

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 528.48

Ю.І. КАЛЮХ, О.А. КЛИМЕНКОВ, Я.О. БЕРЧУН

### МОНІТОРИНГ ЛІВАДІЙСЬКОГО ПАЛАЦУ ПРИ ЗМІНАХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЛІВАДІЙСЬКОЇ ЗСУВНОЇ СИСТЕМИ

***Анотація.** Розглянуто систему моніторингу будівельних конструкцій Лівадійського палацу, який розташований на Центральній Лівадійській зсувній системі, та результати впливу зміни фізико-механічних характеристик ґрунтової основи на деформування палацу. Система моніторингу складається з високоточних акселерометрів та інклінометрів. Всі датчики з'єднані в єдину систему з безперервним режимом передачі даних на центральний блок обробки даних.*

***Ключові слова:** інклінометр, акселерометр, моніторинг, Лівадійський палац, охорона культурної та природної спадщини.*

#### Вступ

Зсуви становлять серйозну загрозу життю людей, об'єктам інфраструктури та природному середовищу в багатьох регіонах світу. Протягом останнього десятиліття (з 2000 по 2009 рр.) стихійні лиха пошкодили та зруйнували близько одного мільйона об'єктів, що безпосередньо торкнулося майже 2,5 млрд населення у всьому світі. Щорічно у Європі трапляється близько 20 великих зсувів, що за частотою прояву значно більше, ніж повені, землетруси та урагани [1].

Особливу увагу необхідно звернути на стан зсувонебезпечних територій в Криму. За останній час сталися значні зміни у фізико-механічних характеристиках ґрунтової основи та природній обстановці узбережжя, пов'язані в основному з інтенсивною господарською діяльністю, що виразилися у виснаженні природного штучного пляжевого матеріалу, розмиві акумулятивних форм, а також в інтенсивному розвитку зсувних процесів. Періодична активізація екзогенних геологічних процесів і складна інженерно-геологічна ситуація в межах Південного берега Криму (ПБК) призводить до перетворення ландшафту і деформацій інженерних й архітектурних споруд. Особливо відчутних збитків завдають зсуви, які часто створюють загрозу збереженню

унікальних пам'яток архітектури, історії та культури. За всю історію інженерного освоєння ПБК зсуви спричинили більший сумарний збиток, ніж землетруси. На сьогодні утворилася загрозна ситуація на території Лівадійського палацово-паркового комплексу і Центральної Лівадійської зсувної системи (ЦЛЗС).

Формування зсувів – одного з найнебезпечніших екзогенних геологічних процесів – відбувається під впливом цілого комплексу факторів, що визначають режим їх розвитку. Виявлення та вивчення факторів, що зумовлюють зсувні деформації, проводиться при інженерно-геологічному обстеженні територій або розробці карт ділянок розвитку небезпечних геологічних процесів. Оцінка й аналіз всієї сукупності факторів, що призводять до формування чи активізації зсувів, з метою їх прогнозу проводиться на основі моніторингу. При цьому при оперативному прогнозуванні стійкості схилів, плануванні та проведенні невідкладних заходів зі стабілізації зсувів необхідні отримання та обробка даних спостережень в режимі, близькому до режиму реального часу. Системи моніторингу та раннього попередження широко використовуються у світі для виявлення зсувної небезпеки та запобігання їй (Sassa K. [2], Lollino G. [3], Highland L. and Bobrowsky P. [4], Baum R. [5] та ін.).

У світовій практиці також широко використовуються спеціалізовані системи моніторингу будівельних конструкцій (Huston D. [6], Nagayama T. and Spencer B. [7] та ін.). В Україні вперше система on-line моніторингу будівельних конструкцій південної та північної вентиляційних шахт зруйнованого 4-го блоку Чорнобильської АЕС з метою дослідження питань їх цілісності і деградації, а також вироблення рекомендацій щодо їх подальшого посилення була розроблена в 1993–1994 рр. під керівництвом проф. Ю.І. Калюха [8] і встановлена наприкінці 1994 р. на 4-му блоці ЧАЕС.

### **Лівадійський палац. Історична довідка**

До 1779 р. у межах території Лівадійського палацово-паркового комплексу розташовувалось невелике грецьке село. Інтенсивне освоєння території Лівадії розпочалося у 50-х роках XIX століття. Було споруджено поміщицькі будинки, церкву, житлові та господарські будівлі. На 437 000 м<sup>2</sup> закладено парк із цінними породами субтропічних рослин: вічнозеленими миртами, лаврами, кедрами, пініями, магноліями і кримськими соснами. У 1860 р. Лівадію придбала царська родина Романових, яка доручила перебудову одного з будинків під імператорський палац. З 1866 р. Лівадія стає царською резиденцією (рис. 1).

