

УДК 528.4

к.т.н., доцент Ісаєв О.П., к.т.н., доцент Адаменко О.В.,
д.т.н., професор Шульц Р.В.,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
к.т.н. Білоус М.В., ДП «Укргеодезмарк», м. Київ,
Кривий О.П., Київоргбуд, Хайлак А.М., НДІБВ, м. Київ

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ – З ДОСВІДУ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ КАФЕДРИ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ КНУБА

Наведено основні наукові результати отримані кафедрою інженерної геодезії КНУБА. Встановлено необхідність розроблення на загальнодержавному рівні нормативних вимог та рекомендацій по організації геодезичного моніторингу.

Постановка проблеми. Дослідження просторових переміщень інженерних споруд є складною і актуальною проблемою сучасної інженерної геодезії. Сучасне будівництво відбувається в умовах, що характеризуються різними геологічними умовами, значною кількістю діючих інженерних комунікацій та споруд, стисненими умовами, тому потреба у геодезичному моніторингу виникає одразу з початку будівництва і є вкрай важливою. Розроблення сучасної методики та технології геодезичного моніторингу з використанням сучасного геодезичного обладнання вже на стадії будівництва ускладнюється відсутністю відповідної нормативної документації, яка б регламентувала методика та точність спостережень. З появою нового геодезичного устаткування та розвитком нових технологій постає актуальна проблема розроблення більш коректної та адекватної методики визначення просторових переміщень інженерних споруд.

Кафедра інженерної геодезії Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) з моменту свого заснування активно працювала в напрямку вирішення проблеми геодезичних спостережень за осіданнями та деформаціями інженерних споруд, яка з часом трансформувалася в більш загальну проблему геодезичного моніторингу. За останнє десятиріччя кафедрою накопичено чималий досвід у виконанні робіт з геодезичного моніторингу, що дозволяє зробити перші висновки та рекомендації стосовно виконання моніторингу складних інженерних споруд.

Огляд літературних джерел. Нажаль в Україні питанню геодезичного моніторингу, як до речі і геодезичному забезпеченню будівництва взагалі не приділяється практично жодної уваги. На сьогоднішній день нормативне забезпечення для такого типу робіт практично відсутнє. Більшість публікацій,

що присвячені питанню геодезичного моніторингу опубліковані колективами вчених, що належать до різних наукових шкіл. В Україні такі наукові школи існують в НУ «Львівська політехніка» керівник Третяк К.Р., КНУБА – керівник Войтенко С.П., Донецькому НТУ – керівник Могильний С.Г. Вітчизняні публікації носять суто експериментальний характер. За кордоном найбільш відомі наукові школи з питань геодезичного моніторингу створені в університетах Нового Брунсвіка (Канада), роботи А. Chrzanowski, J.M. Secord, Чехії – А. Корасік, Р. Куринович, А. Хостінова, М. Зриньскі, а також Німеччини, Австрії і Швейцарії.

Постановка завдання. Виклад основних положень сучасного геодезичного моніторингу на основі досвіду робіт, що виконуються кафедрою інженерної геодезії КНУБА.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш за все визначимось, які види робіт входять до складу геодезичного моніторингу. Далі на конкретних прикладах покажемо, як саме реалізується кожна зі складових геодезичного моніторингу.

Геодезичний моніторинг включає в себе систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичну обробку отриманих даних. Геодезичному моніторингу, підлягають основи, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди та об'єкти інфраструктури, що їх оточують.

Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічного супроводу і є складовою частиною загального моніторингу об'єкту будівництва.

Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами або автоматизованими геодезичними комплексами. Проект та програму геодезичного моніторингу розробляють за технічним завданням.

В технічному завданні наводять:

- 1) частини споруд моніторинг яких необхідно проводити;
- 2) розташування опорних та деформаційних марок та знаків;
- 3) періодичність вимірювань;
- 4) точність спостережень;
- 5) перелік звітних документів.

