

ДИШЛИК О.П.

В.о.директора КДП «Київгеоінформатика», Інститут географії НАНУ

УДК 528, 528.7

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В СКЛАДІ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАПОВІДНИКА "СОФІЯ КИЇВСЬКА"

Ключові слова: пам'ятки архітектури, ризику, геотехнічний моніторинг.

В статті викладені результати робіт по створенню комплексної системи моніторингу технічного стану споруд і території архітектурного ансамблю Софійського собору для постійного нагляду за динамікою процесів, які впливають на технічний стан території і древніх споруд з метою завчасного попередження їх негативних наслідків.

В статье изложены результаты работ по созданию комплексной системы мониторинга технического состояния сооружений и территории архитектурного ансамбля Софийского собора для постоянного наблюдения за динамикой процессов, которые влияют на техническое состояние территории и древних сооружений с целью заблаговременного предотвращения их негативных последствий.

This article contains description of results on creation of the complex monitoring system over the technical state of the Sophia cathedral buildings and territory. The system of monitoring is needed for the permanent supervision after the dynamics of processes which influence on the technical state of territory and ancient buildings with the purpose of the early prevention of their negative consequences.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Довговічність стародавніх монументальних споруд залежить, в першу чергу, від деформаційних властивостей ґрунтових основ фундаментів цих споруд, які в свою чергу змінюють свої властивості під впливом ендегенних і антропогенних чинників. Традиційно, для будівництва кам'яних храмів давні будівельники вибирали найбільш підвищені місця із сприятливими умовами ґрунтових основ. Згідно з сучасними нормативними вимогами ДБН В.1.1-5-2000 «Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах» та ДБН В.2.1-10-2009. «Основи та фундаменти споруд» максимальне нормативне осідання фундаментів багатопверхових безкаркасних будівель не повинне перевищувати 15 см, а для баштових споруд і димових труб на плитних і масив-

них фундаментах не більше 40 см. Проте, давні споруди, які побудовані на стрічкових фундаментах і простояли більше кількох сторіч, в залежності від гідрогеологічних умов мають більш значні осідання. Наприклад, 68 см у Георгіївському соборі в м. Юр'їв-Польський, більше 1м у соборі Різдва Богородиці в м. Володимир, до 50 см у Софійському соборі в Києві. Згідно з розрахунками тиск по підшві стрічкових фундаментів древніх споруд приблизно становить від 2,5 до 6,0 кгс/см².

Історична відмінність у величині осідання фундаментів древніх споруд від нормативних і розрахункових експлуатаційних осідань сучасних будівель свідчить про дещо інші закономірності розвитку осідань ґрунтових основ древніх будівель ніж, тих, що враховуються в сучасній нормативно-технічній літературі.

Сьогодні всі древні споруди вимагають чималих зусиль для забезпечення їх збереження, що в свою чергу передбачає проведення комплексного геотехнічного моніторингу з метою своєчасного виявлення критичних величин деформацій, встановлення причин їх виникнення, прогнозування розвитку деформацій, напрацювання і впровадження заходів для усунення небажаних деструктивних процесів.

Однією з важливих складових комплексного геотехнічного моніторингу пам'яток архітектури є система контролю геодезичних параметрів на основі високоточних інженерно-геодезичних спостережень, які проводяться з метою отримання максимально повної і найбільш достовірної інформації про динамічні характеристики розвитку деформаційних процесів в просторі і часі. Досягнення цієї мети можливе лише за умови вибору і здійснення в натурних умовах оптимального проекту геодезичної мережі і відповідної методики геодезичних спостережень. На сьогоднішній день завдання моніторингу об'єктів і аналізу деформацій є найбільш складними в геодезичній галузі, тому що виконуються за індивідуальними проектами і вимагають максимальної точності вимірювань.