У 1910–1911 рр. на місці старого палацу за проектом відомого архітектора Н.П. Краснова зводиться новий Великий Лівадійський палац, який являє собою двох-триповерховий корпус, побудований в стилі строгих архітектурних форм Італійського Відродження з включенням композиційних елементів інших стилів (рис. 2), для чого здійснюється потужне вертикальне планування рельєфу з розширенням доріг і будівництвом електростанції, льодовиробного заводу, гаражу, зеленого театру. Під час будівництва палацу були споруджені дренажні галереї, дренажні та водопровідні системи, а також резервуари для води. Всього вже налічувалося близько 400 будинків, з яких майже 100 житлових будівель; споруджуються оранжереї, молочна ферма, розбивається фруктовий сад.



Рис. 1 – Цар Микола II з родиною в Лівадійському палаці



Рис. 2 – Зведення Лівадійського палацу

Під час Другої світової війни 1939–1945 рр. комплекс Лівадійського палацу зазнав значних пошкоджень. Згорів Малий палац, зруйновано ряд корпусів, вирубано багато паркових насаджень. У зв'язку із проведенням Ялтинської конференції навесні 1945 року у Великому Лівадійському палаці були здійснені ремонтно-відновлювальні та будівельні роботи. У 1974 р. в Лівадійському палаці відкрито Виставковий зал, присвячений Ялтинській конференції (рис. 3).



Рис. 3 – Зліва-направо: У. Черчілль, Ф. Рузвельт, Й. Сталін в Лівадійському палаці у травні 1945 р.

У радянські часи палацові споруди комплексу – Великий Лівадійський палац (рис. 4), Христо-Воздвиженська церква, Світський корпус, палац Фредерікса – були взяті на державний облік як пам'ятки архітектури та містобудування. Інженерний захист на Лівадійському схилі частково формувався під час будівництва Палацу (1911–1912 рр.) і складався з дренажних галерей, зливостоків й підпірних стін. Після революції 1917 р. в Росії, коли територія переходила до різних відомств СРСР, йшло інтенсивне зведення будівель і споруд на прилеглих до Лівадійського палацу ділянках, проводилася реконструкція водогінних комунікацій, а будівництво нових проводилося без урахування



Рис. 4 – Сучасний вигляд Лівадійського палацу



раніше побудованих. У 1965–1968 рр. зведено комплекс берегозахисних споруд – буни і міжбунне засипання (штучні пляжі), гідротехнічні стінки, вантажна пристань. Перераховані споруди до цього часу деформуються, у зв'язку з чим не спроможні протистояти розвитку зсувних і абразивних процесів. Інтенсифікації зсувних процесів сприяла відсутність контролю за водонесучими і дренажними спорудами, виитоки з яких, разом з порушеною системою поверхневого стоку, призвели до обводнення території Лівадійського палацово-паркового комплексу. До того ж дренажна галерея навколо палацу відіграє негативну роль щодо стійкості схилу (створює підпір ґрунтовим водам, зволожує ґрунти, підвищує гідрогеологічні сили).

### **Центральна Лівадійська зсувна система та її активізація**

У 60–70-ті роки ХХ ст. у верхній частині Лівадійського палацово-паркового комплексу відбувалось інтенсивне будівництво автодороги Ялта–Севастополь та нового санаторного комплексу «Прикордонник», що призвело до інтенсивного розвитку зсувних процесів на всій цій території. У зв'язку із зазначеним, в сучасних умовах Центральна Лівадійська зсувна система (ЦЛЗС) має досить високий коефіцієнт техногенного навантаження, який досягає 0,8 у верхніх і 1,0 – в нижніх частинах. По всій території існує досить розгалужена й густа мережа водонесучих комунікацій (документація щодо старих комунікацій загублена). За останні 10 років (Трофимчук О.М. [10], Kaliukh I. [9]) намітилася стійка тенденція зростання інтенсивності зсувних деформацій ґрунтового масиву, що проявляється в розширенні площ локальних зсувних тіл, руйнуванні підпірних стін, дренажних і водовідвідних споруд, комунікацій, в розширенні старих і появи нових тріщин на будівлях палацового ансамблю і самому царському палаці.

У результаті зсувних переміщень повністю зруйновані під'їзні автодороги, підпірні стіни, пішохідні доріжки, Лаврова альтанка (рис. 5).



Рис. 5 – Руйнування Лаврової альтанки правим бортом «Західного» зсуву

Зсуви ЦЛЗС руйнують Лівадійський палацово-парковий комплекс, різноманітні комунікації (як, наприклад, міський каналізаційний колектор), шахти ліфтопідійомників (де на глибинах 18 і 30 м помічено зріз тьюбінгових болтів), а також берегоукріплювальні споруди в язикових частинах «Західного» і «Східного» зсувів ЦЛЗС (Малюк Ю. [11]).

