

*В.С. Шокарев, к.т.н., с.н.с.
Запорізьке відділення ДП «Державний науково-дослідний
інститут будівельних конструкцій»
І.В. Матвеев, к.т.н., с.н.с., завідувач відділу
Н.Ю. Анкянець, науковий співробітник
ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ
Н.М. Молочкова, к.т.н., с.н.с., завідувач сектора
Національний заповідник «Софія Київська», м. Київ*

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД ДЗВІНИЦІ СОФІЙСЬКОГО СОБОРУ

*Викладено результати науково-технічного супроводу пам'ятки архітектури –
дзвіниці Софійського собору, побудованої на просадочних ґрунтах у XVIII ст.*

Ключові слова: *гідрогеологічний моніторинг, геодезичні спостереження,
інформаційно-вимірвальна система, розрахункова модель.*

*В.С. Шокарев, к.т.н., с.н.с.
Запорожское отделение ГП «Государственный научно-исследовательский
институт строительных конструкций»
И.В. Матвеев, к.т.н., с.н.с., заведующий отделом
Н.Ю. Анкянець, научный сотрудник
ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных
конструкций», г. Киев
Н.Н. Молочкова, к.т.н., с.н.с., заведующий сектором
Национальный заповедник «София Киевская», г. Киев*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КОЛОКОЛЬНИ СОФИЕВСКОГО СОБОРА

*Изложены результаты научно-технического сопровождения памятника
архитектуры – колокольни Софийского собора, построенной на просадочных ґрунтах
в XVIII в.*

Ключевые слова: *гидрогеологический мониторинг, геодезическое наблюдение,
информационно-измерительная система, расчетная модель.*

*V. S. Shokarev, Ph.D.
Zaporizhia department of State Enterprise
«The State Research Institute of Building Constructions»
I.V. Matveyev, head of department, Ph.D.
N.Yu. Ankjanets, research assistant
State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kiev
N.N. Molochkova, Managing sector, Ph.D.
National Reserve «Sofia Kyivska», Kiev*

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF A BELLTOWER OF THE SOFIEVSKY CATHEDRAL

*The results of the scientific and technical support of monument of architecture of bell
Tower of the Sofia cathedral, built on prosadochnykh soils in XVIII century.*

Keyword: *Hydro-geological monitoring, geodetic supervision, information-measuring
system, settlement model.*

Вступ. Згідно з нормативними документами, що діють, при проектуванні, будівництві й експлуатації відповідальних будівель і споруд повинен проводитися їх науково-технічний супровід [1]. Мета науково-технічного супроводу – розв’язання проблем, що виникають на різних етапах життєвого циклу об’єкта.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Для гарантування безпечної експлуатації будівель та споруд необхідно мати у своєму розпорядженні поточну інформацію про деформації й напруження, що виникають у будівельних конструкціях. Будівлі та споруди, які являють унікальну історико-культурну цінність, підлягають обов’язковому науково-технічному супроводу, їх оснащено автоматизованими інформаційно-вимірвальними системами [2].

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми. Основним видом робіт при супроводі об’єкта є моніторинг його технічного стану. Дзвіниця, що входить до архітектурного ансамблю національного заповідника «Софія Київська», є складною інженерною спорудою, зазнає різноманітних впливів від природних та техногенних чинників і потребує комплексного науково-технічного супроводу.

Основний матеріал і результати. Дзвіниця була першою кам’яною спорудою, збудованою на Софійському подвір’ї після пожежі 1697 р., коли Петро I видав указ про відновлення постраждалих будівель і забудову монастиря кам’яними спорудами замість дерев’яних.

Дзвіницю було споруджено в 1699 – 1706 рр. за часів гетьмана Івана Мазепи й митрополита Варлаама Ясинського. Цю дату підтверджує і напис на дзвоні «Мазепа», який зберігся донині. Її архітектор невідомий. Спочатку дзвіниця була триярусною, увінчаною невеликою банею з високим шпилем. Оскільки дзвіницю зведено на місці давнього яру, невдовзі після спорудження її верхні яруси почали руйнуватися. Унаслідок землетрусу 1742 р. вони дали значні тріщини, які загрожували обвалом. У 1744 – 1748 рр. два верхніх яруси було розібрано й перебудовано. Від первісної споруди збереглися лише нижній і більша частина другого ярусу дзвіниці, а її третій ярус та купол було відбудовано заново. Відбудовою дзвіниці керував відомий петербурзький зодчий Й.Г. Шедель. Спершу споруда була пофарбована поліхромно: поле стін – у синій колір, ліпний орнамент мав колір слонової кістки, а постаті святих, ангелів і маски було пофарбовано: обличчя – жовтою фарбою, волосся – чорною, вбрання – різними кольорами. Купол був увінчаний ошатною барочною банею з позолоченими шпилем і зірочками на блакитному тлі.

