УДК 528.48 DOI: 10.31650/2415-377X-2019-77-21-28

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Анненков А.О., к.т.н., доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
geodez74@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3618-5399

Анотація. Запропоновано схему геодезичного моніторингу інженерних споруд із застосуванням GNSS-технологій. Розглянуто технологічний процес моніторингу як складової загального процесу технічної діагностиці будівель і споруд в цілому, або їх окремих конструктивних елементів. Результатом діагностування є висновок про технічний стан споруди із зазначенням місць, видів та причин деформацій або відхилень від проектного положення будівельних конструкцій.

Структура геодезичного моніторингу складається з чотирьох блоків (блок схеми моніторингу; блок проектування моніторингу; блок вимірювання; блок аналізу), які у комплексному процесі впливають один на одного і підсилюють якість інженерного контролю будівель та споруд.

Ключові слова: GNSS-зйомка, моніторинг споруд, деформація будівельної конструкції.

Вступ. Серед процесів та явищ, які потребують організації геодезичного моніторингу особливе місце посідають деформаційні процеси, що відбуваються при будівництві та експлуатації інженерних споруд. Сучасні інженерні споруди характеризуються екстремальними значеннями геометричних параметрів, як то висота, глибина, довжина. З іншого боку ці особливі характеристики поєднуються із несприятливими умовами зведення та експлуатації інженерних споруд, які в теперішній час будують практично у будь-яких кліматичних зонах та геологічних умовах.

В такому випадку на геодезичний моніторинг покладається дуже відповідальна функція. А саме – забезпечити довготривалу експлуатацію споруди та забезпечити максимальний рівень безпеки для обслуговуючого персоналу або людей, що експлуатують дану споруду. Такі високі вимоги досягаються шляхом поступового ускладнення систем геодезичного моніторингу та поступового підвищення рівня автоматизації таких систем.

Сучасні системи геодезичного моніторингу включають не тільки суто геодезичне обладнання, але й велику кількість методів і технологій сучасного інженерного забезпечення будівельного процесу. Скоріше за всього, на сьогоднішній день можна вести мову про геодезично-геотехнічний моніторинг.

Загально відомо, що головна мета геодезичного моніторингу – це визначення кількісних змін геометричних характеристик споруди (вертикальні та горизонтальні переміщення, швидкість, напрямок переміщень та ін.) та на їх основі прогнозування подальшого розвитку деформаційних процесів [1].

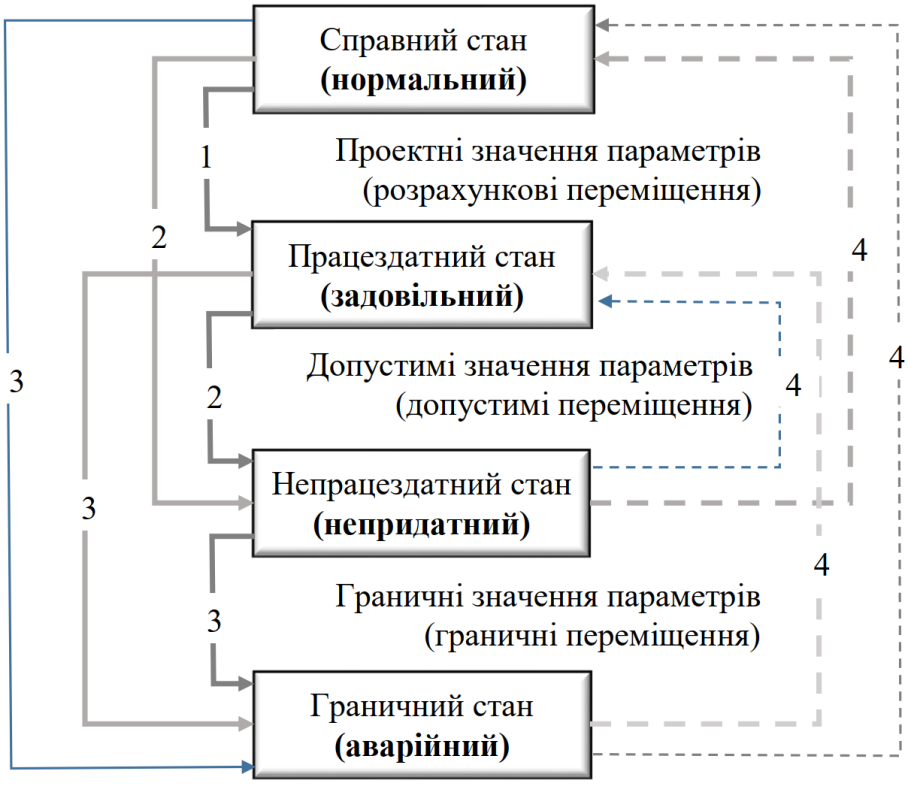
Аналіз останніх публікацій. Останнім часом з’явилося декілька робіт [2-4], в яких зроблено спробу опису методики використання сучасних технологій інженерного забезпечення будівельного процесу і подальшого моніторингу будівель та споруд у процесі експлуатації. Однак, необхідно відмітити, що головна увага в цих роботах зосереджена на математичному обробленні отриманих результатів спостережень і представленні кількісних геометричних характеристик. Етап проектування спостережень та безпосереднього виконання спостережень залишається поза увагою авторів.