Подальший розвиток зсувних процесів може призвести до значних руйнувань будівлі Лівадійського палацу та прилеглої території. Під загрозою руйнування знаходиться система дренажу в південно-східній частині палацу. Загальна стійкість ЦЛЗС стрімко знижується через збільшення різноманітних техногенних навантажень на тлі дії природних чинників, у результаті чого до цього часу в межах палацу й прилеглої території сформувалося 10 локальних (досить розвинених) зсувів.

Враховуючи, що з 1995 р. помітно посилилася активізація зсувних процесів в районі «Західного» зсуву ЦЛЗС, основна увага при проведенні наших досліджень була зосереджена на ділянці схилу, де розташований сам Великий Лівадійський палац і прилегла до нього територія зсувного схилу, практично, до сучасного урізу Чорного моря.

### **Обстеження технічного стану будівельних конструкцій Лівадійського палацу**

В даний час активні прояви зсувних процесів спостерігаються в безпосередній близькості від Великого Лівадійського палацу (рис. 4), нижче якого сформувалися сучасні зсуви «Східний» і «Західний» (Малюк Ю. [11]). Триває відчленування у бік моря мармурових сходів, що ведуть на оглядовий майданчик над двориком у північно-східному куті царського палацу, а також спостерігаються деформації на асфальті на відстані 3–5 м від південного фасаду палацу. У результаті візуального обстеження будівельних конструкцій Великого Лівадійського палацу в 2012–2014 рр. було встановлено посилення активності «Східного» зсуву, що виразилося в розширенні зсувних деформацій вище його головної частини. Відмостка і прилеглі до будівлі палацу асфальтове і бетонне покриття мають численні тріщини, через які зливові води проникають і замочують ґрунти основи палацу. У технічному цокольному поверсі палацу видно тріщину в цокольній стіні, що йде вглиб до його фундаменту. У місцях примикання ганку і сходів до будівлі палацу з боку південно-східного фасаду спостерігаються тріщини з розкриттям до 55 мм і більше. З південно-східного і південно-західного боків фасадів палацу наявні тріщини від цоколя до карнизу, в тому числі і в арочних конструкціях віконних прорізів. В межах безпосередньо палацу, Світського корпусу, церкви протягом останнього періоду зсувної активізації 2012–2014 рр. (Трофимчук О. [12]) тривав розвиток зсувних тріщин до значень 8–14 см.

За останні 80 років експлуатації Лівадійського палацово-паркового комплексу було виведено зі стану рівноваги близько 30% розглянутої території ЦЛЗС. У межах палацу і паркової зони спостерігається підтоплення території, що призводить додатково до зниження несучої здатності ґрунтів, збільшення гідрогеологічних сил і сейсмічної бальності. Сейсмічна бальність збільшується за рахунок деградації і водонасичення ґрунтів ЦЛЗС. Локальні зсуви вільно (прогресивно і регресивно) розширюються і об'єднуються в просторі, формуючи тим самим єдиний зсув по всій території. Висока сезонна і річна

активність локальних зсувів у межах палацово-паркового комплексу підвищує ступінь соціально-економічного ризику (вже зараз палац розташований на відстані до 70–100 м від головних поверхонь відриву трьох локальних зсувів і в зоні незатухаючої повзучості, що сприяє формуванню і розвитку тріщин на прилеглих ділянках і стінах палацу та знижує його сейсмостійкість). Ризик обвалення будівельних конструкцій створює небезпеку не тільки для самого палацу, а й для численних груп туристів, які щодня відвідують його визначні пам'ятки.

### **Моніторингова система Лівадійського палацу**

З метою зниження і виключення ризику для наступної експлуатації Лівадійського палацово-паркового комплексу (Трофимчук О. [12]) було втілено в життя «Програму робіт зі збереження Лівадійського палацово-паркового комплексу від небезпечних геологічних процесів», що являє собою систему науково обґрунтованих і взаємопов'язаних проектно-пошукових, захисних і літомоніторингових заходів, як локальних, у межах палацу, так і по всій території ЦЛЗС.

