

КОМПЛЕКСНІ ГЕОТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АНДРІЇВСЬКОЇ ЦЕРКВИ І ПАГОРБА В ПРОЦЕСІ РЕМОНТНО-РЕСТАВРАЦІЙНИХ РОБІТ

Куковальська Н.М., Молочкова Н.М.

Національний заповідник «Софія Київська»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: У статті наведено результати геотехнічного моніторингу Андріївської церкви і пагорба в ході проведення ремонтно-реставраційних робіт.

АННОТАЦИЯ: В статье приведены результаты геотехнического мониторинга Андреевской церкви и холма в ходе проведения ремонтно-реставрационных работ.

ABSTRACT: In the article the results of the geotechnical monitoring of the Andreevskaya's church and hill are resulted during the lead through of repair-restoration works.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пам'ятка архітектури, складні інженерно-геологічні умови, протиаварійні ремонтно-реставраційні роботи, гідрогеологічний і геодезичний моніторинг, моніторинг розкриття тріщин.

ВСТУП

У 2009-2012 рр. на Андріївській церкві проводилися унікальні протиаварійні та ремонтно-реставраційні роботи по закріпленню основи церкви і високого пагорба, на якому розташована церква. В ході проведення робіт вирішувалися складні інженерно-технічні завдання, проводився безперервний моніторинг.

Андріївська церква збудована у 1748-1755 роках за проектом архітектора Ф.Б. Растреллі та є перлиною архітектурної спадщини Києва.

Будівництвом церкви керував московський архітектор І.Ф. Мічурін, а до спорудження будівлі було залучено найкращих українських, російських та іноземних майстрів. Андріївська церква була побудована в північно-східній частині виступу Старокіївського плато, на Андріївському пагорбі, який має загальну висоту близько 79 м над рівнем Дніпра і піднімається над Андріївським узвозом на 15...28 м.

І. Мічурін розробив робочі креслення, плани і профілі Андріївського пагорба. Він провів інженерно-геологічне дослідження будівельного майданчика і переконався, що на глибині 13...14 м залягає міцний материковий ґрунт, а вище – насипні ґрунти, просякнуті водами підземних джерел. Він розробив конструкцію кам'яного підмурка, поєднавши його з двоповерховою будівлею «священницьких покоїв», запроектованого Растреллі. Таким чином було створено масивні фундаменти – стилобат церкви та її паперть. Для зведення стилобату здійснили виймання ґрунту, відведення ґрунтових і джерельних вод. Але джерельні води постійно руйнували схил, утворюючи вимоїни і оповзання ґрунту, аж до початку 20 ст., коли були влаштовані штольні, що почали відводити ґрунтові води з схилу.

У комплекс Андріївської церкви входять «верхня» або власне церква, стилобат, сходи, паперть, фундаменти і підпірні стінки.

Фундаменти під будівлею – стрічкові. Згідно з дослідженнями, проведеними геологом Голованем у 1960-і роки, стіни фундаментів виконані з цегляної та бутової кладки на вапняно-піщаному розчині. Фундаменти залягають на різній глибині відносно відмітки першого поверху стилобату. Безпосередньо під церквою вони знаходяться на відмітках 3,9...5,1 м під зовнішніми стінами і 2,0...2,75 м під внутрішніми, а під стилобатом, який виходить на Андріївський узвіз, глибина закладання фундаментів під зовнішніми стінами складає 2,3...4,2 м, під внутрішніми – 3,2 м. Ширина фундаментних стрічок змінюється від 2,0 до 10,0 м у залежності від товщини стін, під якими вони знаходяться.

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ

У геоморфологічному відношенні ділянка належить до Подільського зсувного масиву високого правого берега Дніпра. Будівля частково стоїть на насипному ґрунті колишнього Андріївського бастиону, який входив в оборонну систему Верхнього Києва.

