачем, як сигнал від додаткового супутника з відомими координатами. Завдяки встановленню на земній поверхні псевдоліт значно покращує загальну геометрію супутників, що значно підвищує точність визначення приростів координат. Можливі три варіанти побудови моніторингових мереж з використанням псевдолітів (рис. 4-6.).

В першому варіанті псевдоліт відіграє роль додаткового супутника на земній поверхні. В другому варіанті (рис. 5) спостереження за космічними супутниками взагалі непотрібні. Псевдоліти встановлюють на точках спостереження деформацій, а їх координати визначають відносно двох GNSS-приймачів. Третій варіант (рис. 6) має назву «оберненого», в ньому GNSS-приймачі встановлюють на точках об'єкту і виконують засічку відносно

псевдолітів, що встановлені на пунктах з відомими координатами. Через високу вартість псевдолітів реалізація таких систем моніторингу поки що знаходиться в зародковій фазі.

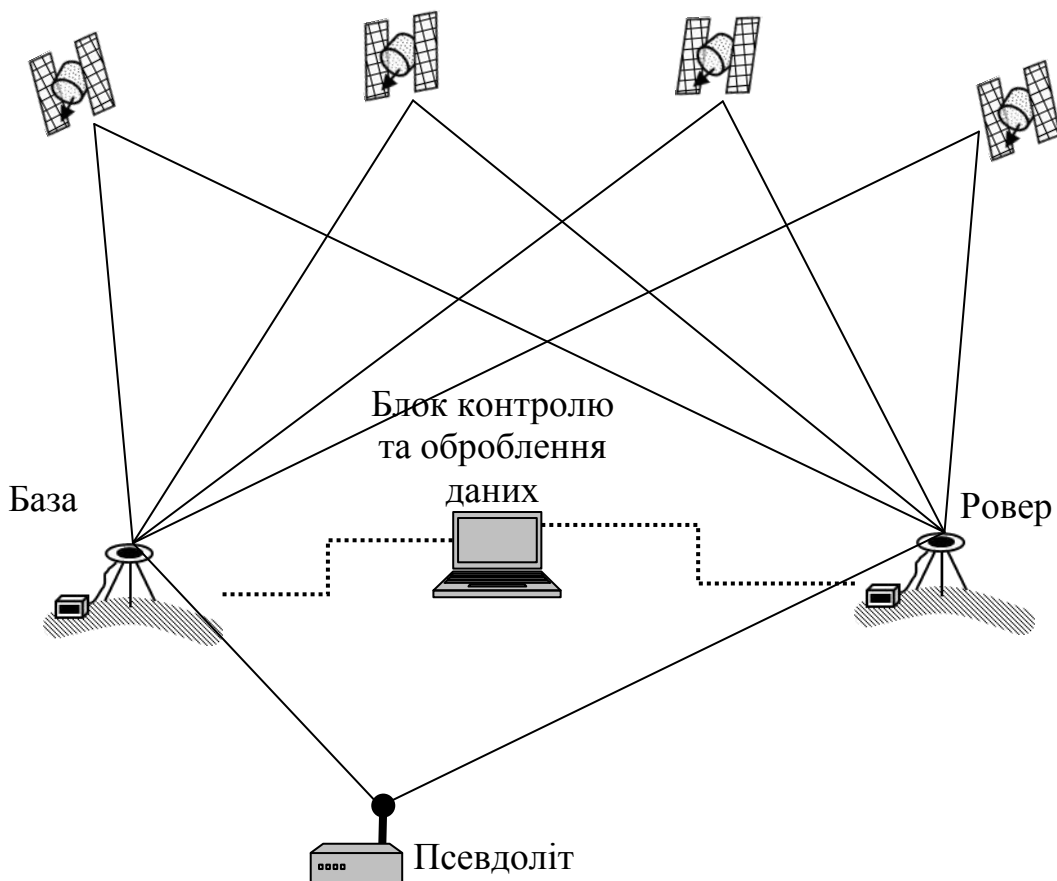


Рис. 4. Конфігурація системи GNSS-моніторингу з використанням псевдолітів

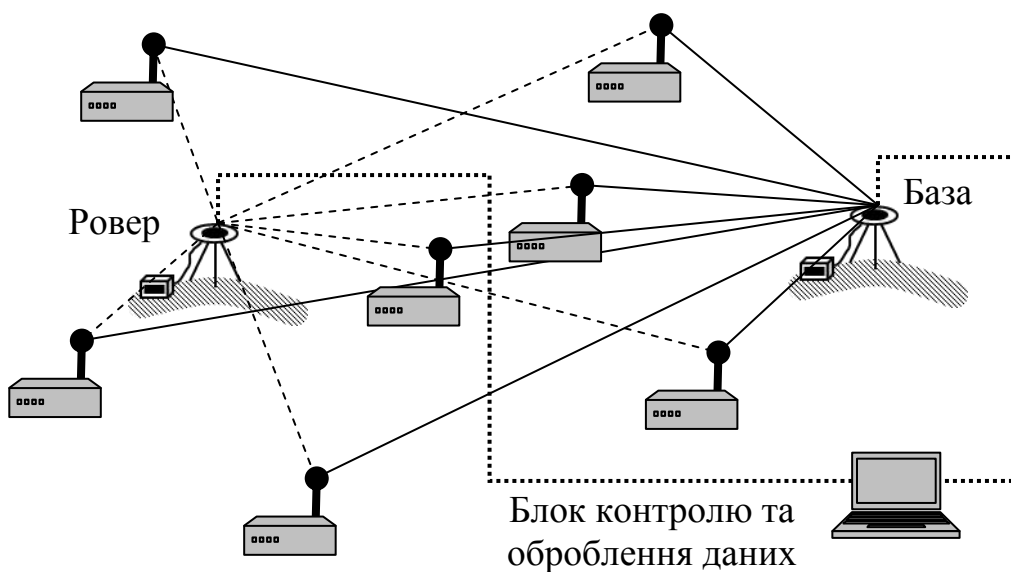


Рис. 5. Конфігурація системи моніторингу на базі псевдолітів

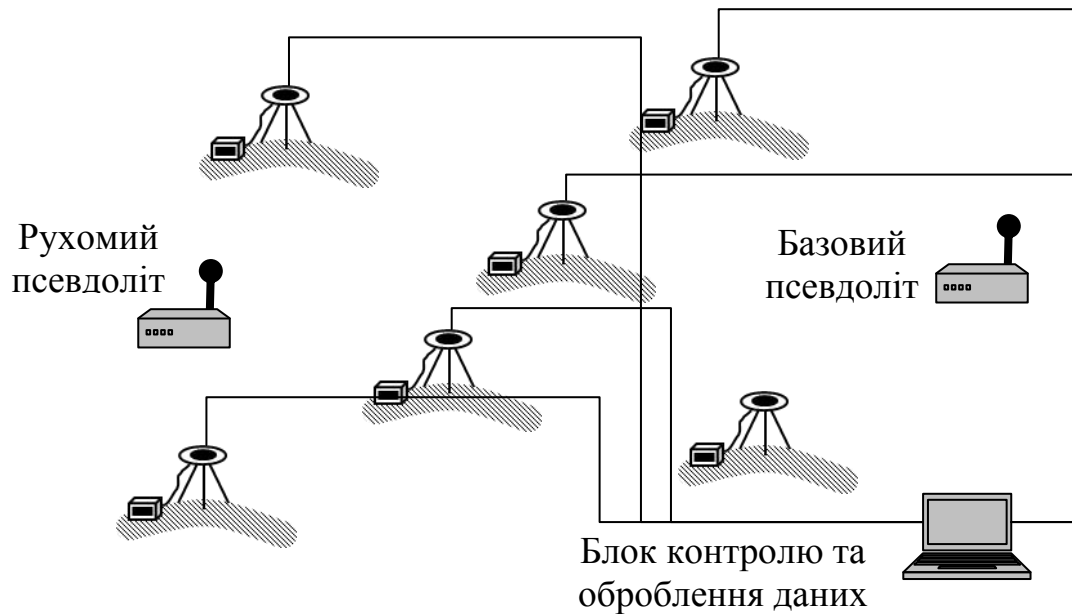


Рис. 6. Конфігурація оберненої системи моніторингу на базі псевдолітів

Наведене вище систематизоване викладення існуючих підходів до організації GNSS-моніторингу інженерних споруд, дозволяє побудувати узагальнену технологічну схему виконання геодезичного моніторингу інженерних споруд засобами GNSS (рис.7).