Після секуляризації монастирських маєтків через брак у Православної Церкви коштів відбувався занепад багатьох церковних будівель, у тому числі й Софійської дзвіниці. У 1812 р. напівзруйнована баня (через блискавки) була зроблена «за новим профілем» стилю класицизму.

У середині XIX ст. дзвіниця занепала і почала втрачати домінуючу роль у містобудуванні міста. Під час проведення у Софійському соборі ремонтно-реставраційних робіт у 1851 – 1852 рр. за проектом архітектора П. Спарро над дзвіницею надбудували четвертий ярус з дерев'яною банею грушоподібної форми і верхівкою, вкритою мідними листами. Після перебудови дзвіницю пофарбували у два кольори. Колір ліплення в усіх випадках лишався білим або слонової кістки, а поле стін фарбувалося у зеленкуваті або бірюзові тони різної інтенсивності. Цей принцип пофарбування збережений дотепер. У такому вигляді дзвіниця збереглася до наших днів, за винятком деяких частин ліпного орнаменту. У роки громадянської і Вітчизняної воєн у дзвіницю потрапляли снаряди, у тому числі в нижній, найдавніший ярус.

За радянських часів її неодноразово ремонтували. Під час останньої реставрації дзвіниці (1997 – 2003 рр.) стіни її першого ярусу зміцнювалися ін'єктуванням, коли цементно-піщаний розчин нагнітався під великим тиском через отвори, виконані у фасадних стінах. Роботи з ін'єктування були не завершені у зв'язку з тим, що розчин почав виливатися прямо зі склепінь внутрішніх приміщень, що експлуатувалися.

Дзвіниця належить до баштового типу споруд, у плані розміром 20×14 м, чотириярусна, заввишки 76 м. У напрямі із заходу на схід у дзвіниці проходить проїзд. Споруда не має просторової жорсткості у вигляді перекриттів у рівні від 13-го до 48-го. Перший ярус складається з перехресних взаємно ортогональних стін завтовшки 1,5 – 2 м і служить опорою для трьох верхніх ярусів з різними розмірами в плані: на верхніх ярусах товщина стін менша, ймовірно, для зменшення навантаження на нижній ярус. Перекрыттям першого ярусу служать циліндрові склепіння. Обидва північні об'єми – двосвітні. У них розташовано кручені сходи і сховище. На досить потужну конструкцію першого ярусу спираються верхні яруси, якими є башта, що складається із чотирьох кутових пілонів, сполучених по периметру в зоні стиковки ярусів.

У геоморфологічному відношенні територія дзвіниці розміщена на лесовому плато з абсолютними відмітками денної поверхні 187,0 – 187,9 м. Ділянка рівна, помітного нахилу немає. Безпосередньою ґрунтовою основою дзвіниці є лесоподібні просідаючі супіски.

Під насипними ґрунтами на відмітках від 2,0 до 12,0 – 13,0 м (185,2 до 175,0 м) від поверхні залягають лесові просідаючі супіски (ІГЕ 2, потужністю 7,6...8,0 м;) і лесові просідаючі суглинки (ІГЕ-3 потужністю 1,5...2,1 м). Ґрунтові умови залежно від можливості прояву просідання належать до тих, у яких просідання від власної ваги не виникає і можливе лише від впливу зовнішнього навантаження [3].

Ґрунтові води зустрічаються на глибині 14,7 – 15,95 м (абсолютні відмітки 171 – 172 м). Напрямок руху води – із заходу на схід до

Софійської площі. Відмінність у рівнях підземних вод біля собору і дзвіниці складає майже 1 м з уклоном у бік дзвіниці.