Моніторинг напружено-деформованого стану будівельних конструкцій Великого Лівадійського палацу в on-line режимі здійснюється за допомогою нової програми «Sensor». Вона виконує перетворення аналогових сигналів за допомогою аналогово-цифрового перетворювача у цифровий код і введення даних у комп'ютер у режимі реального часу, первинну обробку статистичних даних вимірів і збереження цих даних, що надходять з високоточних електричних інклінометричних датчиків, встановлених на окремих будівельних конструкціях палацу. Одним з основних елементів системи моніторингу «Sensor» є реєструючі датчики, точність яких залежить, у першу чергу, від типу обраних чутливих елементів, їхньої чутливості і погрішностей, як випадкових, так і систематичних. Датчики складаються з двох ортогонально орієнтованих в горизонтальній площині високоточних акселерометрів. Осі чутливості акселерометрів орієнтовані паралельно поздовжній і поперечній осям корпусу. Принцип формування сигналів, величина яких прямо пропорційна кутам нахилу датчика в досліджуваній точці, заснований на вимірюванні проекції вектора сили тяжіння  $g$  на осі чутливості акселерометрів. Точність датчиків системи моніторингу «Sensor» становить не більше 5 кутових секунд.

Із середини грудня 2001 року за допомогою моніторингової системи «Sensor» (Трофимчук О. [12]) проводяться вимірювання динамічних коливань просторового положення Лівадійського палацу в режимі реального часу. Еволюція просторового положення визначається шляхом вимірювання динаміки кутів нахилу фасаду палацу.

Один з датчиків був встановлений на мармурове підвіконня (із зовнішнього боку) кутової кімнати (кабінет імператриці) 2-го поверху південно-східного крила палацу (рис. 6). Датчик був жорстко закріплений на квадратній основі мармурової колони і орієнтований по поздовжній і поперечній осях Лівадійського палацу. За поздовжню вісь Лівадійського палацу прийнята його фасадна частина (з боку м. Ялта). Сигнали про кутове положення і вібрації несучих конструкцій Лівадійського палацу формуються в датчиках акселерометра у вигляді напруги змінного струму, пропорційній амплітуді

і частоті вібрацій. Цей сигнал надходить до блоку перетворення сигналів, де посилюється і перетворюється в напругу постійного струму. Посилені сигнали по спеціальному кабелю надходять на аналогово-цифровий перетворювач і далі в персональний комп'ютер. Програма «Sensor» у режимі реального часу дозволяє: реєструвати поточні кути нахилу будівельних конструкцій палацу, сейсмічну та техногенну динамічну активність; виконувати первинну статистичну

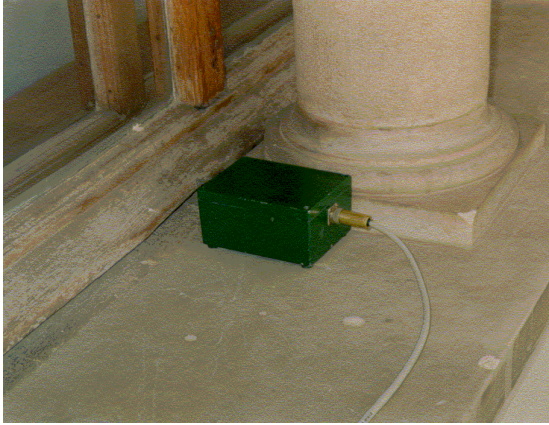


Рис. 6 – Місце встановлення одного з вимірювачів кутів нахилу і вібрацій на південно-східній частині Лівадійського палацу

обробку отриманих даних; виконувати архівування та накопичування отриманих даних і результатів первинної статистичної обробки. Програма «Sensor» реалізована у вигляді декількох взаємодіючих між собою блоків. Користувальницьку оболонку програми «Sensor» можна умовно розділити на 5 частин (рис. 7).

Тут:

1 – графік, що показує динаміку зміни спостережуваної величини (колір графіка змінюється в залежності від типу датчика: ■ – для статичних даних, ■ – для динамічних даних);

2 – результати роботи блоку статистичної обробки;

3 – індикатор зміни спостережуваної величини (супроводжується звуковим сигналом при наявності звукової карти і спеціального файлу horn.wav);

4 – індикатори накопичення й обробки даних;

5 – органи керування програми «Sensor».

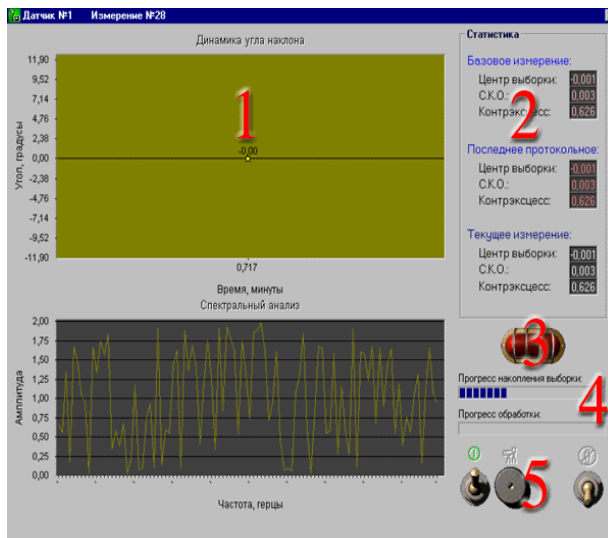









Рис. 7 – Користувальницька оболонка програми «Sensor»