На разі існує ряд серйозних задач збереження та захисту стародавніх споруд архітектурного ансамблю

Софійського собору, пов'язані зі станом його геосередовища, які вирішуються створенням постійно діючої системи моніторингу по спостереженню за кренами та деформаціями споруд пам'ятки, що внесена до списку світової культурної спадщини ЮНЕСКО.

2 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Геодезичні спостереження на території ансамблю Софійського собору розпочались в липні 1995 року з досліджень за станом Дзвіниці, по Софійському собору – з квітня 1998 року. Загалом до 2002 р. було проведено 34 і 20 циклів спостережень відповідно. Точність спостережень була досить невисокою, що не дозволяло виявити незначні тенденції деформаційних процесів. З вересня 2002 р. почалося створення комплексної системи геотехнічного моніторингу на території ансамблю споруд Софійського собору. Метою комплексного моніторингу стало виявлення причин негативних явищ, завчасне запобігання їх розвитку і наукове обґрунтування заходів щодо збереження древніх будівель, зокрема Софійського собору і Дзвіниці. Слід зауважити, що протягом становлення системи геодезичного контролю на всіх спорудах відбувались інтенсивні реставраційні роботи, що значно впливало на стан мережі і примушувало постійно її відновлювати та модернізувати.

У 2015 р. проведено черговий цикл геодезичних 24 повних цикли спостережень за осіданнями фундаментів Софійського собору (42 цикл), Дзвіниці (56 цикл) та прилеглих до них територій. Також продовжені спостереження за осіданнями фундаментів Будинку митрополита, Трапезній, Адміністративному корпусу, Бурсі, Братському корпусу, Брамі Заборовського та Мурів.

На разі на території заповідника розгорнута система контролю геодезичних параметрів, до складу якої входить:

- Група з 3-х глибинних реперів на подвір'ї Софійського собору, глибина до 19 метрів, стабільність не гірше 0,3 мм на рік.
- Ґрунтові пункти геодезичної основи.
- Ґрунтові і стінні репери.
- Осідальні марки.
- Пункти планово-висотної основи всередині споруд.
- Фасадні марки з відбиваючими плівками на фасадах Дзвіниці (76 шт).
- Ряд електронних датчиків.

Спостереження виконувались методом геометричного нівелювання коротким променем за програмою спостережень II-го класу нівелювання (в двох напрямках при двох горизонтах інструмента. Для спостереження використовувались прецизійні цифрові нівеліри з комплектом штрихових інварних рейок. Точність визначення перевищень в межах 0,15 мм. Похибка визначення осідань не перевищує 0,5 мм в найбільш віддалених і слабких місцях відносно вихідних глибинних реперів.

В кожному циклі проведено контроль стабільності глибинних та ґрунтових реперів висотної геодезичної основи шляхом прокладання між ними окремих нівелірних ходів за програмою II-го класу нівелювання в прямому і зворотному напрямках.

*Особливості розвитку деформацій окремих споруд.
Дзвіниця Софійського собору.*

Спостереження за зміною крену (відхилення від вертикалі вісі споруди) виконується в межах кам'яної частини Дзвіниці (до відмітки 48 м). Для спостережень використовуються спеціально закладені марки на всіх фасадах та ярусах (рис.1). Визначені значення зміщень



Рис. 1. Закладання марок на фасадах Дзвіниці.