При геодезичному моніторингу визначаються наступні характеристики: для основ:

- 1) вертикальні деформації ґрунту;
- 2) горизонтальні зміщення ґрунту;

для фундаментів:

- 1) абсолютне осідання, середнє осідання;

2) нерівномірне осідання, відносно нерівномірне осідання;
для наземної частини споруди:

1) відхилення від вертикалі (крен) будівельних конструкцій або споруди в цілому;

2) деформації колон і інших бетонних або металевих конструкцій;

3) розкриття тріщин, динаміка їхнього розвитку;

Методи і вимоги до точності геодезичних вимірювань деформацій основ будівель на сьогоднішній день приймають згідно з вимогами [1].

Для висотних будинків, складних та експериментальних будівель моніторинг проводять за методиками відповідного розділу ПВГР (Проект виконання геодезичних робіт), який включає:

а) проектування, вимоги до побудови та точності деформаційної геодезичної мережі;

б) технологію закладення геодезичних знаків та деформаційних марок;

в) методику виконання вимірювань та прилади;

г) календарний план (графік) спостережень; склад виконавців, обсяги робіт і кошторис;

д) порядок обробки результатів вимірювань, перелік звітних документів.



Рис. 1 Геодезична мережа НСК «Олімпійський»

Геодезичні знаки для спостережень розрізняють по призначенню. Це опорні, допоміжні і деформаційні знаки. Знаки також діляться на планові і

висотні.

Опорні знаки є вихідною основою, відносно якої визначаються переміщення деформаційних знаків.

Допоміжні знаки є сполучними і використовуються для передачі координат від опорного знака до деформаційного.

Пункти опорної деформаційної геодезичної мережі розміщують в місцях довготривалого зберігання, які не знаходяться в зоні деформації з урахуванням зручності доступу, вимірювань та мінімізації витрат часу.

Типовим прикладом створення деформаційної опорної геодезичної мережі є мережа створена для реконструкції НСК «Олімпійський» [2,3] (рис.1).

Дана мережа створена в дві стадії: внутрішня і зовнішня. Розташування пунктів мережі дозволяє виконувати спостереження за будь-якими елементами споруди мінімум з двох пунктів. Для довготривалого зберігання пунктів вони закріплені для внутрішньої мережі (В1-В4) бетонними центрами спеціальної конструкції. Конструктивно центр складається з бетонної палі довжиною 8 метрів в верхній частині якої встановлена чавунна марка, яка центр. Пункти зовнішньої мережі (М2, М5-М7) закріплені на будівлях, що оточують об'єкт спостережень.

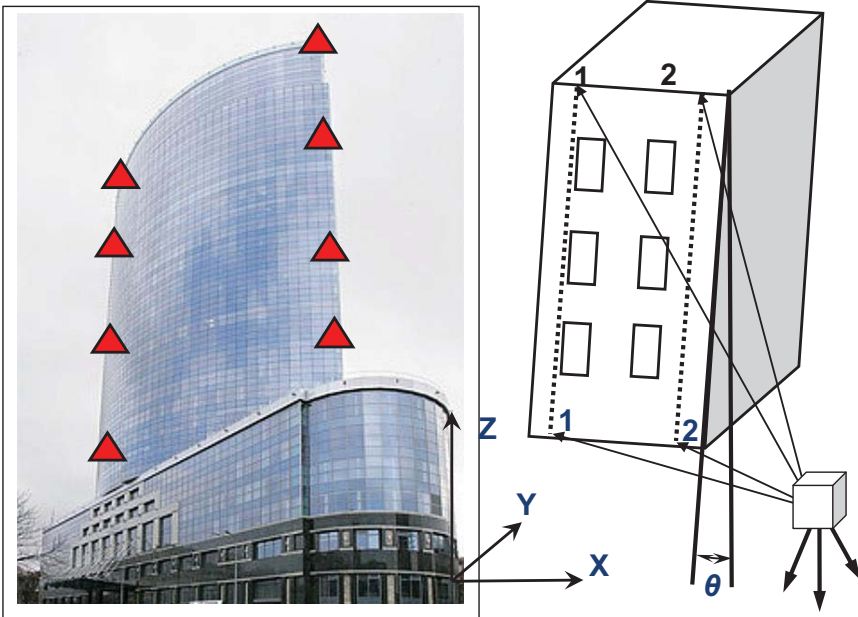


Рис. 2 Схеми розміщення деформаційних марок та принципова схема вимірювання кренів висотних споруд

