

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.74.298-307

УДК 528.4

к.т.н., професор **Староверов В.С.**,  
staroverov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6319-0153,  
Київський національний університет будівництва та архітектури,  
**Гайкін Д.В.**, geosurveykyiv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9100-1444,  
Департамент інженерних вишукувань ТОВ «ОСНОВА», м. Київ

## ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Розглянуто використання автоматизованої системи спостереження у вигляді електронного тахеометра що безперервно та автоматично з заданим інтервалом виконує спостереження на заздалегідь закріплені призми для моніторингу гідротехнічної споруди у вигляді дамби.*

*В основній частині наведено рекомендації з створення планово-висотної мережі та типу і місць закріплення деформаційних марок на дамбі.*

*У роботі проаналізовано переваги даного методу над іншими; проаналізовано дослідження та публікації на тему автоматизованого моніторингу*

*Також, розглянуто проблематику використання даного методу.*

*Ключові слова: автоматизована система спостереження; моніторинг; спостереження; деформація; гідротехнічна споруда; дамба*

**Вступ.** Гідротехнічна споруда — інженерна споруда, що допомагає здійснювати певні водогосподарські заходи як щодо використання водних ресурсів, так і для захисту від шкідливої дії води. Розрізняють гідротехнічні споруди загального і спеціального призначення.

Гідротехнічні споруди бувають річкові, морські й озерні; наземні та підземні; в разі потреби їх об'єднують у гідровузли. [1]

В даній роботі ми розглянемо саме дамбу.

Геодезичний моніторинг - комплекс геодезичних робіт та систематичних спостережень за динамікою розвитку деформацій в період будівництва та експлуатації будівництва. Перед початком виконання моніторингу обов'язково створюється програма моніторингу. Програма з геодезичного моніторингу має встановлювати основні види, обсяги виконання геодезичних вимірів з обов'язковим встановленням періодичності виконання.

До сучасних геодезичних методів моніторингу гідротехнічних споруд можна віднести:

- Високоточне нівелювання (будується на визначенні різниці відміток марок на основі яких проводять аналіз абсолютних величин деформацій і швидкості їх зміни)
- Спосіб GPS-вимірювань (будується на циклах спостереження за допомогою GNSS-приладів)
- Лінійно-кутові вимірювання (будуються на вимірюванні деформацій за допомогою електронного тахеометра методом координування)
- Наземне лазерне сканування (будується на використанні отриманої 3-D хмари точок для визначення всіх видів деформацій) [2]

В даній роботі ми розглянемо використання методу лінійно-кутових вимірювань за допомогою автоматизованої системи з використанням високоточного електронного тахеометра.

**Аналіз досліджень та публікацій.** З нормативних документів, якими можна керуватися при виконанні будь-якого геодезичного моніторингу можна виділити «ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд» та «ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд», в яких описано методи та точність вимірювання деформацій для тих чи інших споруд та будівель. Однак, в цих документах ще забагато уваги приділено теодолітам та оптичним нівелірам, в той час як високоточні електронні тахеометри, цифрові нівеліри, лазерні сканери та ін. оброблені тільки поверхнево, і при використанні сучасних приладів, визначення точності робіт потрібно визначати по таблицям які створені для старих приладів. Наприклад, точність та метод виконання робіт описано для теодоліта, а ми вже використовуємо тахеометр.

Що ж до сучасних наукових публікацій, то на сьогоднішній день їх чимало, і всі з них описують саме сучасні методи моніторингу, все більше і більше приділяючи увагу автоматизованим системам спостереження, GPS-спостереженням, лазерному скануванню та ін. Я вважаю, що це викликано якраз тим, що державні наукові нормативні документи не є вже стільки актуальними, якими були колись.

**Постановка завдання.** Основним завданням даної роботи є ознайомлення з методом автоматизованого геодезичного моніторингу за допомогою електронного тахеометра на прикладі спостереження за деформаціями дамб.