Мета та завдання. У рамках даних досліджень буде розроблено технологічну схему

виконання геодезичного моніторингу інженерних споруд із використанням GNSS-технологій.

Матеріали та методика дослідження. Питання моніторингу, як таке, пов’язане із питанням технічної діагностики інженерної споруди. Технічна діагностика є галуззю науково-технічних знань, метою якої є застосування теорій, методів та засобів виявлення дефектів (переміщень) технічної, людської або техногенної природи. Отже технічну діагностику можна розглядати як складову геодезичного моніторингу. Під дефектом у діагностиці розуміють невідповідність властивостей об’єкта його заданим або очікуваним властивостям. Пошук дефекта полягає у визначенні з необхідною точністю його місцеположення відносно об’єкту. Якщо розглядати технічне діагностування, як процес визначення технічного стану об’єкта з певною точністю, то за такого визначення геодезичний моніторинг можна інтерпретувати як проведення технічної діагностики із певним інтервалом часу. Результатом діагностування є висновок про технічний стан споруди із зазначенням місць, видів та причин переміщень (деформацій) [1].

В діагностиці розрізняють дві системи діагностування – тестова та функціональна системи. У системах тестового діагностування на об'єкт подаються спеціально організовані тестові впливи. У системах функціонального діагностування, які працюють в процесі експлуатації об'єкта, подача тестових впливів, як правило, виключається і на об'єкт надходять тільки робочі впливи, передбачені його алгоритмом функціонування. У системах обох видів засоби діагностування сприймають і аналізують реакції об'єкта на вхідні (тестові або робочі) впливи і видають результат діагностування, тобто ставлять діагноз – об'єкт справний або несправний, працездатний або непрацездатний, функціонує правильно чи неправильно, має такий-то дефект або в об'єкті пошкоджена така-то його складова частина і тощо (рис.1).



1 – пошкодження об’єкта;
2 – відмова функціонування;
3 – перехід об’єкта в граничний стан через порушення умов експлуатації, старіння та ін.
4. – ремонт

Рис. 1. Блок-схема технологічних станів інженерного об’єкта

Системи тестового діагностування необхідні для перевірки робочого стану об’єкту, а також пошуку дефектів, що порушують справність або працездатність конструктивних елементів. Системи функціонального діагностування необхідні для перевірки правильності функціонування і для пошуку дефектів, що порушують технічні властивості конструкцій.

Згідно [5], будь-яка система діагностування є специфічною системою управління або контролю. Специфіка полягає в цілі управління (контролю), що складається у визначенні технічного стану об'єкта діагностування. Відповідно до цього при розробці системи діагностування повинні вирішуватися ті завдання, які виникають при розробці різноманітних систем управління і контролю. Сюди відносять – вивчення об'єкта, його можливих дефектів і ознак прояви останніх, вибір або побудова математичного опису поведінки працездатного об'єкта або його несправних модифікацій, аналіз математичної моделі з метою отримання реалізованого системою алгоритму діагностування, вибір або розробка засобів діагностування або контролю, розгляд і розрахунок характеристик системи в цілому. При такій постановці завдання, вимоги до технічного діагностування та його порядок відповідають основним вимогам та завданням геодезичного моніторингу.