Стікання у південно-східній частині заповідника більшою мірою обумовлено покриттям доріжок і майданчиків. Після дощів утворюються калюжі на покритій поверхні, які потім довго стоять, випаровуючись і просочуючись униз. Решта території є практично безстічною, і вода після дощів з покритої поверхні просочується вниз на газони, частину з котрих розташовано біля дзвіниці. Таким чином, під її підшовою утворюються лінзи води – верховодка, що було зафіксовано у 2004 р. Це явище значною мірою сприяло підвищенню величини об'ємної вологості в прошарках ґрунту під дзвіницею.

Системний гідрогеологічний моніторинг на території заповідника проводить ІГН НАН України. З 2001 р. створено спостережну систему, яка включає 12 гідрологічних свердловин та 4 гідрофізичні кущі. Біля дзвіниці Софійського собору обладнано кущі свердловин 4ГФ (південно-східна її сторона) і 5ГФ (північно-західна її сторона) з глибинами робочої частини забою 1, 2, 3 і 4 м [5]. Однією із цілей дослідження є вивчення питання про те, що тріщини в стінах дзвіниці обумовлено осіданням за нерівномірним розподілом вологості ґрунтів під фундаментом.

На основі комплексу гідрофізичних і геофізичних методів досліджень навколо дзвіниці Софійського собору виявлено похований будівельний котлован, а під дзвіницею – суцільний фундамент типу плити з буту на вапняному розчині на глибині близько 4 м. Обидва ці фактори істотним чином впливають на гідрогеологічний режим ділянки та стійкість ґрунтової основи і, власне, дзвіниці. Цими спостереженнями доведено можливість формування верховодки на глибині 2 – 4 м поблизу стін дзвіниці у зв'язку з інтенсивним зрошуванням газонів і можливими витокami з комунікацій. На основі нейтронного гамма-каротажу, проведеного у 2004 р., у свердловині було встановлено закономірне збільшення вагової вологості лесових супісків униз по розрізу від 5 до 24% і можливість формування верховодки в лесових суглинках, які підстилаються похованим ґрунтом на глибині 10,5 – 11,5 м.

Гідрогеологічні дослідження вказали на тенденцію підняття підземних вод у верхніх шарах геологічної основи на окремих ділянках, що є свідченням антропогенного впливу. Коливання рівнів має циклічний характер, амплітуда за рік в основному дорівнює 0,5...1,0 м, але у випадку аварійних витоків з комунікацій може спостерігатися швидкий підйом води до 2,5 м.

Останнім часом відбулися дві події, які можуть негативно впливати на стан пам'яток заповідника «Софія Київська». Це будівництво в безпосередньої близькості від огорожі заповідника підземного двоповерхового паркінгу глибиною 8 – 9 м і фітнес-центру на відстані 50 м від дзвіниці та будівництво готелю «Хаят» з підземним паркінгом на

відстані 150 м. Наявність підземного котловану паркінгу, закріпленого по периметру буронабивними палями, створила небезпеку заповіднику підпором ґрунтових вод [4].

Геодезичні спостереження ведуться на дзвіниці, починаючи з 1995 р. Системні спостереження виконує ДП «Київгеоінформатика», починаючи з 2001 р. У квітні 2013 р. цим підприємством було проведено 20-й цикл науково-дослідних спостережень за осіданнями фундаментів споруд, які входять до складу Національного заповідника «Софія Київська», в тому числі дзвіниці [6].

Спостереження виконували методом геометричного нівелювання коротким променем за програмою спостережень II класу нівелювання за допомогою високоточного цифрового нівеліра DINI 12 з кодовими штриховими інварними рейками типу LD 13. Застосування цього приладу дозволило визначати зміни відхилення марок на станції з похибкою, не більшою ніж 0,3 мм. При цьому похибка визначення осідань не перевищує 0,5 мм у найбільш віддалених і слабких місцях відносно вихідних реперів.

Проведені спостереження, що ведуться з 1995 р., дали такі результати. За 17 років спостережень західний фасад споруди осів на 16,1 мм, а східний – на 4,9 мм. Різниця осідань складає 11,2 мм.

За даними таблиці спостережень зростання різниці нерівномірності осідань західного і східного фасадів почалося після 2002 р. Унаслідок цього, починаючи з 2003 р., відбувається систематичне зростання горизонтального зміщення верху будівлі дзвіниці в західному напрямку. Нині відхилення верху дзвіниці (на відмітці хреста – 75 м) від вертикалі досягло 186 мм.