**Основна частина.** Дамба — гідротехнічна споруда (вал) з піщано-глинистих ґрунтів, каміння тощо.

Розрізняють дамби:

- напірні (захисні), призначені для захисту низовин від затоплення, огороження каналів, з'єднання напірних споруд гідровузлів з берегами;
- безнапірні — для регулювання русел річок.

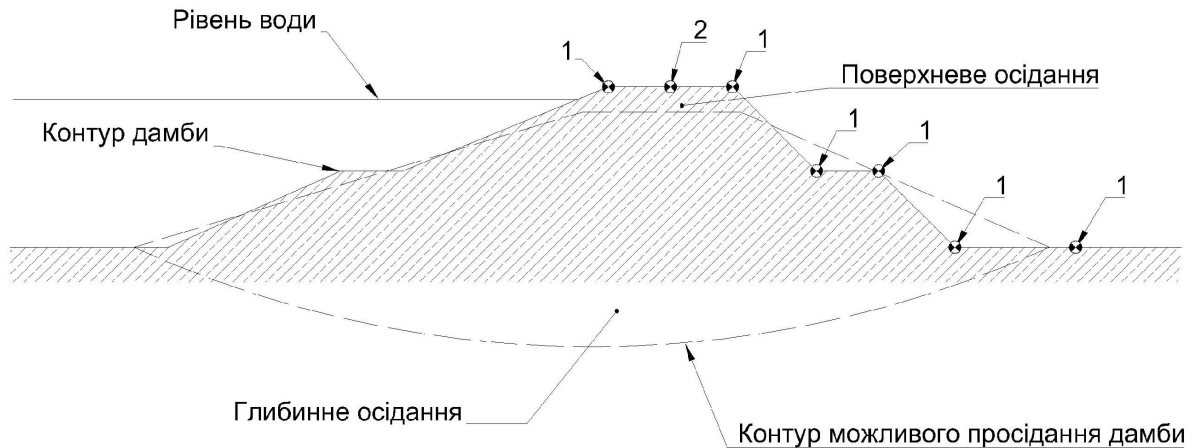


Рис.1. Схема дамби (1-схема розміщення поверхневих марок, 2-схема розміщення глибинних марок)

Отже, для того щоб провести моніторинг гідроспоруди у вигляді дамби, схематичний рисунок якої наведено вище, потрібно заздалегідь виконати такі роботи:

1) Створення планово-висотної основи для геодезичних робіт.

Перед початком геодезичного моніторингу обов'язково встановлюються вихідні репери (пункти). Можуть використовуватись такі репери:

- глибинний — фундаментальний геодезичний знак, що закладається в практично нести скальні шари ґрунтів (при виконанні моніторингу склад них, великих об'єктів, будівництво яких розраховано на 2 і більше років);
- ґрунтовий — геодезичний знак, що закладається нижче глибини промерзання ґрунту (при виконанні моніторингу нескладних об'єктів, будівництво яких розраховано на менше ніж на один рік);
- стінний — геодезичний знак, закладений в стіні будівлі або споруди, осідання фундаменту яких можна вважати практично закінченим (при виконанні моніторингу будівель, що знаходяться в експлуатації)

Основні вимоги до місця розташування вихідних пунктів (реперів):

- тривале збереження нерухомості;
- надійний контроль за стабільністю;
- безперешкодний підхід до пункту (репера) протягом всього періоду моніторингу;
- поза зоною розповсюдження тиску від будівництва;

– в стороні від проїздів, підземних комунікацій, територій, де можливе пошкодження або зміна положення репера;

– поза зоною впливу осадкових явищ. [3]

2) Закріплення на місцевості деформаційних марок.

Місце розташування деформаційних марок в період будівництва та експлуатації, повинно бути запроектоване в залежності від методів вимірювання з урахуванням інженерно-геологічних умов основи, конструктивних особливостей будівлі та з урахуванням зручності вимірювань.

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 реperi 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 реperi розташовують через 15 - 20м.

На димарях, доменних печах, різних вежах і т.п. встановлюють кілька ярусів деформаційних знаків. [4]

Геодезичними методами можна визначити два види осідання дамби, а саме глибинне та поверхнєве (див. Рис 1). Для кожного виду осідання потрібна своя марка.