Територія належить до III категорії складності за інженерно-геологічними умовами. Геологічний розріз пагорба Андріївської церкви відрізняється повсюдним поширенням насипних ґрунтів потужністю до 7-13 м. Нижче насипних ґрунтів на ділянці залягають лесовидні супіски і суглинки потужністю до 7-9 м, моренні суглинки (4-5 м), прісноводні

суглинки (1-3,2 м) і строкаті глини. Схили пагорба, на якому розташована церква, сформовані з делювіально-зсунутих ґрунтів потужністю до 12 м.

Встановлено, що хрестовина центрального ядра, північно-західна та південно-західна частини фундаментів церкви, також як і стрічкові фундаменти стилобату, підстилаються просадочними лесовидними супісками. В той же час фундаменти церкви з північно-східної та південно-східної сторін спираються на міцні моренні суглинки.

Потужність лесового просадочного супіску складає 3,6...8,4 м. Відносна просадка цього шару при тисках до 0,3 МПа змінюється від 0,04 до 0,1 при величині початкового просадочного тиску 0,02...0,22 МПа.

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю 2 водонесних горизонтів. Верхній з них поширений в прісноводних і морених суглинках і бурих глинах на відмітках 156-163 м, другий – в пісках полтавської і харківської свити на відмітці 117,5 м (у районі Боричевого Току). При будівництві Андріївської церкви «джерельні води» постійно скупчувалися у виритому під фундамент котловані, мабуть, тоді рівень ґрунтових вод знаходився на відмітках 165–168 м.

До 2008 р. рівні ґрунтових вод (РГВ) верхнього горизонту фіксуються значно нижче, що пояснюється впливом дренажів. Церква разом з пагорбом оточені штольневими дренажами СУППР з трьох сторін: північної, західної і південної. До них відноситься дренажна штольнева система №3 (ДШС-3), побудована в 1923-26 рр. у безпосередній близькості від західного кута стилобату, а також ДШС-40, яка відведена від ДШС-3 з південного боку пагорба (рисунок 1). Через сильне суфозійне винесення часток ґрунту в штольню, ділянку ДШС-3 від колодязя №9 до відгалуження ДШС-40 в 60-і роки 20 ст. було забучено камінням і місцевим ґрунтом. Зараз відведення води з цієї ділянки здійснюється азбестоцементною трубою діаметром 200 мм (рисунок 2). Живлення ґрунтових вод відбувається шляхом інфільтрації атмосферних опадів і витоків з водонесучих комунікацій. Розвантаження здійснюється в систему дренажних виробок і в напрямку загального стоку.

КОНСТРУКТИВНА СИСТЕМА ЦЕРКВИ

Андріївська церква – цегляний п'ятиверхий одноапсидний хрестово-купольний храм. Будівля поставлена на п'ятикутний в плані стилобат, плоске покриття якого одночасно є папертю церкви. На паперть ведуть парадні прямолінійні тримаршеві сходи з приміщеннями під ними. Стилобат Андріївської церкви – двоповерхова, мурована з цегли споруда, частина якої є основою для церкви, інша частина, що виходить на Андріївський узвіз, має вигляд двоповерхової прямокутної в плані споруди. Габаритні розміри споруди: довжина 44,7 м, ширина 34,4 м

(з папертю); без паперті – довжина 31,7 м, ширина – 25,0 м; висота від паперті до верху хреста на центральній бані – 48,5 м. Абсолютна позначка підлоги церкви – 181,32. Конструкції церкви та стилобату мають розвинуту сітку тріщин. Станом на липень 2008 р. (до проведення першого етапу реставраційних робіт) церква мала дві основні наскрізні тріщини на південному та північному фасадах до 3 мм. Конструктивні елементи стилобату мали тріщини в стінах та склепіннях. Розкриття тріщин у стінах по тиньку складало в середньому 1-1,5 мм, а на північно-західному розі становило біля 12 мм і в склепіннях (на цьому ж розі) до 18 мм. В підпірній стіні на північно-західному розі стилобату ширина розкриття тріщин сягала до 70 мм.

