

УДК 528.72/73 + 549:551.442.4

В. Глотов, А. Кульчицький, К. Третьак
Національний університет «Львівська політехніка»

МОНІТОРИНГ ПРОЯВІВ КАРСТОВИХ ЯВИЩ У БЕТОННІЙ КОНСТРУКЦІЇ ГРЕБЛІ ВОДОСХОВИЩА ТЕРЕБЛЯ - РІКСЬКОЇ ГЕС

©Глотов В.М., Кульчицький А.Я., Третьак К.Р., 2007

В статье предлагаются геолого-минералогические и стереофотограмметрические методы исследования карстовых явлений, которые были зафиксированы в теле бетонной плотины Теребля – Рикской ГЭС расположенной в Закарпатской области. В частности для определения объемов натечных форм применен цифровой стереофотограмметрический метод определения объемов способом регулярной сетки. Подчеркивается, что для детального исследования необходимо проводить циклические съемки периодичностью один раз в год. В результате проведенной работы появилась возможность определить размеры карстовых полостей в теле плотины.

In the paper there are proposed geologic-mineralogical and stereophotogrammetric methods of investigation of karst phenomena fixed in the body of concrete dam of Tereblya-Rykska Hydroelectric Power Station located in Transcarpathian region. Namely for determination of values of wandering forms there was applied the digital stereophotogrammetric method of value determination using a regular grid. It is underlined that for more detailed investigation it is necessary to implement cycled surveys periodically one time per year. Possibility to determine sizes of karst cavities in the dam body has appeared in the result of implemented works.

Постановка проблеми.

Досвід вивчення стійкості інженерних споруд які у процесі експлуатації контактують із водою – греблі, мости тощо, має приблизно сторічну історію. Без сумніву що за такий короткий період часу не були використані усі можливі методи екзогенних процесів які можуть руйнувати ці споруди. Тому прогноз стійкості таких споруд у процесі експлуатації та вивчення можливостей ліквідації шкідливої дії екзогенних процесів є безумовно, дуже актуальним.

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.

Запропонована методика дасть можливість прогнозувати зміни у бетонних конструкціях, а тим самим враховувати це при проектуванні споруд. Тобто, дистанційний метод дає можливість детальніше вивчати процеси, які проходять у вищевказаних конструкціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій , присвячених розв'язанню даної проблеми.

Для визначення кількісної характеристики карстової денудації частково застосовані методи запропоновані у роботі [1]. Автором прослідкований зв'язок процесів утворення порожнин у природніх карбонатних масивах та об'ємів натічних форм.

Для визначення карстової денудації у карстових породах автори використовують різні кількісні методи. Серед них виділяються група методів які ґрунтуються на обліку сумарного стоку та вмісту у воді карбонатів кальцію. Це методи: об'ємний, Корбеля, балансовий , карстово-

гідрохімічний, метод Вільямса, а також повторного нівелювання та повторного фотографування [2,6,7].

У праці [8] підкреслюється, що важливим фактором сучасного будівництва є повна інформація про стан та положення споруд. Отже, зараз проводиться багато досліджень моніторингу деформацій для визначення та аналізу типів інженерних споруд таких як висотні будівлі, дамби, мости, індустріальні комплекси, тощо. Впродовж цих досліджень визначено вимірювальні системи та технології, як геодезичними так і іншими методами. Дослідження виконується розглядаючи тип споруди, її навколишні умови і точність вимірювань. Від використаної технології моніторингу є різниця й в обладнанні для вимірювання деформацій. Також залежно від технологій, які застосовуються в моніторингу деформацій, ці технології та прилади традиційно є поділені на дві групи: геодезичні знімання, що включають високоточне нівелювання, вимірювання віддалі та кутів, тощо), фотограмметричні (аеро- та фототеодолітне знімання), супутникові (такі як GPS, InSar), та деякі інші спеціальні технології: геотехнічні вимірювання, використання лазерів, висків, тощо.

Значний розвиток за останні роки, що пройшла фотограмметрія та лазерне сканування, вони стали конкурентними методами для генерацій ЦМР, фундаментального засобу для визначення моніторингу зсувів – безконтактно та з відповідною точністю, підкреслюється в роботах [9,10]. Традиційним шляхом знімання територій для визначення зсувів є аеро- або в деяких випадках наземна фотограмметрія, що дозволяє створювати 3-D моделі місцевості. Широке застосування сучасних цифрових станцій з процедурою автоматичного розпізнавання ідентичних точок, дозволяє швидке створення ЦМР та виконання моніторингу зсувів. З іншої сторони, 3-D відтворення місцевості методами лазерного сканування є іншим сучасним напрямком для репродукції природної поверхні землі з високою точністю та високим рівнем автоматизації. Однак, існують певні проблеми, що стосуються опрацювання даних та процедури створення ЦМР, виключаючи рослинність, будинки, тощо.

Невирішені частини загальної проблеми.

Визначення об'ємів карстових пустот у тілі греблі з метою вивчення можливостей ліквідації шкідливої дії екзогенних процесів.

Постановка завдання.