Місце розташування деформаційних марок в період будівництва та експлуатації, повинно бути запроєктоване в залежності від методів вимірювання з урахуванням інженерно-геологічних умов основи, конструктивних особливостей будівлі та з урахуванням зручності вимірювань. Приклад розташування деформаційних марок для визначення кренів висотних споруд наведено на рис. 2. Дана схема розміщення знаків та методика спостережень запропоновані та реалізовані ДП «Укргеодезмарк» (кер. М.В. Білоус) при спостереженнях за креном висотного будинку «Парус» у м. Києві висотою 116 м.

Деформаційні знаки для визначення горизонтальних зсувів цивільних і промислових будинків розміщуються по периметру, але не більше, ніж через 15 – 20 м по кутах і по обох сторони осадочних швів. На греблях гідровузлів знаки встановлюють у галереях і по верху греблі не менше двох марок на секцію. На підпірних стінках розміщують не менш двох марок на кожні 30 м.

Висотні репери на цивільних і промислових будинках розташовують по кутах, по периметру через 10-15м, по обом сторонам деформаційних швів, на колонах, у місцях примикання поздовжніх і поперечних стін. На підпірних стінках репери розташовують через 15 - 20м.

На димарях, доменних печах, різних вежах і т.п. встановлюють кілька ярусів деформаційних знаків.

Методика виконання вимірювань повинна забезпечувати потрібну точність. Точність і періодичність вимірів указуються в технічному завданні або в нормативних документах. В особливих випадках ці вимоги можуть бути отримані шляхом спеціальних розрахунків.

У нормативних документах вимоги до точності характеризуються середніми квадратичними похибками (СКП):

1 мм - для будинків і споруд, на скельних ґрунтах;

3 мм - для будинків і споруд, на піщаних, глинистих і інших ґрунтах;

10 мм - для будинків і споруд, на насипних і інших ґрунтах, що сильно стискаються;

15 мм - для земляних споруд

На зсувних ділянках осідання виміряють із СКП 30 мм, а горизонтальні зсуви – 10 мм.

Крени димарів, щогл, високих веж і т.п. виміряються з точністю, що залежить від висоти H споруди і характеризується величиною $0,0005H$.

Встановити необхідну точність вимірювання деформацій розрахунковим шляхом досить складно, однак для багатьох практичних завдань використовують формулу

$$m_D \leq 0.2\Delta_D$$

де m_D - СКП вимірювання деформації; Δ_D - величина деформації за проміжок

часу між циклами спостережень.

Вибір часу між циклами вимірювань залежить від виду споруди, періоду роботи, швидкості зміни деформації та інших факторів. В середньому в будівельний період систематичні спостереження виконують 1 - 2 рази у квартал, у період експлуатації - 1-2 рази в рік. При термінових спостереженнях їх виконують до й після появи фактора, що різко змінює звичайний хід деформації.

Для вимірювання вертикальних переміщень (осідання) найчастіше використовують: геометричне, тригонометричне або гідростатичне нівелювання, а також мікронівелювання, стереофотограмметричний метод і метод наземного лазерного сканування.

Нівелювання виконують за однією схемою з постійними точками встановлення приладів. Прикладом такої схеми спостережень з двох опорних реперів за осіданнями бетонної плити методом тригонометричного нівелювання є схема наведена на рис. 3.