Органи управління програмою «SENSOR» описані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Опис призначення органів управління

ОУ	Положення	Опис
		Початок роботи (накопичення даних, корекція, обробка, висновок і т.д.)
		Пауза
	-	Виклик вікна сервісного блоку (панель налаштувань)
		Режим блокування органів управління включений. У цьому режимі не доступні також: кнопка, комбінації клавіш Ctrl-Alt-Del, Ctrl-Esc, Alt-Tab. Цей режим також супроводжується попереми́нним загорянням індикаторів клавіатури Num Lock, Caps Lock і Scroll Lock
		Вимкнення режиму

В основу програмного забезпечення комплексу «Sensor» покладені наступні принципи: достатня вірогідність вимірюваних величин; надійність у роботі; простота обслуговування; можливість оперативної оцінки вимірюваної інформації.

Інформація з інклінометричних датчиків по рівнобіжних каналах надходить на аналогово-цифровий перетворювач, керування яким реалізоване в блоці "АЦП" програми «Sensor» (рис. 8).

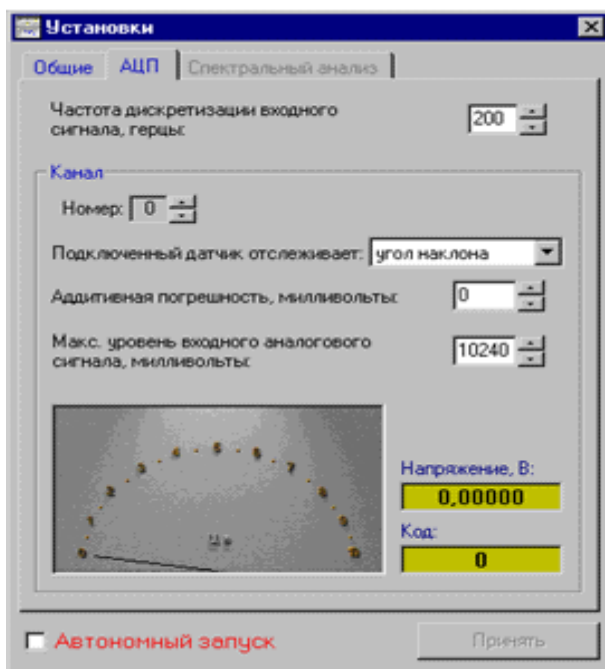


Рис. 8 – Блок аналого-цифрового перетворення

Пояснення до деяких параметрів блоку «АЦП»:

1. *Частота дискретизації вхідного сигналу*, Гц – для адаптації даного каналу програми «Sensor» під досліджуваний процес. При можливих динамічних режимах з частотою  $N$  Гц її необхідно задати у даному вікні настроявань аналогово-цифрового перетворювача, відповідно до теореми Котельникова – Найквіста, *установити частоту знімання сигналів* в  $2N$  Гц.

2. *Канал, номер* – номер каналу аналогово-цифрового перетворювача, до якого підключений  $i$ -ий датчик.

3. *Підключений датчик відслідковує* – тип вимірюваної фізичної величини.

4. *Адитивна погрішність, мілівольт* – адитивна погрішність вимірів по даному каналу.

5. *Максимальний рівень вхідного аналогового сигналу, мілівольт* – максимальний діапазон зміни напруги, що надходить з інклінометричного чутливого елемента по даному вимірювальному каналу.

6. *Напруга, В* – миттєве значення напруги по даному вимірювальному каналу.

Математична модель первинної статистичної обробки вимірюваної інформації розроблена відповідно до вимог з реєстрації даних і призначена для вирішення наступних задач: докладне представлення результатів вимірів відповідно до Держстандарту України; побудова точних довірчих інтервалів розкиду даних шляхом обліку погрішностей вимірюваної системи; виявлення навіть незначних, але статистично достовірних змін даних за допомогою методу перевірки статистичних гіпотез; прогнозування розвитку процесів за зміною низки параметрів:

1. прогнозування за зміною форми закону розподілу вибірки одиничних вимірів;

2. прогнозування з використанням результатів вимірюваної інформації, отриманої за кінцевий проміжок часу (часу моніторингу).

У програмі первинної обробки вимірюваної інформації реалізований алгоритм обчислення довірчого інтервалу з імовірністю  $P = 0,90$ :

1. По-перше, на основі моделювання на ПЕОМ встановлено, що існує залежність між законом розподілу погрішності і необхідним обсягом вибірки (кількістю одиничних вимірів) для одержання відповідної статистичної оцінки заданої відносної середньої квадратичної погрішності.