Пропонується нова методика до вивчення та прогнозу стійкості суцільних бетонних споруд, які знаходяться в постійному контакті із водою. Завдання полягає в тому, щоб виконати оцінку розмірів імовірних карстових порожнин та їх положення у тілі греблі Теремля-Рікської ГЕС виходячи із визначення об'ємів натічних форм та дебіту і концентрації водних розчинів які циркулюють у тілі греблі.

Виклад основного матеріалу.

Карстові явища (натічні форми) у тілі греблі були зафіксовані кілька років тому [5]. У цій роботі приведено первинний аналіз кількісних та якісних характеристик цих процесів які можуть мати вирішальне значення для оцінки міцності даної споруди та прогнозу її стійкості в процесі подальшої експлуатації.

Карстові явища проявляються в патернах (нижній та верхній) які на певних рівнях горизонтально пронизують греблю уздовж її простягання – це галереї які призначені разом із вертикальними округлими трубчастими отворами для внутрішньої вентиляції суцільного залізобетонного тіла греблі. На стелях, стінах та хідникових частинах патерн спостерігається інтенсивні субтеральні (натічні) хомогенні відклади різної морфології: сталактити, сталагміти та суцільні покриви (Рис. 1, 2).

Такі новотвори виникли в результаті інтенсивної циркуляції води, яка розчиняє в бетоні карбонатну складову та при відповідних температурі та тиску відкладає її на внутрішніх

поверхнях патерн. У зв'язку із цим у тілі греблі слід передбачати утворення порожнин або ослаблених зон які складені із частково зруйнованого бетону низької щільності.

Для моніторингу карстового процесу були застосовані наступні кількісні і якісні показники:

1. Точна кількісна оцінка субтеральних форм та прив'язка їх по простяганню греблі вздовж патерн, що дасть можливість спрогнозувати місцезнаходження зон частково зруйнованого бетону та дати їм кількісну оцінку (приблизний розмір порожнин). Визначення поверхневих об'ємів натічних форм у патернах пропонується виконувати методом регулярної сітки. Початковою площиною буде внутрішня бетонна поверхня патерн; відносно неї і буде визначатися об'єм об'єкту.



а)



б)

Рис.1. Різновиди сталактитів з верхньої патерни

а) сталактити складені з білого кальциту; б) сталактити бурого кольору з домішками глини та гідроокислів заліза.



а)



б)

Рис.2. Різновиди сталагмітів

а) вид зверху; б) вид збоку.

Для моніторингу карстового процесу були застосовані наступні кількісні і якісні показники:

1. Точна кількісна оцінка субтеральних форм та прив'язка їх по простяганню греблі вздовж патерн, що дасть можливість спрогнозувати місцезнаходження зон частково зруйнованого бетону та дати їм кількісну оцінку (приблизний розмір порожнин). Визначення поверхневих об'ємів натічних форм у патернах пропонується виконувати методом регулярної сітки. Початковою площиною буде внутрішня бетонна поверхня патерн; відносно неї і буде визначатися об'єм об'єкту.

Технологія знімання та обробки полягає в наступному. Виконується знімання об'єкту із двох точок із відповідним базисом, причому цифрова камера розташовується приблизно вертикально до об'єкту, а на поверхні бетонного хідника маркуються відповідні опорні точки, з допомогою яких буде виконуватися орієнтування стереопари. Координатна система для опорних точок вибирається умовною. Планові координати визначаються за допомогою рулетки, а висотні за допомогою штангенциркуля, причому у карсті висвердлюються отвори о поверхні початкової площини і глибиноміром вимірюються значення аплікату. Так а технологія вимірів опорних торчок дозволяє визначити координати опорних точок із точністю до 1 мм.

Обробка цифрових зображень проводиться на ЦФС «Дельта 2» за відомою схемою [3].

Отже, можливо не тільки визначити поверхневий об'єм цементациї, а й виконувати циклічні спостереження даних об'єктів через відповідний інтервал часу з метою визначення збільшення відкладень.

Для доведення можливості застосування стереофотограмметричного цифрового методу визначення поверхневих об'ємів розрахуємо апріорну оцінку точності за формулою [4]:

$$m_v = (k^2 \cdot h^2 \cdot m_l^2 + l^2 \cdot k^2 \cdot m_h^2 + l^2 \cdot h^2 \cdot m_k^2)^{1/2}. \quad (1)$$

де, m_l , m_k , m_h - СКП зовнішнього орієнтування знімків;

l , k , h - максимальні розміри об'єкту.

У нашому випадку відповідно -
 $m_l = m_h = m_k = 0.001м$, $l = 0.5м$, $h = 0.4м$, $k = 0.2м$, тоді відносна СКП буде складати $\frac{m_v}{V} = 0.6\%$.

2. Визначення просторових координат об'ємів натічних форм геодезичним методом

3. Макроскопічне та мікроскопічне вивчення натічних форм у шліфах та аншліфах. У результаті зафіксована чітка зональність новотворів – кількість нашарувань співпадає із кількістю років експлуатації греблі (Рис. 3).