Останнім часом у країнах Євросоюзу, США, Росії відбувається активний процес розроблення різних інформаційно-вимірювальних систем моніторингу будівельних об'єктів. Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут» і ТОВ «Геоінжинірінг» розроблено автоматизовану інформаційно-вимірювальну систему АІВС «Моніторинг» [7]. Починаючи з 2004 р., науково-технічний супровід з використання АІВС «Моніторинг» було виконано на більш ніж 80-ти будівлях і спорудах, у т.ч. на об'єктах Євро-2012.

У четвертому кварталі 2012 р. з внутрішньої сторони зовнішніх стін дзвіниці на висоті 2,0 м від рівня підлоги було встановлено чотири датчики крену (локальна інформаційно-вимірювальна система «Моніторинг»). Датчик крену конструктивно складається із чотирьох індуктивних перетворювачів, розташованих симетрично по окружності перпендикулярно маятнику. Усі індуктивні перетворювачі встановлюються у вихідному положенні на однаковій відстані від маятника. Нитка маятника кріпиться до корпусу датчика, який у свою чергу жорстко закріплюється на контрольованому об'єкті (рис. 1).

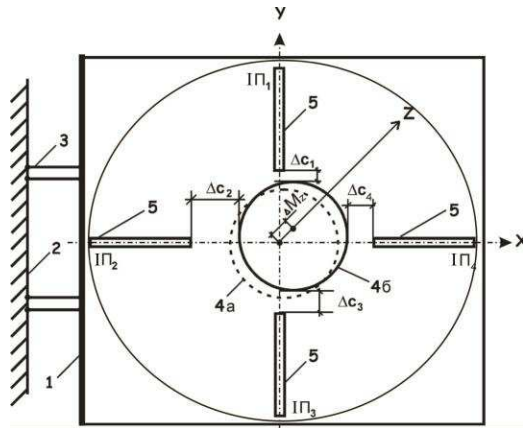


Рис. 1. Конструкція універсального індуктивного датчика крену: 1 – корпус датчика; 2 – контрольований об'єкт; 3 – конструкція кріплення датчика; 4 – маятник: а) у початковому положенні; б) у зміщеному положенні; 5 – індуктивний перетворювач (ІП₁...ІП₄); Δс₁...Δс₄ – відстані між маятником та індуктивними перетворювачами (у початковому положенні - Δс₁=Δс₂=Δс₃=Δс₄); x, y – осі координат; Z – напрямок зсуву маятника; ΔM_z – величина зсуву осі маятника

Знімання інформації з датчиків здійснюється вручну з використанням приладу виміру індуктивності. Усього було виконано чотири цикли вимірів. Величини горизонтального зсуву зовнішніх стін у місці установки датчика за період жовтень 2012 р. – травень 2013 р. склали 0,059...0,08 мм; крен – 0,016...0,025 град. (рис. 2).

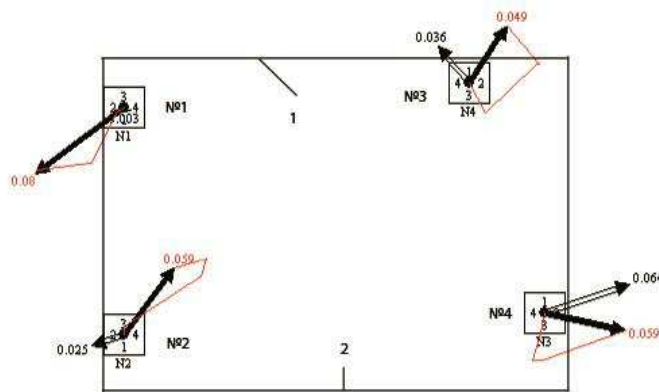


Рис. 2. Напрямок і величина горизонтального зміщення зовнішніх стін дзвіниці в місцях установки датчиків крену: за період листопад 2012 р. – травень 2013 р. (→); квітень – травень 2013 р. (⇨) №№1 – 4 – номери датчиків крену; 1 – умовний контур внутрішньої поверхні зовнішніх стін дзвіниці; 2 – вхід на територію національного заповідника «Софія Київська»

Згідно з вимірами відхилення дзвіниці мають не стабільний характер, а змінюються в часі. Для прогнозування деформацій необхідно продовжити подальші спостереження.

Науково-дослідні роботи з обстеження технічного стану дзвіниці проводяться ДП НДІБК, починаючи з 2001 р. У 2002 р. було створено розрахункову просторову модель цієї споруди, розроблену для спільного розрахунку системи «основа – верхня будова» та виконано розрахунки з вивчення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій дзвіниці.