Будівля Андріївської церкви визначена як споруда класу наслідків (відповідальності) СС3 за ДБН В.1.2-14-2009 і V категорії складності згідно ДБН Д.1.1-7-2000.

РЕМОНТНО-РЕСТАВРАЦІЙНІ РОБОТИ

За свою майже 250-літню історію Андріївська церква зазнала не однієї реставрації. Основними причинами виникнення тріщин в несучих конструкціях церкви і стилобату є нерівномірні деформації основи під фундаментною системою, зсувні переміщення ґрунту схилів пагорбу, на якому стоїть церква, суфозійне винесення ґрунту з-під фундаментів північно-західного фасаду стилобату в дренажну систему №3, а також неефективна гідроізоляція паперті церкви.

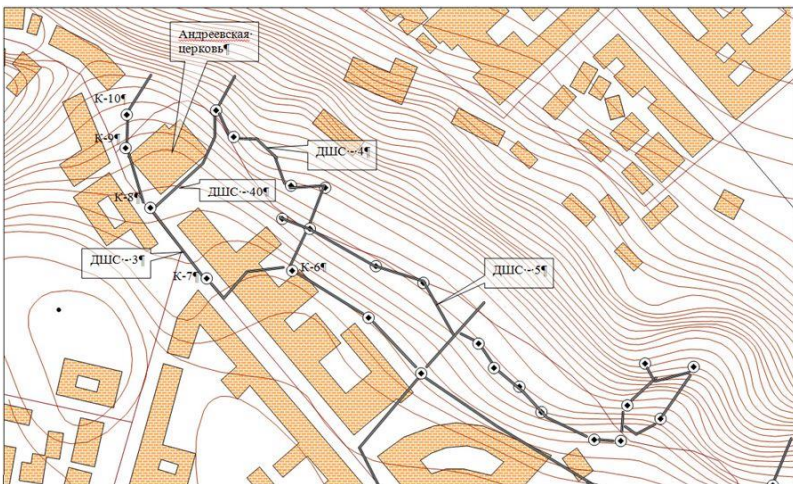


Рис. 1. Схема розміщення дренажних штольневих систем від фунікулера до Андріївської церкви



Рис. 2. Забученна ділянка штольні №3

Найкрупніші реставрації проводилися в 1785-86, 1825-27, 1844-45, 1854, 1900, 1935, 1947-59, 1965-67, 1975-85 рр.

З 2008 по 2012 рр. на пам'ятці проводились першочергові протиаварійні ремонтно-реставраційні роботи, основним завданням яких була ліквідація аварійного стану будівлі і відновлення експлуатаційних властивостей будівельних конструкцій. Були проведені роботи з посилення основи фундаментів «jet»-колонами», які представляють собою похилі свердловини довжиною 20-25 м, пробурені з обох сторін стін стилобату і закінчуються безпосередньо під фундаментами церкви. В ці свердловини під тиском 300-400 атмосфери закачаний рідкий цементно-піщаний розчин, який при затвердінні підсилює ґрунти основи церкви. На рівні верху покриття 1-го поверху стилобату влаштований металевий пояс. Зроблено горизонтальну гідроізоляцію стін у рівні 1-го поверху. Проведено також роботи по укріпленню пагорба та зменшенню стрімкості

його схилів. З метою укріплення пагорба по лінії нижньої його межі влаштовані буронабивні палі глибиною 17-18 м діаметром 102 см. По палях виконано залізобетонний ростверк, з внутрішнього боку якого в ґрунті влаштовано дренажну систему відведення води з пагорба. По поверхні пагорба влаштовано об'ємну систему закріплення ґрунту та дерену.