Параметри геодезичного моніторингу (розмірність переміщень, точність їх визначення, періодичність спостережень) залежать від технології, що використовується при спостереженнях. У свою чергу ці технології накладають певні умови та обмеження на розмір об’єкту моніторингу, точність вимірювань, періодичність та ін. За результатами аналізу відомих технологічних схем ведення геодезичного моніторингу [2, 3, 6] ми можемо запропонувати узагальнену технологічну схему геодезичного моніторингу, як складову частину комплексного інженерного забезпечення будівель та споруд. Така схема складається із чотирьох основних блоків: розроблення загальної схеми моніторингу та визначення параметрів моніторингу; проектування вимірювань; вимірювання; оброблення та аналіз результатів (рис. 2-5).

Рис. 2. Узагальнена технологічна схема геодезичного моніторингу

Кожний з цих блоків включає окремі процеси для досягнення остаточної мети кожного етапу. При цьому слід обов'язково зауважити, що більшість авторів не зважають увагу на те, що геодезичний моніторинг є процесом із зворотнім зв'язком, тобто результати отримані на третьому етапі використовуються як корегувальні для першого етапу, а відтак і до всієї технологічної схеми моніторингу. Практично, тільки для типових не складних за формою, умовами експлуатації та величинами переміщень споруд, можна призначати незмінну схему моніторингу. Для більшості об'єктів технологічна схема є динамічною.