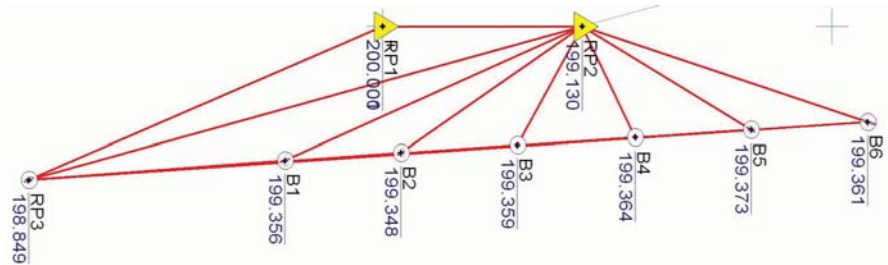


Рис. 3 Схема спостережень за осіданнями методом тригонометричного нівелювання.

При такій схемі точки Rp1 та Rp 2 приймаються за вихідні, а точка Rp3 є перехідною. Спостереження за осіданнями виконують в точках B1 – B6. Спостереження виконувались співробітниками кафедри інженерної геодезії для визначення осідань фундаментної плити півних резервуарів АТ «Оболонь» в м. Києві [4].

За результатами спостережень осідань в кожному циклі можна визначити: абсолютні або повні осідання S фіксованих точок, $S=H_{ном} - H_{ноч}$; середньою швидкістю деформації v_{cp} . за проміжок часу t між двома циклами i й j вимір буде дорівнює $v_{cp} = (S_j - S_i)/t$.

Результати спостережень найчастіше представляють в графічній формі. Для прикладу наведемо графік п'яти циклів спостережень за описаною вище фундаментною плитою.

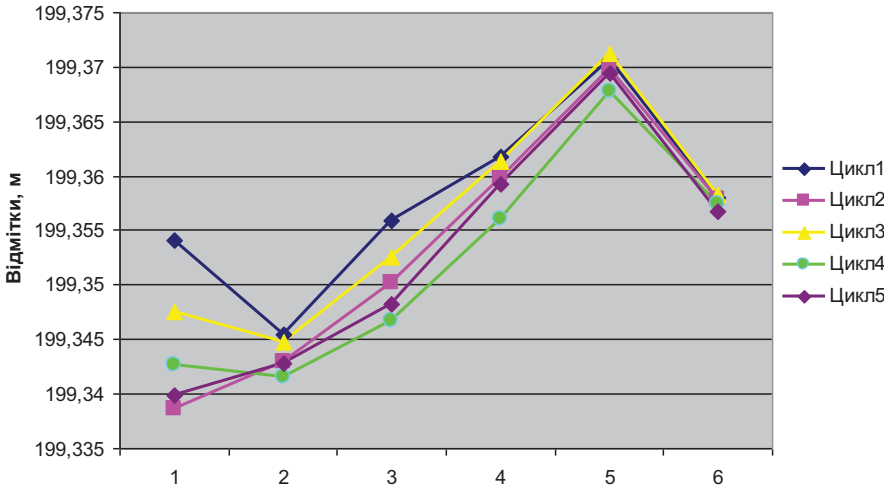


Рис. 4 Графіки абсолютних осідань фундаментної плити в п'яти циклах

Вимірювання відхилень від вертикалі виконують методом похилого проектування (просціювання), кутових або лінійно-кутових засічок, стереофотограмметричним методом і методом наземного лазерного сканування.

Горизонтальний зсув q окремої точки споруди характеризується різницею її координат отриманих у поточних і початковому циклах спостережень $q_x = x_{\text{пот}} - x_{\text{поч}}$; $q_y = y_{\text{пот}} - y_{\text{поч}}$.

Крутіна щодо вертикальної осі характерно в основному для споруд баштового типу. Воно визначається як зміна кутового положення радіуса фіксованої точки, проведеного із центра досліджуваного горизонтального перетину.