2. По-друге, зміна виду закону розподілу погрішності нерідко може бути ознакою якої-небудь зміни умови проведення експерименту.

Дану обставину можна використати при моніторингу і прогнозуванні. Оскільки, з одного боку, зміна ексцесу й асиметрії вибірки може відбуватися і без зміни центра вибірки і дисперсії, а з іншого боку – зміна статистичних моментів більш низьких порядків (центра вибірки і дисперсії) не може відбуватися без зміни статистичних моментів більш високих порядків (асиметрії й ексцесу). Таким чином, вони можуть бути сигналами до наступної зміни центра вибірки, що може відігравати важливу роль при ранньому прогнозуванні небезпечних процесів (ознаках активізації зсувів чи тріщиноутворення та руйнації будівельних конструкцій палацу).

Розроблене програмне забезпечення програми «Sensor» дозволяє вирішити наступні задачі:

1. Автоматизувати процес вимірювань досліджуваних параметрів (можливість довгострокової роботи системи моніторингу у реальному часі без участі оператора).

2. Надати дані первинної обробки в зручному для ознайомлення виді.

Докладне вивчення законів розподілу, їхня каталогізація і побудова бази даних первинних статистичних параметрів вимірів є необхідною початковою інформацією для роботи програми прогнозування динаміки часових рядів. Це дає змогу будувати більш ранні і достовірні прогнози еволюції напружено-деформованого стану будівельних конструкцій палацу, інтенсивності зсувної активності ЦЛЗС, кореляції між геліогенними і літогенними факторами й ін.

### Аналіз результатів моніторингових досліджень

Окремі результати вимірювань 2012 р. представлені на рис. 9. На рис. 10 наведено фрагмент миттєвої інформації, отриманої нами тільки по одному з датчиків під час моніторингу будівельних конструкцій Лівадійського палацу у 2002 р. (Трофимчук О. [10]).

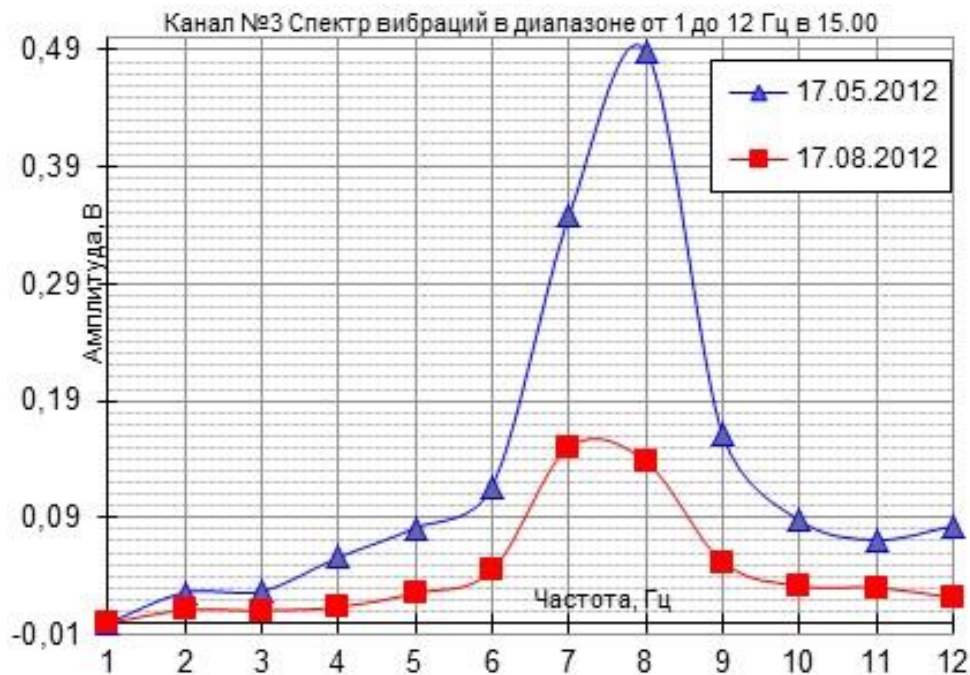


Рис. 9 – Фрагмент миттєвої інформації, отриманої по одному з прецизійних датчиків під час моніторингу будівельних конструкцій Лівадійського палацу у 2002 р.

На основі обробки результатів вимірювань встановлено:

1. Південно-східне крило Лівадійського палацу здійснює неперервні коливання щодо деякого середнього положення. Ці коливання мають виражений періодичний характер. При цьому період визначається добою. Амплітуда добових коливань змінюється в межах приблизно 1,5 кутові хвилини, тобто десь по 45 кут. секунд в кожен з боків від середнього положення. Коливання відбуваються відносно поперечної осі будівлі.