МОНІТОРИНГ

На Андріївській церкві проводиться гідрогеологічний (з 1986 р.) і геодезичний моніторинг (з 1988 р.), який не припинявся і під час проведення ремонтно-реставраційних робіт. Крім того на об'єкті під час проведення реставраційних робіт проводилися дослідження по міцності стародавньої кладки та розчину, а також моніторинг розкриття тріщин.

Визначення міцності цегли та розчину несучих конструкцій церкви

У грудні 2008 року співробітниками ДП НДІБК виконувались роботи по визначенню міцності цегли та розчину з цегляної кладки фундаменту, а у лютому 2009 року надземних несучих конструкцій будівлі Андріївської церкви та її стилобатної частини. Визначення міцності цегли та розчину з фундаментів і надземних несучих конструкцій будівлі Андріївської церкви та її стилобатної частини виконувалось методом ударного імпульсу, який відноситься до неруйнівних методів контролю міцності у відповідності до ГОСТ 22690-88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля».

Також співробітниками ДП НДІБК була відібрана одна партія зразків цегли в кількості 5 штук із шурфу № 3 (рисунок 3), яка була надана у відділ досліджень конструкцій будівель та споруд (атестат акредитації № 2Т799 від 24.09.2007р.) для проведення механічних випробувань у відповідності до ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе». Результати проведених досліджень показали, що марка цеглини у фундаментній, і верхній частині церкви відповідає марці М100, а розчину М50 [1].

Геодезичний моніторинг

За весь період спостережень, за 29 років, середнє осідання будівлі Андріївської церкви становить - 12,65 мм; по фасадам – Пн: -11,53 мм, Пд: -13,98 мм, Сх: -12,54 мм, Зх: -12,75 мм; різниця – Сх-Зх: 0,2 мм, Пн-Пд: 2,45 мм (рис. 4).

У 2015 р. в зв'язку з відновленням ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятці проведено 4 спостережні цикли. Протягом 2015 р. по будівлі

Андріївської церкви продовжується процес незначного нерівномірного осідання марок по північній та південній частинах церкви, перші ознаки якого зафіксовані у 2012 р. У 2014 р різниця становила 0,3 мм, а в 2015 – 0,85 мм (Пн: +0,68 мм, Пд: –0,166 мм). Згідно спостережень за 29 років, крін споруди склав $0,00859^\circ$ в південному напрямку.

За весь період спостережень, активне осідання будівель Андріївської церкви і стилобату почалося в серпні 2009 р. з початком виконання будівельних робіт. Найбільшого осідання -3,2 мм за перші 2 тижні будівництва на 14.08.2009 набула марка 32 в вівтарній частині будівлі церкви. Інші марки набули осідання -1...- 2 мм. Найбільш стабільним залишався південно-західний кут будівлі, марка 1775.

Середнє осідання будівлі Андріївської церкви від початку проведення будівельних робіт по укріпленню пагорбу Андріївської церкви становить -7.9 мм. Найбільше осідання - 11,7 мм за цей період отримала марка 33 в стіні південного фасаду церкви, найменше – -