Під час проведення обстежень технічного стану її конструкцій (2011 р.) було виявлено такі пошкодження [8]: окремі тріщини по зовнішніх стінах від волосяних до тріщин шириною розкриття до 3 мм; окремі тріщини по зведеннях і перемичках із шириною розкриття до 3 мм; зони замокання стін, пошкодження кладки стін і штукатурного шару грибок; вивітрювання розчину цегельної кладки, сколи, відшарування і випадання штукатурки у межах карнизів ярусів дзвіниці.

З урахуванням результатів технічного стану дзвіниці було відкориговано просторову модель цієї споруди та виконано розрахунки НДС конструкцій.

З метою визначення основних причин розвитку кренів у дзвіниці було розроблено розрахунки моделі:

1) на основі природної вологості з використанням у просідаючому прошарку ґрунту ІГЕ2 під дзвіницею та фізико-механічних характеристик, прийнятих при вологості $W_{пр} = 13\%$;

2) розрахунки з використанням фізико-механічних характеристик, які відповідають $W_{об} = 25\%$, $W_{об} = 45,3\%$;

3) розрахунки, що враховують розташування джерел замочування основи з півночі, півдня та із заходу.

У результаті п'яти розрахунків модель нахилиється на північний і південний захід, що майже збігається з результатами геодезичних досліджень ДП «Київгеоінформатика».

При розрахунку моделі на основі природної вологості максимальні деформації ($U_z = 14,8$ см) і максимальна величина крену ($i=0,0023$) (рис. 3), що не перевищують нормативних значень $\bar{S}_u = 20$ см, $i=0,0040$ [7].

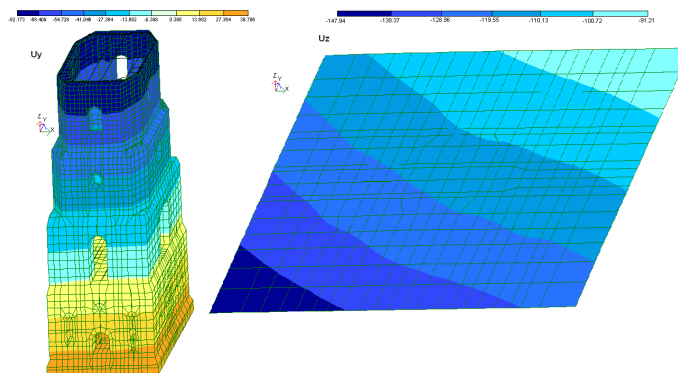


Рис. 3. Ізополя горизонтальних U_y переміщень моделі й вертикальних переміщень U_z фундаментної плити на основі природної вологості

При підвищенні природної вологості в просідаючому прошарку ґрунту ІГЕ2 під дзвіницею (у 2004 р. – $W_{об} = 43\%$) деформації значно збільшуються ($U_z = 29,5$, $i = 0,0034$) і наближаються до граничних нормативних даних (рис. 4).

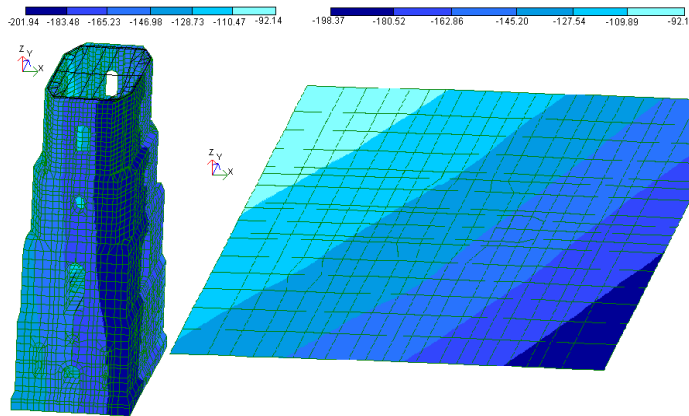


Рис. 4. Ізополя вертикальних переміщень U_z моделі й фундаментної плити при замочуванні з півдня

При прориві водопровідних комунікацій з півночі, півдня та із заходу всі максимальні вертикальні переміщення і максимальні крени фундаментної плити близькі між собою, складають $U_z = 20,2 \dots 28,9$ мм, $i = 0,0033 \dots 0,009$ та перевищують граничні нормативні значення.