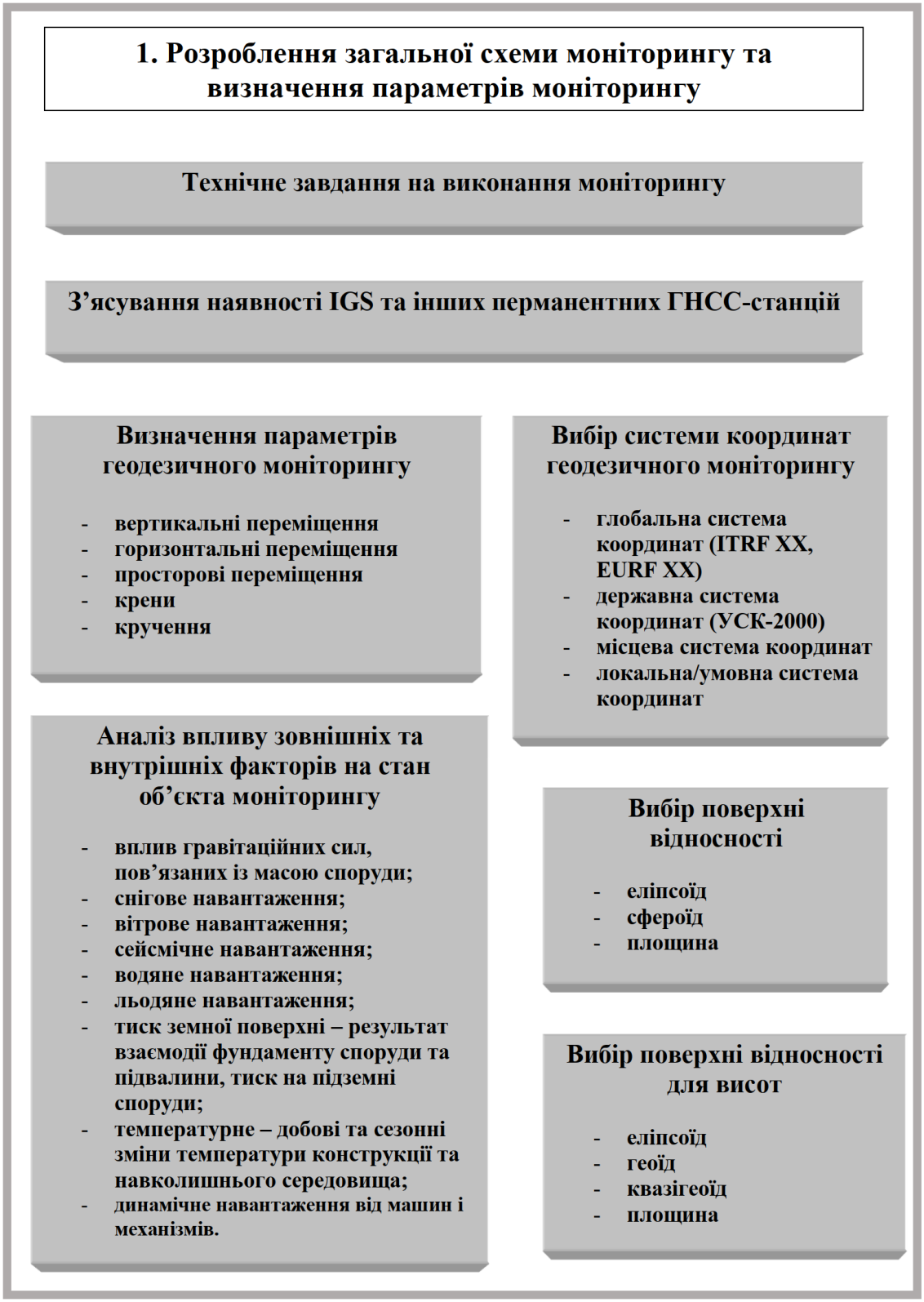


Рис. 3. Блок проектування схеми геодезичного моніторингу

Рис. 4. Блок проектування та вимірювань

Рис. 5. Блок аналізу

Традиційний підхід до розроблення проектів геодезичних спостережень із використанням відомих геодезичних технологій, викладено в класичних роботах [2-6]. В чинній нормативній літературі [1] наведено лише загальні положення про порядок та методику спостережень, без детального розгляду порядку розрахунку точності спостережень та методик спостережень з використанням сучасних технологій, таких як GNSS та електронні тахеометри.

Технологічна схема передбачає два варіанти виконання GNSS-моніторингу. У першому випадку GNSS-станції розміщено безпосередньо на пунктах визначення переміщень і результати GNSS-спостережень використовуються безпосередньо як результати моніторингу. У другому варіанті GNSS-станції використовують для створення мережі для геодезичного моніторингу, а переміщення GNSS-станцій використовують як допоміжні дані для аналізу переміщень та корегування результатів вимірювань у внутрішній по відношенню до GNSS-мережі.

Таким чином ми можемо більш обґрунтовано виконувати проектування GNSS-мереж для геодезичного моніторингу, виконувати розрахунок точності мережі і визначати параметри деформаційного процесу інженерної споруди.

Ключовим моментом моніторингу із використанням GNSS є висока частота отримання даних. Тут необхідно зупинитися більш детально на визначеннях пасивного та активного контролів в геодезії.

Під пасивним контролем (контролем постійних параметрів) при оцінці технічного стану споруд слід розуміти контроль, який за своєю точністю дозволяє виконувати тільки поділ дійсних відхилень геометричних параметрів на допустимі (придатні) і неприпустимі (непридатні). Внаслідок цього результати контролю не можуть бути використані для прогнозування (а, отже, і подальшого завчасного управління процесом експлуатації). Їх можна використовувати тільки для оцінки технічного стану конструкцій об'єкта на момент контролю. У цьому і полягає основа відмінність пасивного контролю від активного. Контрольними нормативами при пасивному контролі є величини допустимих осідань, горизонтальних зсувів і інших граничних відхилень геометричних параметрів, що визначають вимоги до точності контрольованих геометричних параметрів.