Крен або нахил споруди визначають як різниця осідань двох точок, розташованих на протилежних краях споруди, або його частин вздовж обраної осі. Величина крену, віднесена до відстані l між двома точками 1 й 2, називається відносним креном K . Обчислюється він за формулою

$$K = (S_2 - S_1) / l.$$

Найсучаснішим методом визначення кренів є метод наземного лазерного сканування, який дозволяє окрім кренів визначити геометричні характеристики споруди. При спостереженні за кренами великих резервуарів методом лазерного сканування отримують хмару точок за координатами яких можна визначити абсолютний та відносний крен (рис. 5).

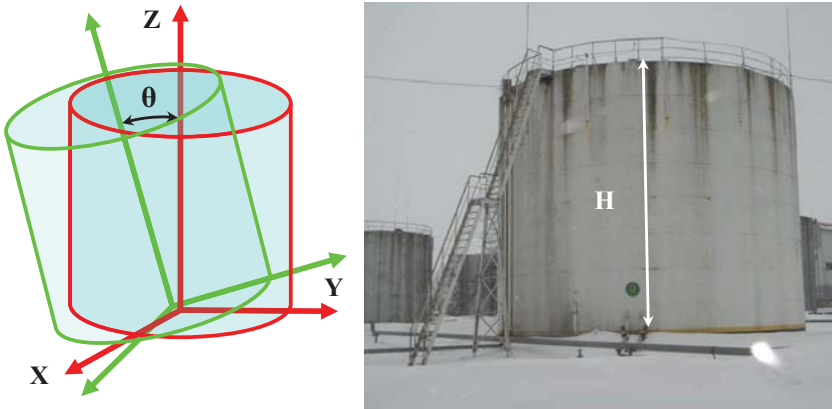


Рис. 5 Нафтовий резервуар і відхилення його від вертикалі

Метод наземного лазерного сканування одночасно з визначенням крену дозволяє визначити зони в яких поверхня резервуару відхиляється від проектної (рис .6)

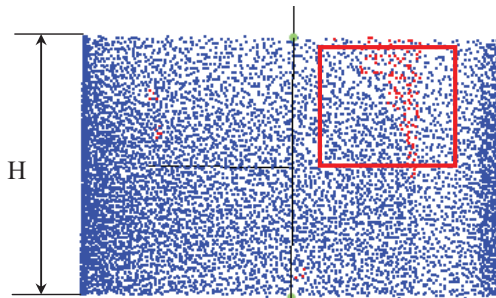


Рис. 6 Сканування поверхні резервуару з виділеною зоною деформації

Приведені результати визначення деформацій нафтових резервуарів отримані співробітниками кафедри за підтримки ДП «Укрметтестстандарт» [5].

При спостереженнях за оболонками які мають складну геометричну форму найчастіше використовують стереофотограмметричний метод. В цьому методі вимірювання виконують за фотографічними зображеннями, а результати можна отримати одразу у вигляді змодельованої поверхні або у вигляді проекції оболонки на площину в горизонталях.

Найчастіше оболонки такого типу використовують при будівництві релігійних споруд. Типовим прикладом такої оболонки є купол Греко-Католицького Храму у місті Києві. Якщо розглядати цю сферичну оболонку, яка складається з чотирьох сегментів, то за допомогою

стереофотограмметричного методу було побудовано кожен з сегментів у вигляді триангуляційної моделі [6] (рис. 7).

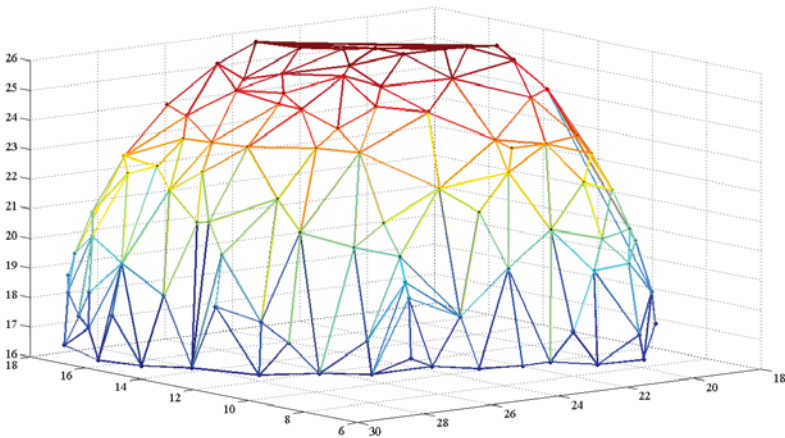


Рис. 7 Сегмент оболонки сферичного типу за даними стереофотограмметричного методу

Для того щоб представити результати деформацій в числовому вигляді найчастіше використовують горизонталі (рис. 8).