Поверхнєві марки встановлюються на краях гребня та перемички, а також знизу греблі. Глибинні ж марки встановлюються на гребні.

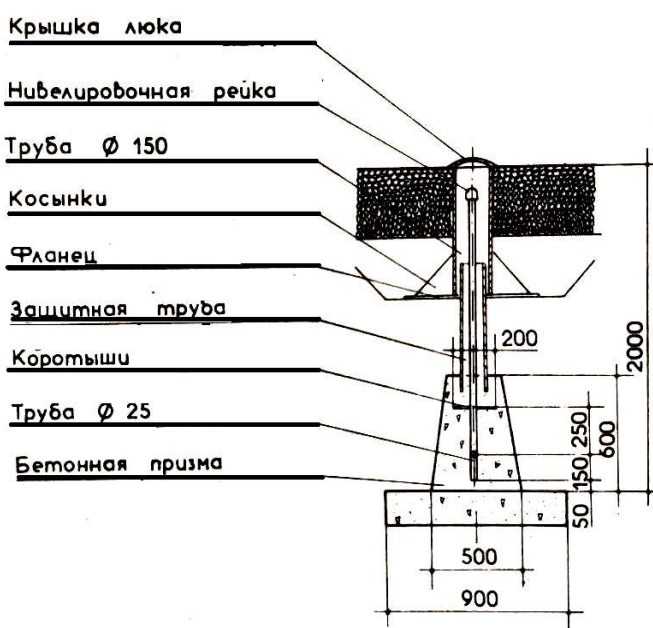


Рис.2. Поверхнева марка

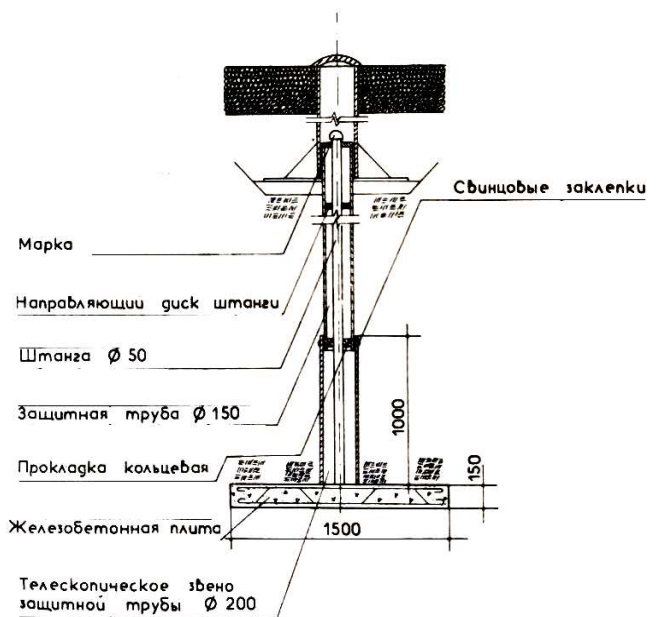


Рис.3. Глибинна марка

### 3) Тепер потрібно обрати метод моніторингу.

Розглядаючи сучасні методи геодезичного моніторингу вказані у Вступі, можна дійти до такого висновку: високоточне нівелювання це гарний метод, однак він покаже лише осідання, а нам потрібно визначати чи є ще й зсув; спосіб GPS - вимірювання краще підходить для інших типів гідротехнічних споруд, таких як греблі чи великі бетонні дамби; наземне лазерне сканування втрачає свою доцільність з розміром, тобто чим довша дамба, тим менш точний результат ми отримаємо, за рахунок збільшення станцій та відстаней. Тому ми розглядаємо саме лінійно-кутовий метод за допомогою високоточного електронного тахеометра, що забезпечить точне як тригонометричне нівелювання, так і координати планового зміщення. Так як ми розглядаємо ще й автоматизований метод, то тахеометр має бути роботизований із сервоприводами. Майже кожна компанія, яка випускає геодезичне обладнання, вже має у своєму каталозі такі прилади, тому вибір є і є великий. Для автоматизованого спостереження потрібне постійне підключення до мережі та набір програм. Цей метод застосовують для безперервних вимірювань осідань, переміщень, кренів й інших деформацій при необмеженій кількості спостережуваних марок, які встановлені у важкодоступних для вимірювання місцях будинків і споруд без освітлення