Під активним контролем (контролем змінних параметрів) розуміють контроль, який за своєю точністю і періодичності дозволяє не тільки виконувати поділ конструкцій за геометричною ознакою на придатні і непридатні до подальшої експлуатації, але і виявляти поетапну зміну таких геометричних параметрів, як функції часу. Внаслідок цього результати контролю можуть бути використані для раннього виявлення небажаних процесів і явищ та прогнозування їх розвитку. На підставі такого контролю і прогнозування процесів з'являється можливість заздалегідь приймати необхідні попереджувальні заходи, тобто управляти процесом експлуатації, не доводячи стан об'єкта до аварійного. Отже у випадку геодезичного моніторингу ми маємо справу саме із активним контролем.

Результати досліджень. Запропонована оновлена схема геодезичного моніторингу із застосуванням GNSS-вимірів. Важливою особистістю запропонованої схеми є те, що моніторинг є процесом із зворотнім зв’язком, тобто результати отримані на кінцевих етапах використовуються як корегувальні для першого етапу, а відтак і до всієї технологічної схеми моніторингу.

Структура геодезичного моніторингу складається з чотирьох блоків (блок схеми моніторингу; блок проектування моніторингу; блок вимірювання; блок аналізу), які у комплексному процесі впливають один на одного і підсилюють якість інженерного контролю будівель та споруд.

Висновки.

1. Вдосконалено схему геодезичного моніторингу із застосуванням GNSS-вимірів, що дозволить з більш високою якістю та оперативністю виконувати спостереження у рамках моніторингу інженерних споруд.

2. Виконано типізація GNSS-мереж моніторингу, які поділяються на два типи: мережа для безпосереднього моніторингу; мережа для подальшого згущення. Ця градація дозволить більш обґрунтовано виконувати розрахунок точності геодезичних вимірів.

Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. ДП «НДІ БВ». 2017. 44 с.

2. R.Jäger Geodetic Monitoring Systems – Profile and Mathematical Modelling for a Scaleable Structural Deformation Analysis and Realization by the Monitoring System GOCA. Proceedings FIG WG 6.3 Workshop "Current Challenges of Engineering Surveys", Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), 2008. pp. 23-34.

3. R.Jäger, A.Hoscislawski und M.Oswald. GNSS/LPS/LS based Online Control and Alarm System (GOCA) – Mathematical Models and Technical Realization of a Scalable System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Analysis. p. In (E. Bauer, S. Semprich and G. Zenz (Eds.)): Proceedings of the 2nd International Conference "Long Term Behaviour of Dams", Verlag der Technischen Universität Graz, University of Technology, 2009. pp. 387-394.

4. H. Mehrabi, B. Voossoghi. Optimal observational planning of local GPS networks: assessing an analytical method. Journal of Geodetic Science, 2014, 4, pp. 87-97. doi: 10.2478/jogs-2014-0005.

5. R. Shults, A. Annenkov. Investigation of the different weight models in Kalman filter: A case study of GNSS monitoring results, Geodesy and Geodynamics, 2018, pp. 220-228. https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.09.003

6. Шульц Р.В., Анненков А.О., Кучеренко О.О. Застосування ГНСС-технологій при вирішенні завдань геодезичного моніторингу будівництва. Матеріали міжнародної наукової конференції «БудМайстер». Київ. 2016. С. 9-11.

References

[1] DSTU-N B V.1.2-18:2016 Nastanova shhodo obstezhennya budi`vel` i` sporud dlya viznachennya ta oczi`nki yikh tekhni`chnogo stanu. DP "NDI DV". 2017.

[2] R. Jäger, Geodetic Monitoring Systems – Profile and Mathematical Modelling for a Scaleable Structural Deformation Analysis and Realization by the Monitoring System GOCA. Proceedings FIG WG 6.3 Workshop "Current Challenges of Engineering Surveys", Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), pp. 23-34, 2008.

[3] R. Jäger, A. Hoscislawski und M. Oswald, GNSS/LPS/LS based Online Control and Alarm System (GOCA) – Mathematical Models and Technical Realization of a Scalable System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Analysis. p. In (E. Bauer, S. Semprich and G. Zenz (Eds.)): Proceedings of the 2nd International Conference "Long Term Behaviour of Dams", Verlag der Technischen Universität Graz, University of Technology, pp. 387-394, 2009.