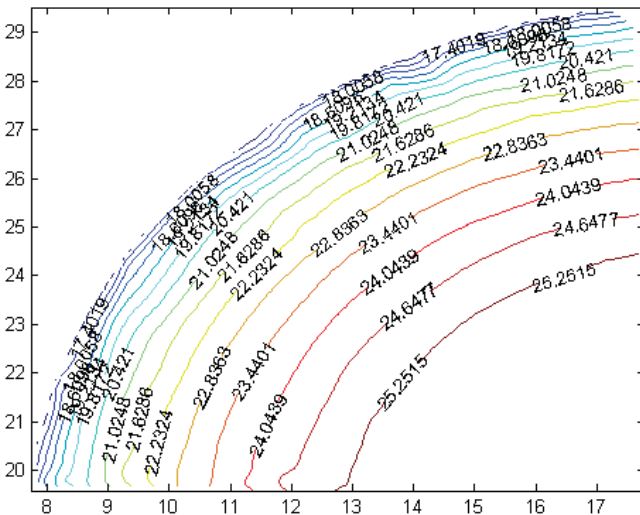


Рис. 8 Деформація поверхні сегменту сферичної оболонки у вигляді горизонталей

Геодезичний моніторинг відповідальних та значних за розміром споруд в період експлуатації доцільно проводити з використанням автоматизованих геодезичних комплексів. До складу таких комплексів найчастіше входять:

електронні тахеометри; GPS-приймачі; цифрові нівеліри; датчики нахилу; метеорологічні сенсори (наприклад, температурні або барометричні); геотехнічні сенсори [7].

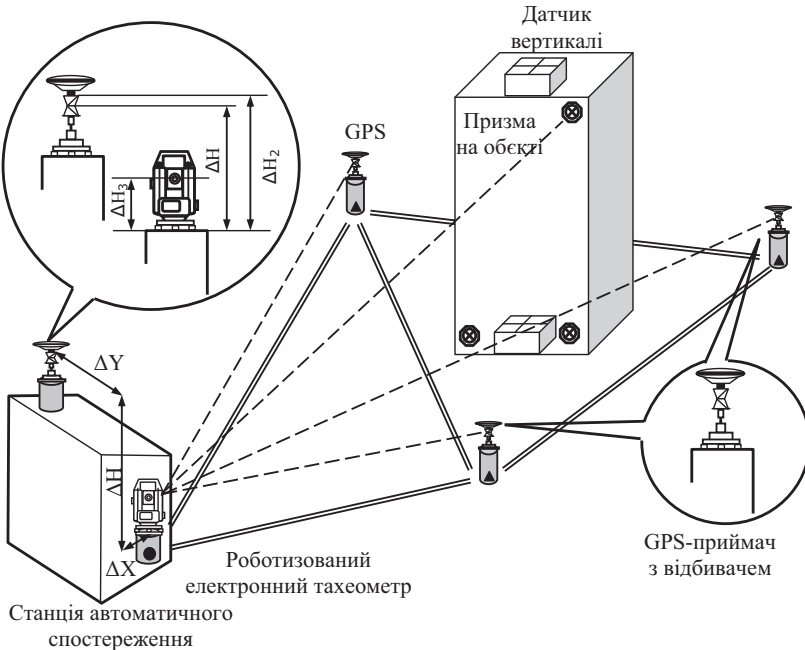


Рис. 9 Структурна схема системи автоматизованого геодезичного моніторингу



Розглянемо основні елементи структурної схеми, що наведена на рис. 9. Електронний тахеометр типу ТМ30. Даний прилад забезпечує точність куткових вимірювань 0.5". Точність вимірювання ліній та довжина ліній залежать від типу спостережень. Для стандартних призм максимальна відстань спостережень 3,5 км, точність вимірювань 0.6мм+1 мм/км, при вимірюваннях без відбивача максимальна відстань складає 1 км, а точність 2мм+2мм/км. В режимі автоматичного пошуку призми максимальна відстань дорівнює 1 км.