Рис.4. Автоматизований електронний тахеометр в роботі

Для вимірювання деформацій застосовують спеціальний модуль, як наприклад «Циклоп» чи «Кентавр», призначення яких полягає в управлінні різними типами тахеометрів.

Вимірювання проводяться в трьох координатній системі при цьому використовуються дані по кутам та відстані до спостережуваної вимірної точки –призми.



Ці програми забезпечують точність вимірювань  $\pm 0,5$  мм при відстані 75 м та нормальних температурних умовах.

Результати впливу низьких температур залежать від якості термального захисту та видимості призми.

Такі системи виконують геодезичні вимірювання на спеціальні призми і після автоматичного збору і обробки даних передають результати вимірювань для візуалізації в режимі реального часу.

Методика виконання вимірювань повинна забезпечувати потрібну точність. Точність і періодичність вимірів вказуються 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.

**Проблематика.** З основних проблем у використанні даного методу моніторингу можна виділити дві. Перша – відсутність кваліфікованих фахівців, тому що даний метод не вивчають у професійній навчальних закладах практично (теоретично можливо тільки згадують). Друга – прилад, який виконує безперервні вимірювання, має бути весь час на вулиці і під'єднаний до мережі, і як його не захищай (клітки, охорона об'єкта і т.д.) всеодно є ризик, що його можуть як і викрасти так і просто зламати.

**Висновки.** Отже, автоматизований геодезичний моніторинг є одним із основних сучасних методів вивчення деформацій дамб в умовах експлуатації та має велике практичне значення, яке полягає в тому, що результати моніторингу використовуються як вихідний матеріал для характеристики стабільності дамби в період експлуатації для своєчасного проведення ремонту. А під час виконання моніторингу дамб, що будуються, своєчасно приймати рішення щодо усунення деформаційних явищ, вносити зміни в існуючі правила технічної експлуатації.

Головною перевагою даного методу є безперервне спостереження за деформаціями, інтервал якого ми можемо задати самі та мінімальна кількість фахівців. Тому даний вид моніторингу потрібно використовувати по-перше на об'єктах, що будуються, це допоможе швидко зреагувати у випадку різкого