[4] H. Mehrabi, B. Voossoghi. Optimal observational planning of local GPS networks: assessing an analytical method. Journal of Geodetic Science, 2014, 4, pp. 87-97. doi: 10.2478/jogs-2014-0005

[5] R. Shults, A. Annenkov. Investigation of the different weight models in Kalman filter: A case study of GNSS monitoring results, Geodesy and Geodynamics, pp. 220-228, 2018. https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.09.003

[6] R.V. Shul`cz, A.O. Annenkov, O.O. Kucherenko, Zastosuvannya GNSS-tekhnologi`j pri viri`shenni` zavdan` geodezichnogo moni`toringu budi`vnicztva, *Materi`ali mi`zhnarodnoyi naukovoyi konferenczi`yi «BudMajster»*, Kiyiv, pp. 9-11, 2016.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Анненков А.А., к.т.н., доцент,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
geodez74@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3618-5399

Аннотация. Предложена схема геодезического мониторинга инженерных сооружений с применением GNSS-технологий. Рассмотрен технологический процесс мониторинга, как составляющей общего процесса технической диагностики зданий и сооружений в целом или

их отдельных конструктивных элементов. Результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии сооружения с указанием мест, видов и причин деформаций или отклонения от проектного положения строительных конструкций.

В диагностике различают две системы диагностирования – тестовую и функциональную системы, которые в комплексном использовании способствуют более объективной оценке состояния объекта. Если рассматривать техническое диагностирование как процесс определения технического состояния объекта с определенной точностью, то при таком определении геодезический мониторинг можно интерпретировать как проведение технической диагностики с определенным интервалом времени. Результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии сооружения с указанием мест, видов и причин перемещений (деформаций). Важной особенностью предложенной схемы геодезического мониторинга является то, что мониторинг является процессом с обратной связью, то есть результаты получены на конечных этапах используются как корректирующие для первого этапа, а затем и ко всей технологической схемы мониторинга.

Усовершенствована схема геодезического мониторинга с применением GNSS-измерений, что позволит с более высоким качеством и оперативностью выполнять наблюдения в рамках мониторинга инженерных сооружений.

Выполнена типизация GNSS-сетей мониторинга, которая складывается из двух типов: сеть для непосредственного мониторинга; сеть для дальнейшего сгущения. Эта градация позволит более обоснованно выполнять расчет точности геодезических измерений.

Ключевые слова: GNSS-съемка, мониторинг сооружений, деформация строительной конструкции.

IMPROVEMENT OF GEODETIC MONITORING SYSTEM OF ENGINEERING STRUCTURES

Annenkov A.A., PhD, Assistant Professor,
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture
geodez74@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3618-5399

Abstract. There was offered a geodetic monitoring scheme of engineering structures using GNSS technologies. Technological process of monitoring was analyzed, as a component of the technical diagnostics general process of buildings and structures in general or their individual structural elements. The result of the diagnosis is a conclusion on the technical condition of the structure, indicating places, types and causes of deformations or deviations from the project position of building structures.

In diagnostics, two systems are distinguished – test diagnostic and functional diagnostic system. When used in combination they contribute to a more objective assessment of the object state. Considering technical diagnostics as a process of determining the technical condition of an object with a certain accuracy, geodetic monitoring can be defined as conducting technical diagnostics with a certain time interval. The result of the diagnosis is a conclusion on the technical condition of the structure, indicating places, types and causes of displacements (deformations). An important feature of the offered geodetic monitoring scheme is that monitoring is a feedback process, that is, the results obtained at the final stages are used as corrective ones for the first stage, and afterwards for the whole technological monitoring scheme.

The geodetic monitoring scheme has been improved using GNSS measurements, which will make it possible to carry out observations with higher quality and efficiency as a part of engineering structures monitoring.

GNSS monitoring networks typification was accomplished consisting of two types: a network for direct monitoring; network for further thickening. This gradation will allow a more reasonable calculation of the accuracy of geodetic measurements.

Keywords: GNSS survey, monitoring of structures, deformation of the building structure.

Стаття надійшла 12.11.2019