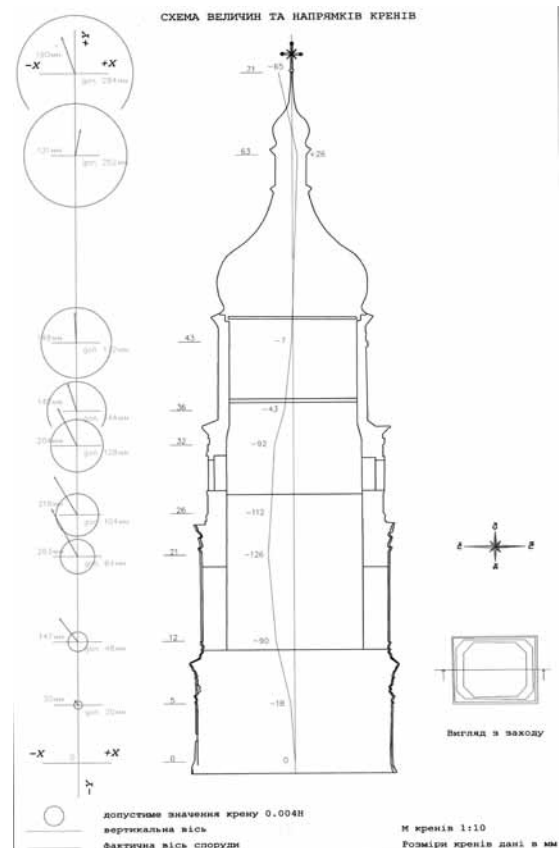


Рис. 2. Схема величин і напрямків крену Дзвіниці по висоті

усереднюються для марок одного фасаду та кожного рівня. Отримані результати спостережень свідчать про систематичне зростання крену будівлі Дзвіниці в період з 2003 р. до теперішнього часу, причому крен за цей час змінював напрямок (на початку досліджень крен мав північно-східний напрямок, в останні роки – південно-західний). Максимальне відхилення вісі Дзвіниці – в 2011 р. – склало 179 мм в південному напрямку і 59 мм в східному. Згідно ДБН В.1.1-5-2000 допустима величина відхилення від вертикалі для «Культових жорстких споруд (дзвіниці, мінарети), що стоять окремо» складає 0.004Н. Максимально допустиме значення відхилення від вертикалі Дзвіниці Софійського собору становить:

$$\Delta l = 0,004 * H = 0,004 * 48m = 0,192m = 192 \text{ мм.}$$

Отже за час спостережень циклоїда зміни крену не вийшла за межі еліпсу (рис.2).

Зміна величини і напрямку крену корелюється з значеннями крену, отриманого за результатами спостережень осідальних марок на рівні цоколю фундаменту.

По будівлі Дзвіниці за 20 років спостережень західний фасад споруди осів на 17,3 мм, а східний на 6,0 мм. За минулий рік осідання західного фасаду в середньому зросло на -0,425 мм.

Середнє осідання споруди Дзвіниці за час проведення спостережень становить -13,2 мм, це $\approx 0,62$ мм/рік. Найбільше осідання 20,5 мм та 19,3 мм за весь період спостережень, починаючи з 1995 року, на серпень 2015р. мають марки південно-західного кута споруди Дзвіниці.

Софійський собор.

Спільний аналіз проведених за 14 років спостережень показав, що суттєвих осідань, по фундаментах фасадів будівлі споруди не спостерігається. Мали місце окремі коливання осідань фундаментів в межах +1,5 мм до -1,0 мм, крім марки 4.

Марка 4, яка знаходиться на фундаменті одноповерхової прибудови вхідного павільйону західного фасаду Собору має регулярне підняття, що зростає, починаючи з 2004 року. В жовтні 2014 року загальне підняття марки зросло до +6,5 мм. Під фундаментом, де розташована ця марка, знаходиться дренажний канал, в який входить водостічна труба. Можна допустити, що такі коливання відміток фундаменту відбуваються за рахунок змочування ґрунтів в основі фундаменту. Поряд з маркою спостерігається тріщина, що підтверджує наявність деформаційних

процесів в цьому місці.

Середня осадка по споруді становить -0,66 мм за весь період спостережень, +0,45 мм – за минулий рік.

Приймаючи до уваги значні розміри споруди, для визначення деформаційних процесів по всій будівлі необхідно мати інформацію також по осіданням фундаментів в середині Софійського собору.

Будинок митрополита.