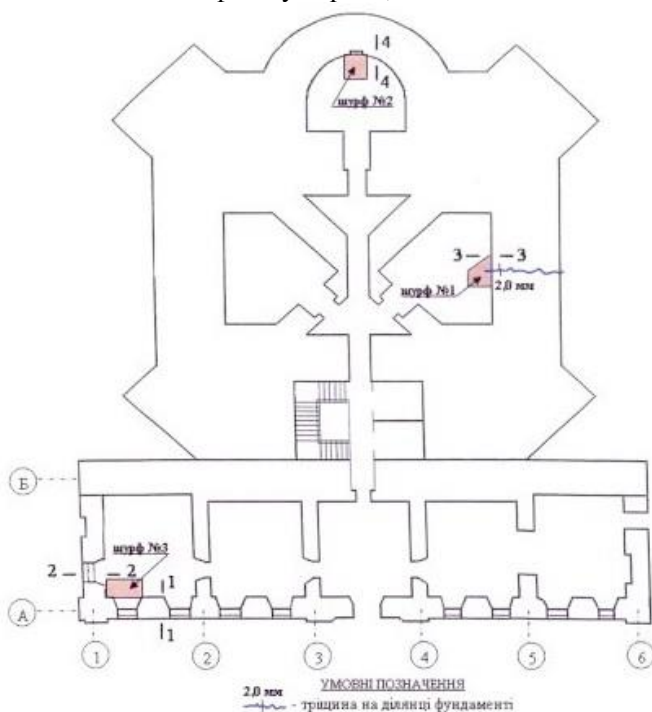


Рис. 3. Схема 1-го поверху стилобату з нанесенням місць відкопування шурфів

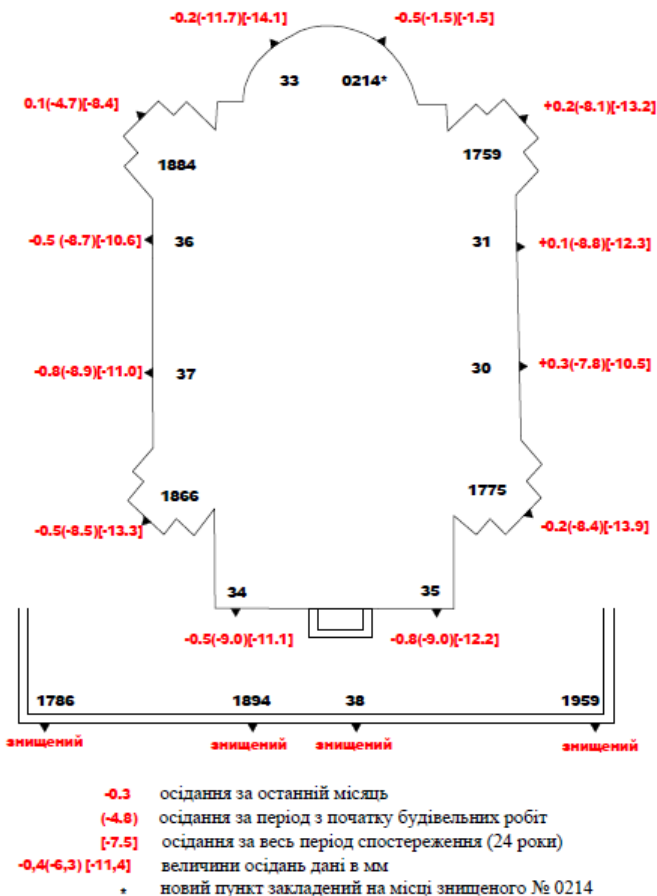


Рис. 4 Схема осідання фундаментів Андріївської церкви за період спостережень 1987 – 2012рр.

4,7 мм – марка 1884, в основі північно-західної частини будівлі Андріївської церкви, але осідання всіх фасадів було практично рівномірним.

Деформації споруди за період проведення ремонтно-реставраційних робіт 2009-2012рр. склали від 48,9% до 80% от деформацій споруди за весь період попередніх спостережень (середнє значення 70%).

В період проведення ремонтно-реставраційних робіт на фасадах стилобату всі закладені марки були пошкоджені або знищені, тому в травні

2013 були виконані роботи по відновленню геодезичних знаків на західному фасаді стилобату Андріївської церкви. При благоустрої пагорба так само була знищена велика частина ґрунтових реперів, які частково відновили. Частина ґрунтових реперів на пагорбі зберегла стабільний стан (в основному це нові репери на північній та південній стороні пагорба). Всі ґрунтові репери з східного боку пагорба отримали деформації в північно-східному напрямі.

Гідрогеологічний моніторинг

У 1995-2001 рр. ІГН НАН України була розбурена мережа гідрологічних режимних свердловин на Андріївській церкві. Вона складається: з двох свердловин, глибиною 10-12 м, у внутрішніх приміщеннях стилобату, трьох свердловин глибиною 9-15 м з південної, східної та північної сторін пагорба.