Висновки та рекомендації. Виконаний в роботі огляд та систематизація основних підходів до виконання геодезичного моніторингу засобами GNSS дозволяють побудувати програму досліджень можливостей та точності GNSS-моніторингу інженерних споруд.

Список літератури

1. Parkinson B.W., Spilker J. J. Jr. Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1996. – p. 798. Volume II, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1996. – p. 652.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 1. К.М. Антонович - Научное издание - М.: Картоцентр, Новосибирск: Наука – 2005. – 334 с.
3. Xu G. Sciences of Geodesy – I Advances and Future Directions. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2010. 510 p.
4. Kaplan D. E., Hegarty C.J. Understanding GPS Principles and Applications. ARTECH HOUSE. 2006. 723 p.
5. Ali R., Cross P., Ali El-Sharkawi A. High Accuracy Real-time Dam Monitoring Using Low-Cost GPS Equipment. // From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, TS 43 – Deformation Measurement and Analysis, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005 pp. 1-20.
6. Сото М.Т. Разработка методики анализа результатов геодезических измерений при наблюдении за осадками и смещениями крупных инженерных сооружений спутниковыми методами. Автореферат канд. тех. наук. МИИГАиК, Москва 2007 24с.

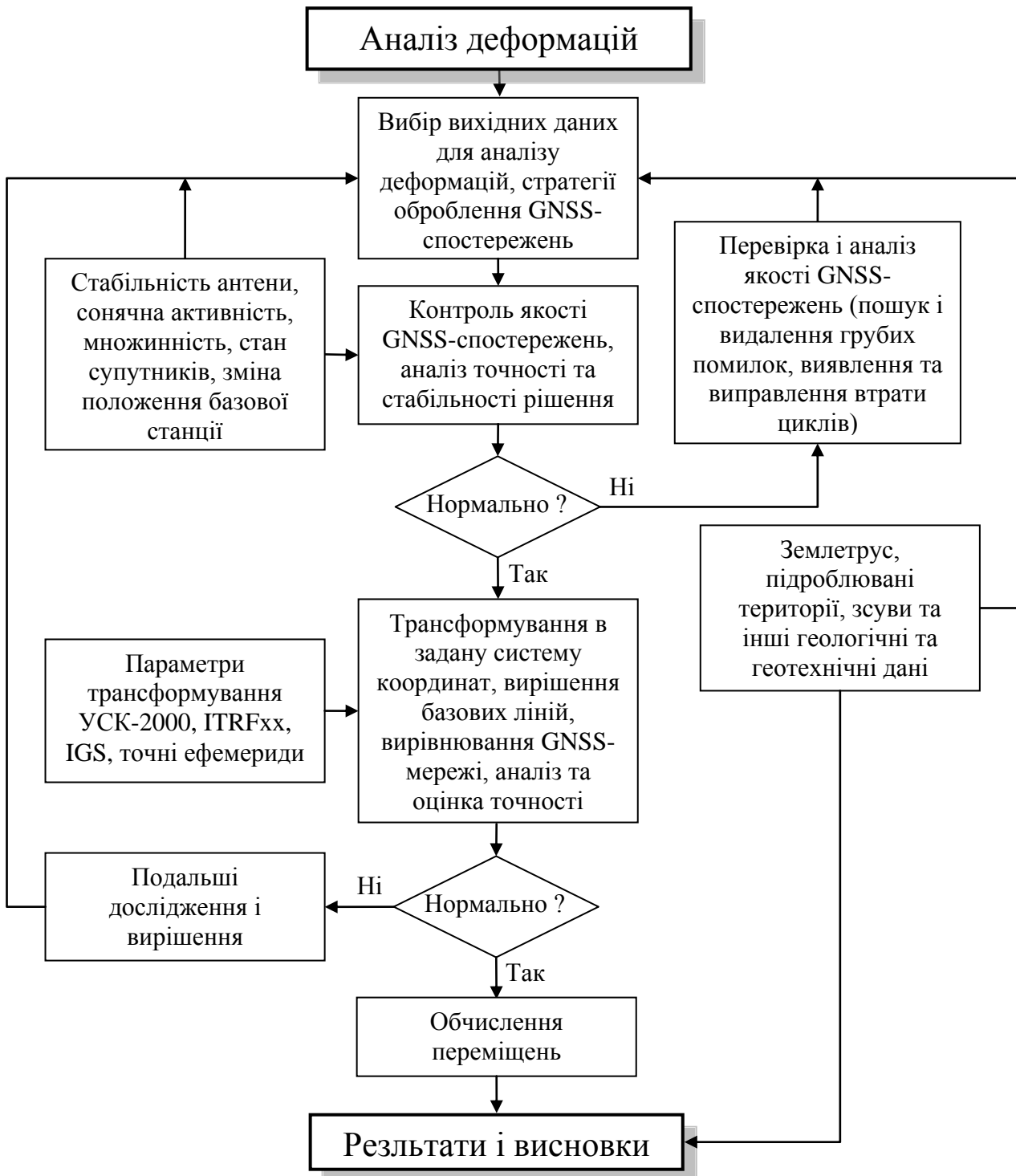


Рис. 7. Блок-схема визначення деформацій GNSS-методом

7. Radhakrishnan N. Direct GPS Measurement Of Koyna Dam Deformation During Earthquake. // 4rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006, pp. 1-7.

8. Baraka M.A., El-Shazly E.H. Monitoring Bridge Deformations During Static Loading Tests Using GPS // From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, TS 40 – Deformation Measurement and Analysis, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005 pp. 1-10.

9. Roberts G., Brown C., Ogundipe O. The Use of Kinematic GPS to Monitor the Deflections and Frequencies of a 174m Long Viaduct under Traffic Loading // Integrating

Generations FIG Working Week 2008, TS 5C - Structural Monitoring, Stockholm, Sweden, 14-19 June 2008 pp. 1-12.