Спостереження за Будинком митрополита розпочалися в 2005 році напередодні його реконструкції. Після першого циклу спостережень було втрачено 13 осідальних марок первинної мережі спостережень, 10 з яких були негайно відновлені одразу по завершенню реконструкції.

Реставація будівлі суттєво вплинула на її осідання. Фундаменти західного фасаду набули осідання -20 – -30 мм. В куті південно-східного фасаду одна з марок набула плюсового осідання +4,1 мм. На даний час осадки стабілізувалися в діапазоні $\pm 1,3$ мм на рік. Середнє осідання за весь період становить -4,48 мм, а за минулий рік -0,32 мм.

Трапезна, Адміністративний корпус, Бурса, Братський корпус, Брама Заборовського та Мури.

Започатковані в червні 2009 року спостереження за осіданнями цих споруд суттєвих деформацій не виявили.

ВИСНОВКИ

Результати комплексних геотехнічних спостережень за горизонтальними та вертикальними деформаціями та кренами споруд НЗ Софія Київська, дозволили визначити в першому наближенні характер геодинамічних процесів на території заповідника та розробити програму подальших спостережень для більш детального вивчення деформаційних процесів, що мають місце в спорудах.

Система контролю геодезичних параметрів постійно модернізується, доповнюється різноманітними датчиками, комплексується з іншими технологіями геотехнічного моніторингу і дає змогу отримувати надійні дані поряд з іншими методами геотехнічного моніторингу.

Зважаючи на невелику величину деформацій, постійні геодезичні спостереження необхідно продовжувати з мінімальною періодичністю двічі на рік, а у випадку виникнення ситуації, яка різко змінює умови нормальної експлуатації споруди, чи екстремальних природних явищ частіше, за потребою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвеев І., Кравченко В. та інші. Основні принципи створення технічного моніторингу Софійського собору і дзвіниці. //Матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції «Софійські читання» - К., НЗ «Софія Київська» 2004.- с 189-194.
2. Дишлик О.П., Марков С.Ю., Кожан Є.А. «Комплексний геотехнічний моніторинг, як основа збереження пам'яток архітектури». Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Випуск 2(20) Львів 2010 р., с. 135-141
3. Демчишин М.Г., Кендзера А.В., Левашов С.П., Лялько В.И., Дышлык А.П. и др. Проблемы сохранения архитектурного наследия исторического центра Киева в условиях возрастающего эколого-техногенного риска. Международный геофизический журнал Киев, 2011, том 33, №6 с. 3-14
4. Орленко Н.И., Антонюк А.Е., Маслов Ю.А., Кендзера А.В., Омельченко В.Д., Дышлык А.П., Соковнина Н.Х., Левашов С.П., Демчишин М.Г., Рыбин В.Ф.. Инженерная защита территории, мониторинг и охрана архитектурного наследия исторического центра Киева. Геотехнические проблемы мегаполисов. Труды международной конференции по геотехнике. Москва 2010 г. том 5.

ІНФОРМАЦІЙНА ДОВІДКА

Дзвіниця Софійського собору – прямокутна в плані баштова споруда розміром 20x14 м, висотою 76 м, чотириярусна, східчастого типу. Дзвіниця (від початку триярусна) протягом 18-19 ст. декілька разів перебудовувалась, не має просторової жорсткості у виді перекриттів в рівні від 13 м до 48 м. Найстаршим є перший двоверховий ярус XVII ст., в якому по вісі Сх-Зх проходить проїзд. Товщина стін споруди від 1,5 м до 2,5 м.

Вивчення деформаційних процесів на Дзвіниці проводиться порівняно недавно. Починаючи з 1995 р. на Дзвіниці Софійського собору проводилися окремі інженерно-геотехнічні дослідження. Комплексний науково-технічний моніторинг започаткований у 2001 р. і містить наступні види досліджень – гідрогеологічні (виконавець - ІГН НАН України), геодезичні (КДП «Київгеоінформатика»), моніторинг технічного стану (Національний Заповідник «Софія Київська» і ДП НДІБК). Національний Заповідник «Софія Київська» отримує від виконавців щорічні звіти.