збільшення деформації, по-друге – на об'єктах на яких вже є деформація, але потрібно визначити її величину та швидкість.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідротехнічна\\_споруда](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідротехнічна_споруда).
2. К. Смолій, Національний університет «Львівська політехніка», УДК 528.72/73, Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд, 2015. С. 87-89.
3. П.Є. Григоровський, Ю.В.Дейнека, Д.М.Дорошенко, НДІБВ, Нові технології в будівництві №2(22), Розробка програми геодезичного моніторингу, 2011. - С. 20-27.
4. Бондаренко И.Н., Мартынов А.В., Мокасеев А.В., Предотвращение аварий зданий и сооружений, Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации, Дата оновлення: 2010-04-23, URL: <http://www.pamag.ru/prensa/sovremenniy-monitoring>.
5. Bayrak Temel. Monitoring temporal behavior of the Yamula Dam // Shaping the Change XXIII FIG Congress. Munich, Germany, October 8–13, 2006.
6. ДБН В.1.3-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві, Геодезичні роботи у будівництві. – К.: Зміна №1, 2017, 70 с.
7. С. Войтенко, Р. Шульц, М. Білоус. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (17), Київ, 2009 – С.144-150.
8. Casaca João. The Geodetic Surveying Methods in the Monitoring of Large Dams in Portugal / Casaca João, Henriques Maria João // FIG XXII International Congress. Washington D.C. USA, April 19–26 2002.
9. Henrique Maria J. Measuring Inclinations in Cabril Dam with an Optoelectronic Sensor / Henrique Maria J., Lima José N., Oliveira Sérgio B. // FIG Working Week 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rome, Italy, 6–10 May, 2012.
10. Pretorius C. J. The extensive geodetic system used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in Southern Africa / Pretorius C. J., Schmidt W. F., van Staden C. S., Egger K. // Session VI: Deformation monitoring and modelling of large dams. Orange, California, USA. 19–22 March. – P. 203–213.
11. Hudnut, K. (1996). Continuous GPS monitoring of dam deformation. EOS, Trans. AGU, 77, No. 46, pg. F139.
12. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Госстройиздат, 1982. 29с.
13. Бесимбаева О.Г., Низаметдинов Н.Ф. Создание системы геомониторинга для условий золоотвала ГРЭС // Тр. Университета. КарГТУ. – 2007. – № 4. – С. 12-15. {in Russian}
14. Kaftan V. I., Ustinov A. V. Use of global navigation satellite systems for monitoring deformations of water-development works. // Power Technology and Engineering. May 2013. Vol. 47. Issue 1. P. 30–37.
15. Дейнека Ю.П. Методи та результати геодезичних спостережень за об'єктами теплової електричної станції // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Ліга-Прес. – 2000. – С. 139–141.
16. Дейнека Ю.П. Геодезичний моніторинг будівель та споруд Добротвірської ТЕС // Інженерна геодезія. – К. – 1998. – Вип. 40. – С. 44–48.

к.т.н., профессор Староверов В.С.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
Гайкин Д.В., Департамент инженерных изысканий ООО «ОСНОВА», г. Киев

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ**

Рассмотрено использование автоматизированной системы наблюдения в виде электронного тахеометра бесперебойно и автоматически с заданным интервалом выполняет наблюдения на заранее закрепленные призмы для мониторинга гидротехнического сооружения в виде дамбы.

В основной части приведены рекомендации по созданию планово-высотной сети и типа и мест закрепления деформационных марок на дамбе.

В работе проанализированы преимущества данного метода перед другими; проанализированы исследования и публикации на тему автоматизированного мониторинга

Также, рассмотрена проблематика использования данного метода.

Ключевые слова: автоматизированная система наблюдения; мониторинг; наблюдение; деформация; гидротехническое сооружение; дамба

Cand. tech. sciences, Professor Staroverov Volodumyr,  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
Haikin Dmytro, Department of the Engineering Research  
of «OSNOVA» LLC, Kyiv

## **GEODESIC MONITORING OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES USING AN AUTOMATED OBSERVATION SYSTEM**

The use of an automated monitoring system in the form of an electronic total station is considered, which continuously and automatically at a given interval performs observations on pre-fixed prisms for monitoring the hydraulic structure in the form of a dam.

The main part contains recommendations for the creation of a planned height network and the type and location of deformation marks on the dam.

The advantages of this method over others are analyzed in the work; researches and publications on the topic of automated monitoring are analyzed

Also, the problems of using this method are considered.



The main task of this work is to get acquainted with the method of automated geodetic monitoring using an electronic total station on the example of observation of dam deformations.

There are two main problems in using this method of monitoring. The first is the lack of qualified specialists, because this method is not studied in vocational schools in practice (theoretically, perhaps only mentioned). The second is that a device that performs continuous measurements must be on the street all the time and connected to the network, and no matter how you protect it (cages, protection of the object, etc.) there is still a risk that it can be stolen or just break.

So, automated geodetic monitoring is one of the main modern methods of studying deformations of dams in operation and is of great practical importance, which is that the monitoring results are used as a source material to characterize the stability of the dam during operation for timely repairs. And during the monitoring of dams under construction, make timely decisions to eliminate deformation phenomena, make changes to existing rules of technical operation.

The main advantage of this method is the uninterrupted observation of deformations, the interval of which we can set ourselves and the minimum number of specialists. Therefore, this type of monitoring should be used first on the objects under construction, it will help to react quickly in case of a sharp increase in deformation, and secondly - on objects that already have deformation, but you need to determine its magnitude and speed.