Причинами розвитку кренів могли бути: підвищення природної вологості в просідаючому прошарку ґрунту ІГЕ-2 під дзвіницею у 2004 р.; прориви водонесучих комунікацій.

Таким чином, загальними вірогідними причинами виникнення пошкоджень дзвіниці є сполучення ряду несприятливих факторів, а саме: фізичний знос конструкцій споруди протягом довготривалої експлуатації; нерівномірні деформації основи фундаментів унаслідок сумісного впливу збільшення навантаження на фундаменти та замочування просідаючих лесових ґрунтів основи ІГЕ2; незадовільне водовідведення атмосферних опадів, неефективність гідроізоляції вимощення навколо споруди; розвиток кренів.

Висновки. Дзвіниця, що входить до архітектурного ансамблю Національного заповідника «Софія Київська», є складною інженерною спорудою і зазнає різних впливів від природних і техногенних чинників.

Згідно з нормативними документами, що діють в Україні, дзвіниця, яка являє собою унікальну історико-культурну цінність, повинна експлуатуватися при науково-технічному супроводі, а сама споруда має бути оснащена автоматизованою інформаційно-вимірювальною системою.

В Україні розроблена й успішно застосовується в практиці будівництва та експлуатації будівель і споруд автоматизована інформаційно-вимірювальна система «Моніторинг». У рамках науково-технічного супроводу дзвіниці Софійського собору доцільно:

- оснастити дзвіницю поширеною автоматизованою інформаційно-вимірювальною системою «Моніторинг»;
- продовжити геодезичні спостереження за деформаціями дзвіниці в ув'язці з результатами автоматизованого моніторингу і дослідженнями зі зміни гідрогеологічного режиму території;

- розробити методику визначення нерівномірності осідань конструкцій першого ярусу дзвіниці за весь період експлуатації та реалізувати її в натурі;
- за результатами моніторингу проводити коректування числової просторової моделі дзвіниці, виконувати розрахунки напружено-деформованого стану споруди, а також формувати відповідні управлінські рішення (наприклад, ліквідація джерел замочування ґрунтової основи, підсилення будівельних конструкцій, усунення крену дзвіниці та ін.).

Література

1. ДБН В.1.2-5:2007. *Науково-технічний супровід будівельних об'єктів.* – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
2. ДБН В.1.2-14-2009. *Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований.* – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14с.
3. *Техническое заключение о специальных инженерно-геологических изысканиях для реконструкции колокольни Софийского ГАИЗ в г. Киеве.* – Киев: АП Укрстройизыскания, 2000. – 50 с.
4. Рыбин, В.Ф. *Гидрогеологический мониторинг территории Национального заповедника «София Киевская» / В.Ф. Рыбин // Информационный отчет ИГН НАН Украины, 2013. – 1-й этап. – 24 с.*
5. *Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий и их влияния на состояние историко-архитектурных памятников на примере Национального заповедника «София Киевская».* – *Заключительный отчет по х/д тематике №32/02.* – Киев: Национальная академия наук Украины, 2002. – 184 с.
6. *Технічний звіт. Проведення комплексу інженерно-геодезичних робіт по спостереженню за деформаціями та осіданнями визначних споруд на території комплексу Софійського собору, Андріївської та Кирилівської церков за 2013 р.* – К.: Державне підприємство «Київське державне підприємство геодезії, картографії, кадастрових та геоінформаційних систем «Київгеоінформатика», 2013. – 40 с.
7. Патент 75876 Україна МПК G01N27/90, G01M19/00. *Електромагнітна вимірювально-інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено-деформованого стану інженерних конструкцій і споруд ЗВНДБК, ЧП «Біл», Шокарев В.С., Чаплигін В.І., Мальцева Я.В. – № 2002054241; заявл. 23.09.2002, опубл. 15.06.2006; Бюл. №6. – 2006. – 20 с.*
8. *Звіт про науково-дослідну роботу. Аналіз причин розвитку кренів у дзвіниці Софійського собору Національного заповідника «Софія Київська» та розробка рекомендацій щодо її подальшої експлуатації.* – К.: Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2011. – 40 с.

Надійшла до редакції 11.10.2013

© В.С. Шокарев, І.В. Матвєєв, Н.Ю. Анкянєць, Н.М. Молочкова