Режим ґрунтових вод на ділянці Андріївській церкві за 2005...2012 рр. відображений на рисунку 5 [3]. В багаторічному плані фонові значення РГВ по свердловинам №№4,6,7,8 на 1-3 м перевищують аналогічні показники в період 1995-2009 рр. По свердловині №5 таке перевищення досягає 3,0-3,5 м. Особливо великий підйом рівня ґрунтових вод спостерігався в період проведення ремонтно-реставраційних робіт на пагорбі і на фундаментах церкви у 2009-2010рр.

Літом 2009г. за даними ІГН НАНУ дебіт дренажної води на ділянці дренажній штольні №3 складав 3,0 куб. м /доб., а винесення мелкозему – 0,08 кг/доб., тобто вельми незначну величину. Слід проте врахувати, що відбір води ІГН НАНУ здійснювався із зливного колодязя, який розташований в 20 м від порталу ДШС-3 нижче по схилу, тому необхідно обладнати спеціальний водопост в бетонному лотку ДШС-3 нижче забуто ванної ділянці. У режимних свердловинах мінералізація ґрунтових вод (1995-2008 рр.) коливається від 0,6 до 1,4 г/л, загальна жорсткість від 7 до 18 мг-екв/л, в хімічному складі, окрім гідрокарбонатів і кальцію, значний вміст хлоридів і амонію. Відповідно до скороченого хімічного аналізу вода з ДШС-3 (літо 2009 р.) мала кальцієво-натрієвий, хлорідно-гідрокарбонатний склад. Загальна мінералізація складала 982 мг/л, рН - 7,45, загальна жорсткість 9,0 мг/екв. Підвищений вміст амонія-іону (3,0 мг/л) говорить про забруднення води каналізаційними стоками.

Загальне підвищення РГВ по всіх свердловинах може бути, в якійсь мірі, пов'язано із застосуванням під час реставраційних робіт водоемної технології спорудження jet-колон. Більш вірогідна причина, яка підлягає перевірці подальшими спостереженнями і розрахунками, полягає в баражному ефекті за рахунок спорудження глибокої підпірної стінки з буронабивних паль уздовж паркової алеї.

Моніторинг розкриття тріщин

Спостереження за тріщинами в Андріївській церкві проводиться з 2004 р. ДП НДІБК та КДП Київгеоінформатика (рис. 6). В період з 2004 по 2009 роки стан тріщин в Андріївській церкві стабільний, зміни величин розкриття-закриття тріщин не перевищують 0,77 мм. У 2010-2013 роках спостереження за станом тріщин в Андріївській церкві виконувались сумісно з тепловізійними спостереженнями та спостереженнями за вологістю поверхонь несучих конструкцій та температурою оточуючого середовища. Згідно з дослідженнями, що проводились ДП НДІБК у 2014 - 2015р., зміна розкриття тріщин по південному та північному фасадах церкви складає 1,61 мм та 1,62 мм відповідно, що вище показників до проведення реставраційних робіт. Слід зазначити, що коливання розкриття тріщин залежить від сезонних коливань температури, тому необхідно проводити подальші спостереження з більшою циклічністю.

Під час проведення ремонтно-реставраційних робіт по збільшенню просторової жорсткості стилобату характерні тріщини в конструкціях стіні і склепінь були обладнані марками для спостереження за шириною розкриття. В результаті виконаних інструментальних спостережень за зміною ширини розкриття тріщин в стінах стилобату Андріївської церкви встановлено, що за період з грудня 2010 року по грудень 2011 року зміни ширини по більшості маяків не зафіксовано [4]. По окремих маяках зміни ширини розкриття тріщин становили +0,2 мм, але ці зміни не мають чіткої закономірності щодо розміщення маяків і не можуть вказувати на загальну тенденцію розвитку деформацій і зміну напружено-деформованого стану будівлі стилобату.