Keywords: automated observation system; monitoring; observation; deformation; hydraulic structure; dam

## REFERENCES

1. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Hidrotekhnichna\\_sporuda](https://uk.wikipedia.org/wiki/Hidrotekhnichna_sporuda). {in Ukrainian}
2. K. Smolii, Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika», UDK 528.72/73, Analiz suchasnykh heodezychnykh ta heotekhnichnykh metodiv monitorynhu za deformatsiiamy inzhenernykh sporud, 2015. S.87-89. {in Ukrainian}
3. P.Ie. Hryhorovskiy, Yu.V.Deineka, D.M.Doroshenko, NDIBV, Novi tekhnolohii v budivnytstvi №2(22), Rozrobka prohramy heodezychnoho monitorynhu, 2011. - S. 20-27. {in Ukrainian}
4. Bondarenko Y.N., Мартынов A.V., Mokaseev A.V., Predotvrashchenye avaryi zdanyi y sooruzhenyi, Sovremennyye metody monitorynha za tekhnicheskym sostoianyem zdanyi y sooruzhenyi v protsesse ykh ekspluatatsyy, Data onovlennia: 2010-04-23, URL: <http://www.pamag.ru/prensa/sovremenniy-monitoring>. {in Russian}

5. Bayrak Temel. Monitoring temporal behavior of the Yamula Dam // Shaping the Change XXIII FIG Congress. Munich, Germany, October 8–13, 2006. {in English}
6. DBN V.1.3-2:2010. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi, Heodezychni roboty u budivnytstvi, - K.: Zmina №1, 2017, 70 s. {in Ukrainian}
7. S. Voitenko, R. Shults, M. Bilous. Vyznachennia kreniv inzhenernykh sporud metodom nazemnoho lazernoho skanuvannia / Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva, vypusk I (17), Kyiv, 2009 – S.144-150. {in Ukrainian}
8. Casaca João. The Geodetic Surveying Methods in the Monitoring of Large Dams in Portugal / Casaca João, Henriques Maria João // FIG XXII International Congress. Washington D.C. USA, April 19–26 2002. {in English}
9. Henrique Maria J. Measuring Inclinations in Cabril Dam with an Optoelectronic Sensor / Henrique Maria J., Lima José N., Oliveira Sérgio B. // FIG Working Week 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rome, Italy, 6–10 May, 2012. {in English}
10. Pretorius C. J. The extensive geodetic system used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in Southern Africa / Pretorius C. J., Schmidt W. F., van Staden C. S., Egger K. // Session VI: Deformation monitoring and modelling of large dams. Orange, California, USA. 19–22 March. – P. 203–213. {in English}
11. Hudnut, K. (1996). Continuous GPS monitoring of dam deformation. EOS, Trans. AGU, 77, No. 46, pg. F139. {in English}
12. HOST 24846-81. Hrunty. Metody yzmerenyia deformatsyi osnovanyi zdanyi y sooruzhenyi. – M.: Hosstroiyzdat, 1982. 29s. {in Russian}
13. Besymbaeva O.H., Nyzametdynov N.F. Sozdanye systemy heomonytorynha dlia uslovyy zolootvala HRƏS // Tr. Unyversyteta. KarHTU. – 2007. – № 4. – S. 12-15. {in Russian}
14. Kaftan V. I., Ustinov A. V. Use of global navigation satellite systems for monitoring deformations of water-development works. // Power Technology and Engineering. May 2013. Vol. 47. Issue 1. P. 30–37. {in English}
15. Deineka Yu.P. Metody ta rezultaty heodezychnykh sposterezhen za ob'ektamy teplovoi elektrychnoi stantsii // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – Lviv: Liha-Pres. – 2000. – S. 139–141. {in Ukrainian}
16. Deineka Yu.P. Heodezychni monitorynh budivel ta sporud Dobrotvirskoi TES // Inzhenernaheodeziia. – K. – 1998. – Vyp. 40. – S. 44–48. {in Ukrainian}