Для створення геодезичної мережі навколо об'єкту використовують супутникові приймачі, наприклад GMX902. Цей приймач використовує GNSS технологію SmartTrack+, він виконує вимірювання на 14 GPS каналах на частотах L1



та

L2, аналогічну кількість каналів на двох частотах даний приймач спостерігає для системи ГЛОНАСС, частота вимірювань 20Hz. Точність вимірювань приростів координат дорівнює $3\text{мм}+0,5\text{мм/км}$.



Для вимірювання відхилення об'єкту від вертикалі використовують датчик нахилу Leica Nivel 210/220. Діапазон вимірювань датчика вертикалі ± 3.0 мрад, точність вимірювання відхилень ± 0.0471 мрад.

Для будь-якої системи моніторингу ядром функціонування є програмне забезпечення. Розглянемо структуру системи моніторингу на прикладі системи **Leica**.

Leica GeoMoS – це програмне забезпечення для моніторингу і аналізу поточного стану об'єкту, яке дозволяє комбінувати дані, що отримані різними датчиками. **Leica GeoMoS** складається з двох програмних компонентів: Monitor (Монітор) і Analyzer (Аналіз).

GeoMoS Monitor – он-лайн компонент, який керує датчиками, збором, обробкою і передачею даних.

GeoMoS Analyzer – призначений для аналізу, камеральної обробки і графічного представлення результатів моніторингу.

Всі вимірювання і результати обробки зберігаються у відкритій базі даних SQL. Доступ до даних може здійснюватись локально або дистанційно. Основні особливості системи:

- Забезпечує роботу з використання віддаленого доступу.
- Дозволяє підключати велику кількість датчиків, які об'єднуються в одну систему.
- Забезпечує автоматичне регулювання і синхронізацію отримання даних за допомогою радіомодемів, LAN, WAN або Internet.
- Забезпечує можливість вимірювати відстані до 8 км.
- Моделює метеорологічну мережу навколо об'єкту вимірювання.
- Керує повідомленнями про поточний стан об'єкту (перевищено граничне значення деформації, немає живлення, взлом або руйнування системи) по електронній пошті або SMS.
- Дозволяє імпорт-експорт даних в інші системи (ASCII, DGN, Excel).
- Забезпечує архівування даних.

Модуль Leica GeoMoS Web компонент який забезпечує Інтернет-доступ до даних моніторингу через стандартні веб-браузери. Правила доступу встановлюються для авторизованих користувачів з можливістю перегляду даних моніторингу з комп'ютера, комунікатора або мобільного телефону.

Структура автоматизованих комплексів передбачає можливість моніторингу в реальному масштабі часу таких геометричних параметрів:

- а) нахили фундаменту, нерівномірне осідання фундаментів;
- б) відхилення від вертикалі, коливання верху будівлі;
- в) кручення будівлі;
- г) деформації відповідальних несучих конструкцій.

Система автоматизованого геодезичного моніторингу встановлюється стаціонарно. На пунктах геодезичної мережі встановлюють GPS-приймачі. На об'єкті розташовують датчики і спеціальні призмові відбивачі за якими виконують спостереження за допомогою електронного тахеометра. Електронний тахеометр встановлюють на станції автоматичного спостереження. Приклад розташування супутникових приймачів, призм та електронного тахеометра на гідротехнічній споруді наведено на рис. 10.