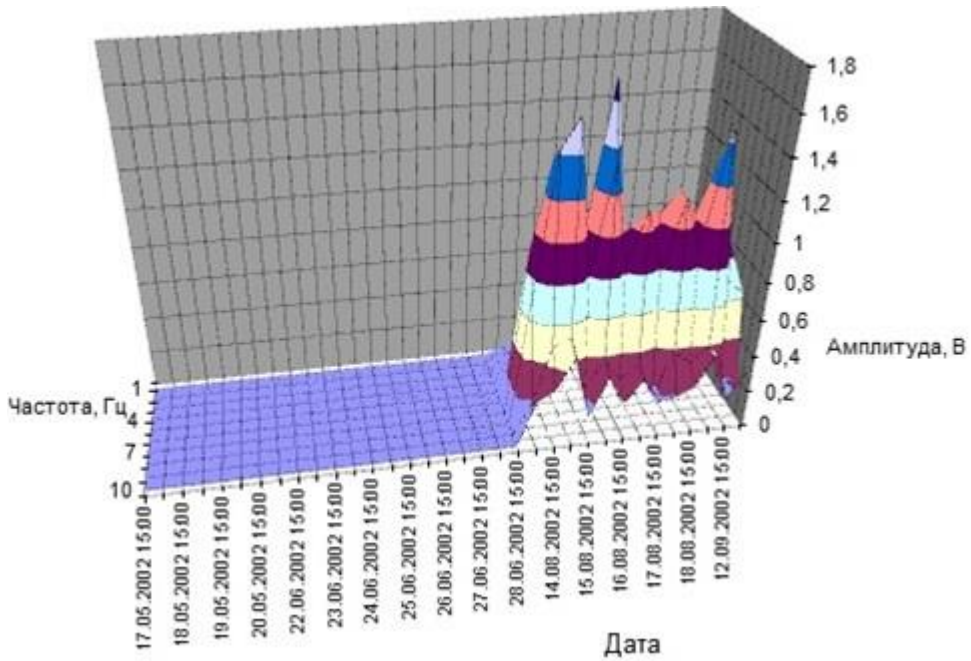


Рис. 10 – Фрагмент інформації щодо вібрацій будівельних конструкцій палацу, отриманої по одному з прецизійних датчиків під час моніторингу Лівадійського палацу з 17.05.2002 по 13.09.2002

2. В окремих випадках, таких, наприклад, як 13–14 лютого, 26–27 лютого і 22–23 березня 2002 рр., зафіксовані випадки збільшення кута нахилу Лівадійського палацу. У цих випадках амплітуда збільшилася до 6 кутових хвилин. Результати обчислень показали, що звичайні добові коливання складають 1,9 мм в кожен бік від середнього положення, а у зазначені дні – близько 4,2 мм в кожен бік від середнього положення.

3. Причинами добових коливань Лівадійського палацу можуть бути перепади денної і нічної температур, коли відбувається нерівномірне нагрівання і охолодження будівлі та навколишньої території. Причинами збільшення амплітуди відхилення фасаду будівлі Лівадійського палацу від середнього положення можуть бути такі обставини і фактори: рясні опади і пов'язане з ними тимчасове підвищення рівня ґрунтових вод; подальша зсувна активізація ЦЛЗС; сейсмічні та техногенні динамічні дії; інші фактори.

4. Встановити точну кореляцію цих факторів з динамікою будівельних конструкцій Лівадійського палацу до кінця не вдалося через часті вимушені перерви у роботі системи моніторингу. Ці перерви були зумовлені необхідністю виконання обов'язкових вимог Служби безпеки України при проведенні в Лівадійському палаці різних офіційних заходів державного, республіканського і місцевих (м. Ялта і Лівадія) рівнів, а також попередньої підготовки до них. З січня 2014 р. роботи з моніторингу ЦЛЗС і Лівадійського палацу нами були повністю припинені через відомі причини.