10. Roberts G.W., Brown C., Atkins C., Meng X. The Use Of GNSS To Monitor The Deflections Of Suspension Bridges. // 4rd IAG / 12th FIG Symposium, Lisbon, May 12-15, 2008, pp. 1-9.

11. Wan Aziz W.A., Zulkarnaini M.A., Shu K.K. The Deformation Study of High Building Using RTK-GPS: A First Experience in Malaysia // From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, TS 43 – Deformation Measurement and Analysis Cairo, Egypt, April 16-21, 2005 pp. 1-11.

12. Li X., Ge L., Peng G-D., Rizos C., Tamura Y., Yoshida A. Seismic Response of a Tower as Measured by an Integrated RTK-GPS System // 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, Session 2 - Seismic Response of Structures, Nottingham, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004, pp. 1-17.

13. Maciaszek J., Szewczyk J. Use of satellite GPS technique in the measurements of deformations in the areas of mining exploitation // The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 19 - 22 March 2001, Orange, California, USA pp. 61-70.

14. Hasanuddin, Abidin Z., Andreas H., Gamal M., Hendrasto M. On the Use of GPS Survey Method for Studying Land Displacements on the Landslide Prone Areas. // FIG Working Week 2004, TS16 Deformation Measurements and Analysis I Athens, Greece, May 22-27, 2004, pp. 1-13.

15. Dai L., Wang J., Rizos C., Han S. Applications of pseudolites in deformation monitoring systems. // 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements 19 – 22 March 2001, Orange, California, USA, pp. 11-22.

Аннотация

Приведены основные подходы к выполнению геодезического мониторинга средствами GNSS-технологий. Рассмотрены возможные варианты создания систем геодезического мониторинга на базе GNSS-технологий с учетом современных достижений в отраслях разработки геодезических приборов, телекоммуникационных систем и спутниковых технологий.

Abstract

The basic going is resulted to implementation of the geodetic monitoring by methods of GNSS-technologies. The possible variants of creation of the systems the geodetic monitoring are considered on the base of GNSS-technologies taking into account modern achievements in industries of development of geodetic devices, telecommunication systems and satellite technologies.