Крен є одним з видів деформацій, який притаманний спорудам баштового типу.

За висновками ДП НДІБК можливими причинами появи крену Дзвіниці вважаються:

- нерівномірний розподіл ваги в межах споруди,
- фізичний знос конструкцій споруди на протязі довготривалої експлуатації;
- нерівномірні деформації основи фундаментів внаслідок сумісного впливу збільшення навантаження на фундаменти та замочування просідаючих лесових ґрунтів основи;
- незадовільне водовідведення атмосферних опадів, неефективність гідроізоляції мощення навколо споруди;
- замочування ґрунтів основи внаслідок підвищення природної вологості в просідаючому прошарку ґрунту; можливих витоків з несправних (при аварійних пориваннях) водонесучих комунікацій; техногенного (антропогенного) фактору.

Детальне дослідження Дзвіниці щодо визначення її крену було проведено у 2003 р. Попередні спостереження Інституту інженерних геологічних та топо-геодезичних вишукувань «Київгео» за 1995-2002 рр. та КДП «Київгеоінформатика» за 2002 р., що проводились по цокольних марках, послужили основою для підготовки проекту розміщення деформаційних марок та програми їх спостережень геодезичними методами (метод координат: за різницями координат двох послідовних циклів спостережень знаходять складові крену по осях координат, повну величину крену і його напрямок).

Деформаційні знаки були рівномірно закріплені по фасадах та ярусах Дзвіниці в кількості 70 одиниць, що забезпечує досить повний опис процесу деформації з необхідною точністю. Для виконання безпосередніх спостережень використовувалась високоточна опорна геодезична мережа, створена на території ансамблю споруд Софійського собору.

В 2003 р. КДП «Київгеоінформатика» було проведено три цикли спостережень за деформаційними марками на фасадах Дзвіниці та за осідальними марками на рівні цоколю по всьому периметру споруди, за якими визначаються осідання Дзвіниці.

Визначені величини відхилень від вертикалі добре корелюють з розрахунковими величинами відхилень осі споруди, що спричинені нерівномірністю осідань фундаментів.

Спільний аналіз отриманих даних 2003 р. засвідчив, що вісь Дзвіниці мала ухил 148 мм на схід, 7 мм – на північ, в загальному крен мав північно-східний напрямок і становив на висоті 48 м (верх кам'яної частини Дзвіниці) близько 148 мм.

Подальші дослідження проводились у 2004, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 рр. Величина загального крену та його напрямок визначались як по цокольних маркам так і з використанням просторової триангуляції.

Максимальне відхилення Дзвіниці від осі досягло в 2011 р. і склало 179 мм в південному напрямі (у 2014р. - 125 мм) і 59 мм в східному (у 2014р. - 34 мм в західному),

Як бачимо, величина і напрям крену міняється з часом, але при цьому не перевищує сучасних нормативно допустимих значень.

Для правильної інженерної інтерпретації результатів вимірювань їх необхідно розглядати в загальному контексті з іншими дослідженнями, які виконуються на території заповідника, в основному геологічними, гідрогеологічними та кліматичними, серед яких: потужність окремих шарів ґрунту, рівень ґрунтових вод, фізико-механічні властивості ґрунтів та інше.

В 2015 р. ДП НДІБК провів контрольні дослідження стану і властивостей ґрунтів в основі Дзвіниці, які свідчать про те, що фізико-механічні характеристики ґрунтів на Дзвіниці за останні 15 років істотних змін не зазнали. Результати гідрогеологічного моніторингу свідчать, що рівень ґрунтових вод поряд з Дзвіницею впродовж 2001-2015 рр. був стабільним з незначними коливаннями. Рекомендовано продовжувати моніторинг за гідрогеологічними умовами території та деформаціями Дзвіниці.