Рис.3. Циклічність нашарувань на зрізах сталагмітів відібраних у різних частинах потерни

Така циклічність цементації очевидно зв'язана із пониженням температури взимку, коли інтенсивність карстових процесів значно зменшувалась. Якщо прослідкувати інтенсивність процесу цементації продовж експлуатації станції, то можна виділити наступні закономірності. У перше тридцятиліття з тіла греблі вимивався білий кальцит, у окремі роки, судячи з більшої товщини нашарувань це вимивання було дуже інтенсивним. Продовж останнього двадцятиліття вимивався кальцит бурого кольору, інтенсивність процесу по роках була рівномірною й загалом менш вираженою ніж у початковий період. Бурий колір кальциту зумовлений домішками гідроокисів заліза, що вказує на поступове руйнування сталевих конструкцій.

4. Оцінка загального дебіту води, яка потрапляє у патерну і відповідно виходить з неї, а також хімічний аналіз води зокрема на кількість у ній розчинного кальциту. Дебіт води яка виходить з галереї, очевидно не був постійним і може бути визначений тільки на сьогоднішній день, за допомогою стічних каналок які тягнуться уздовж патерн. У подальших розрахунках будемо опиратися на значення дебетів визначених на сьогоднішній день, а по окремих роках зробимо поправки з урахуванням товщини кальцитових прошарків по окремих річних циклах визначених у шліфах мікроскопічно. Очевидно, що концентрований розчин виносить з патерни ту частину кальциту яка не встигла сформуватися у вигляді натічних форм. Отже, загальна кількість вимитого із тіла греблі кальциту становитиме:

$$M = M_1 + M_2, \quad (2)$$

де M – загальна вагова кількість кальциту; M_1 – вагова кількість натічного кальциту; M_2 – вагова кількість кальциту винесеного в розчині.

Перейшовши до об'ємного вираження цих компонентів через питому вагу кальциту матимемо:

$$V = V_1 + V_2, \quad (3)$$

V – об'єм порожнин у бетоні - загальний об'єм винесеного кальциту; V_1 – об'єм натічного кальциту; V_2 - об'єм кальциту винесеного в розчині.

Висновки

1. Комплексне застосування геолого-мінералогічних стереофотограмметричних та геодезичних методів дає можливість визначити розміри карстових порожнин у бетонних конструкціях виходячи з об'ємів натічних форм, дебіту та концентрації водних розчинів і часу експлуатації греблі.

2. Прив'язка прояву карстових явищ відносно тіла греблі дає можливість визначити місцезнаходження зон імовірного вимивання кальциту що в подальшому дасть можливість для більш детального їх вивчення та вибору способів ліквідації небажаних екзогенних процесів.

3. Макро- та мікроскопічних вивчення форм (зокрема, сталагмітів) дає можливість прослідкувати інтенсивність карстових процесів по окремих роках. Зокрема отримані попередні результати вказують на те що у перших тридцять років експлуатації із тіла греблі вимивався білий кальцит і інтенсивність цих процесів по окремих роках була не рівномірною, За останні двадцять роки експлуатації інтенсивність вимивання кальциту була дещо меншою, але рівномірною по окремих роках. Кальцит вимитий за останній період має бурий колір, що можна пояснити домішками гідроокису заліза які ймовірно виникли в результаті руйнування залізних конструкцій у бетоні.

1. Гвоздецкий Н.А. Применение количественных методов при определении скорости карстовой денудации. «Вест. Моск. ун-та», серия V, география, 1970, № 4, С. 2. Гвоздецкий Н.А. Современная состояние изучения карбонатного карста. Труды московского общества испытателей природы, 1972, С.7-24. 3. Глотов В.М. Створення фронтальних планів льодовиків Антарктичного узбережжя // Збірн.наук. праць “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. - Львів. - 2003р. - С. 264-268. 4. Глотов В.М., Ковальонко С.Б., Міліневський Г.П., Чижевський В.В. Визначення динаміки поверхневих об'ємів острівних льодовиків як складова частина ГІС „Антарктида” // Збірн. наук. праць. X - Міжнар. наук.-техн. симпозиум „Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища - GPS і GIS технології”. 6 – 10 вересня 2005р. - Алушта. - С.172-176. 5. Глотов В.М., Третяк К.Р. Визначення деформації підпірної стінки дросельного затвору Тербля – Рікської ГЕС // Матеріали 3-ї Міжн. Науково-практичної конференції. - Львів-Краків. - 2001. - С.37 – 44. 6. Дублянський В.Н. Карстовые пещеры. М. «Знание», 1977, 48 с. 7. Чикушев А.Г. Методы изучения карста. Из-во Московского университета, 1973, 90 с. 8. Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A. Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry techniques to monitor landslide bodies // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul, - 2004. P. 246-252. 9. Erol S., Erol B., Ayan T. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/LEVELLING // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul. - 2004. P. 622-628. 10. Mora P., Baldi P., Casula G., Fabris M., Ghirotti M., Mazzioni E., Pesci A. Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta Landslide (northern Apennines, Italy). Engineering Geology 68, 2003. P. 103-121.