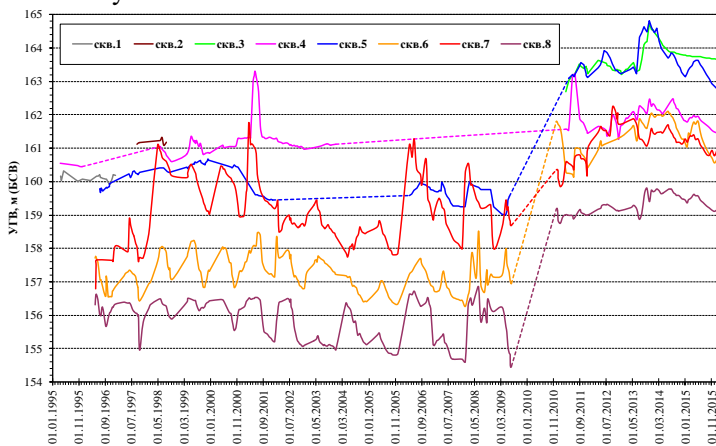


Рис. 5. Режим ґрунтових вод на ділянці Андріївської церкви за 2005...2015 рр.



Рис. 6. Тріщина на північному фасаді ззовні

ВИСНОВКИ

Проведення комплексу протиаварійних ремонтно-будівельних робіт помітно відбилося на осіданні будівлі Андріївської церкви на підвищенні рівня ґрунтових вод:

- Збільшення осідання споруди (до 70%) носило практично рівномірний характер і не привело до збільшення деформацій.
- Після завершення будівельних робіт швидкість осідань значно зменшилася і стабілізувалася.
- Ширина розкриття тріщин в споруді церкви збільшилася (до 1,62 мм – грудень 2015 р.) в порівнянні з попередніми дослідженнями (до 0,77 мм – серпень 2006 р.), але для порівняння слід зазначити, що коливання розкриття тріщин залежить від сезонних коливань температури,

тому необхідно проводити подальші спостереження з більшою циклічністю.

- Рівні ґрунтових вод на схилі значно піднялися (на 1-4 м), стабілізація відбувається дуже повільно. Для точнішого виміру дебіту дренажної води і винесення з нею мілкозему слід за допомогою СУППР обладнати спеціальний водопост в бетонному лотку ДШС-3 нижче забутованої ділянки.

- Необхідно продовжити комплексний геотехнічний моніторинг Андріївської церкви, стилобату і пагорба.

ЛІТЕРАТУРА

1. Науково-технічний звіт «Обстеження та оцінка технічного стану фундаментів і надземних несучих конструкцій будівлі Андріївської церкви у м. Києві та стилобатної частини, розробка технічних рішень по забезпеченню їх подальшої експлуатаційної надійності». Книга 2. Технічні рішення по забезпеченню подальшої експлуатаційної надійності будівлі церкви та стилобатної частини. - Київ, ДП ДНДІБК, 140 с.
2. Технічний звіт. Інженерно-геодезичні вишукування та роботи з постійного інженерно-геодезичного нагляду за деформаціями будівлі Андріївської церкви протягом виконання ремонтно-реставраційних робіт з укріплення фундаментів та ґрунтового масиву в 2012 році (циклічні спостереження) - Київ, КДП «Київгеоінформатика», 26с.
3. Заключительный отчет. Гидрогеологический мониторинг территории Национального заповедника «София Киевская» - Київ, ИГН НАН Украины, 34 с.
4. Звіт про роботу. Науково-технічний супровід проектування та виконання ремонтно-реставраційних робіт на об'єкті « Протиаварійні та ремонтно-реставраційні роботи по Андріївській церкві у Подільському районі м. Києва». Книга 2. Контроль технічного стану конструкцій стилобату. Супровід розроблення удосконалених робочих креслень. - Київ, ДП ДНДІБК, 20 с.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2016 р.