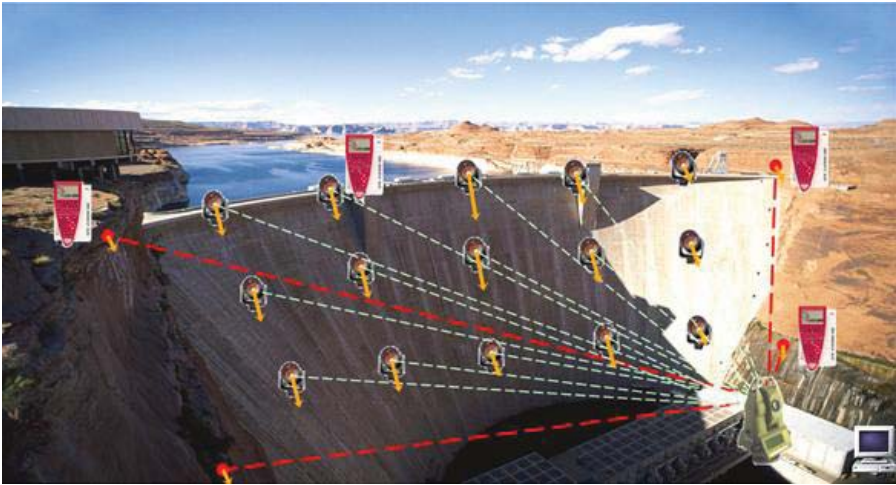


Рис. 10. Приклад встановлення системи автоматизованого геодезичного моніторингу

Така структура системи передбачає безперервний моніторинг. При умові, що спостереження необхідно виконувати з періодом в 1 тиждень або більше, постійне розміщення тахеометра на станції автоматичного спостереження не вимагається.

Висновки. Наведено основні наукові результати отримані кафедрою інженерної геодезії КНУБА. Встановлено необхідність розроблення на загальнодержавному рівні нормативних вимог та рекомендацій по організації геодезичного моніторингу.

Список літератури

1. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений ГОСТ 24846-81 М., Госстройиздат, 1982.
2. Шульц Р.В. На пути к финалу Евро-2012. геодезическое обеспечение реконструкции национального спортивного комплекса «Олимпийский» в Киеве (часть 1) / Шульц Р.В. // Инженерные изыскания. М., – 2011. - №2. - С. 38-43.
3. Войтенко С.П. На пути к финалу Евро-2012. Геодезическое обеспечение реконструкции национального спортивного комплекса «Олимпийский» в Киеве (часть 2) / Войтенко С.П., Шульц Р.В. // Инженерные изыскания. М., – 2011, №8 С. 32-38.
4. Шульц Р.В. Визначення деформацій опор резервуарів за даними наземного лазерного сканування / Шульц Р.В. // Тези доповідей XV міжнародного наук. - технічного симпозиуму «Геоінформаційний моніторинг. GPS і ГІС технології, Алушта, 2010 р. – С. 158-164.
5. Шульц Р.В. Визначення геометричних параметрів циліндричних резервуарів за даними наземного лазерного сканування / Шульц Р.В. / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Гірничо-геологічна. Д., – 2010. Вип. 12 (173). - С. 37-47.
6. Шульц Р.В. Методика виконання інженерно-геодезичних і фотограмметричних робіт при будівництві і спостереженні за станом будівельних споруд / Шульц Р.В., Плохута О.П., Хайлак А.М. // Містобудування та територіальне планування. К., – 2007. – №27. - С. 359-370.
7. Хиллер Б.О. Геодезический мониторинг мостов / Хиллер Б.О., Староверов В.С., Шульц Р.В., Адаменко А.В. // Містобудування та територіальне планування. К., – 2011. – №39. - С. 413-420.

Аннотация

Приведены основные научные результаты, полученные кафедрой инженерной геодезии КНУСА. Установлена необходимость разработки на общегосударственном уровне нормативных требований и рекомендаций по организации геодезического мониторинга.

Abstract

Shows the main results obtained Department of Engineering Surveying KNUCA. The necessity of development at the national level regulations and guidelines for the organization of geodetic monitoring.