## Висновки

1. До теперішнього часу практично не проводилося повномасштабних натурних досліджень території всієї Лівадії як єдиного природного та архітектурно-мистецького комплексу. Не було здійснено точного зонування території з метою збереження не тільки архітектурно-паркового ансамблю колишньої царської резиденції як історичного та художнього пам'ятника, але й навколишньої території, що входить в зону візуального сприйняття. Крім того, до теперішнього часу не проводилася історико-естетична оцінка даного регіону і його потенціалу як туристично-експозиційного центру. Не було розроблено комплексної програми єдиного використання всіх наявних на території Лівадії археологічних, архітектурних, історичних та природних об'єктів.
2. Висока сезонна і річна активність локальних зсувів у межах палацово-паркового комплексу підвищує ступінь соціально-економічного ризику (вже зараз палац розташований на відстані 70–100 м від головних поверхонь відриву трьох локальних зсувів і в зоні незатухаючої повзучості, що сприяє формуванню і розвитку тріщин на прилеглих ділянках і стінах палацу та знижує його сейсмостійкість). Ризик обвалення будівельних конструкцій створює небезпеку не тільки для самого палацу, а й для численних груп туристів, які щодня відвідують його визначні пам'ятки.
3. Необхідно вжити термінових заходів місцевим і центральним органам влади щодо зниження ризику активізації небезпечних природних процесів, що можуть призвести до руйнування всесвітньо-відомого пам'ятника історії і архітектури – Лівадійського палацу імператора Миколи II. Ці заходи повинні бути спрямовані на збереження Лівадійського палацово-паркового комплексу та пристосування його до нових екологічних і соціальних умов.
4. В останні десятиліття концепція культурної спадщини (Margottini С. і Vilimek В. [13], Migon Р. [14]) перетворилася в таку, що охоплює розуміння історії людства у сукупності з науковими знаннями та інтелектуальними відносинами. Ця зміна концепції спонукала до подальшої переоцінки того, що становить видатні універсальні цінності об'єктів всесвітньої спадщини, та розробки системних підходів до створення всеосяжних оперативних методів для втілення в життя Конвенції про охорону всесвітньої спадщини ЮНЕСКО [15]. Таке світорозуміння розширило діапазон досліджень від вивчення та збереження окремого пам'ятника культури в ізоляції від довкілля до багатовимірної, міжрегіонального та міждисциплінарного підходу збереження культурної спадщини людства та охорони навколишнього простору.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lacasse S. 8th Terzaghi Oration Protecting society from landslides – the role of the geotechnical engineer // Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris. 2013. – P. 15–34.
2. Sassa K. Landslides: Risk analysis and sustainable disaster management. – 2005 [Online], <http://www.ebook3000.com/Kyoji-Sassa-Landslides-Risk-Analysis-and-Sustainable-Disaster-Management-147509.html>.
3. Lollino, G. Engineering Geology for Society and Territory // IAEG XII Congress Volumes Lollino, Giorgio (Ed.), 2014. – 8643 p., 8 volume-set.
4. Highland L., Bobrowsky P., The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides: Reston, U.S. Geological Survey Circular, Virginia, 2008. – 129 p.



5. Baum, R.L., Godt, J.P., Harp, E.L., McKenna, J.W. & McMullen, S.R. Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, Washington, USA. In O. Hungr, R. Fell, R. Couture & E. Bernhard (eds), *Landslide Risk Management // Proc. of the 2005 International Conference on Landslide Risk Management: 731–740*. New York: A.A. Balkema.
6. Huston D. *Structural Sensing, Health Monitoring, and Performance Evaluation*. – 2010 – 662 p.
7. Nagayama T., Spencer B. *Structural Health Monitoring Using Smart Sensors*. – 2007. – 178 p.
8. Kaliukh I. Experimental monitoring system of vibration of building constrictions of IY energetic block of Chernobyl atomic station // *Vibrations in physical systems XYIth sump.* – Poznan: Poland, 1996.
9. Kaliukh I. Application of modern information technologies, mathematical methods and measure instruments for registration and forecasting evolution of the process in the dangerous areas (in Russian). – Kiev: Society «Knowledge». 1999. – 64 p.
10. Trofymchuk O., Kaliukh I., Hlebchuk H., Berchun V. Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts // *Earthquake-Induced Landslides. Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, Kiryu, Japan, 2012. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.* – P. 883–890.
11. Малюк Ю. Развитие опасных геологических процессов в пределах Центрально-Ливадийской оползневой системы. Защита и сохранение Ливадийского дворцово-паркового комплекса / Ю.А. Малюк, В.Н. Саломатин // *Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов.* – Симферополь: НАПКС – 2006. – Вып. 13–14. – С. 205–212.
12. Trofymchuk O. IPL-153 Project «Landslide protection structures and their development in the Autonomous Republic of the Crimea, Ukraine» 2011–2014.
13. Margotini C., Vilimek V. The ICL Network on «Landslides and Cultural & Natural Heritage (LACUNHEN)» // *Landslides 11, 2014.* – ISSN:1612-510X: 934-938.
14. Migon P. Cultural heritage and natural hazards // In: Bobrovsky (ed) *Encyclopedia of natural hazards. Springer Science + Business media, Dordrecht, 2013.*
15. The World Heritage Convention, 1972. Режим доступу: <http://whc.unesco.org/en/convention/>

*Стаття надійшла до редакції 18.02.2016*