

**МОДЕЛЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СУПРОВОДУ
РЕМОНТНО-РЕСТАВРАЦІЙНИХ РОБІТ НА ПАМ'ЯТЦІ
МІСТОБУДУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРИ БУДИНОК РУСОВА У МІСТІ ОДЕСА**

¹**Ковров А.В.**, к.т.н., професор,

1_prorector@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9408-3236

¹**Анісімов К.І.**, доцент,

anisimov@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-1841-7221

¹**Якушев Д.І.**, к.т.н.,

diyakushev@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0004-3736-1931

¹**Панов Б.М.**,

BSTIY1203@ukr.net, ORCID: 0009-0005-3874-9708

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна*

Анотація. Будинок одеського підприємця А. Русова є однією з домінант історичної забудови центральної частини міста. Основними причинами, що призвели до деградації та, частково, втрати, окремих елементів будівлі, є: перебудова та перепланування внутрішніх приміщень, пожежі, відсутність капітального та поточних ремонтів, нерівномірні осідання та інше. В результаті вогневих впливів та їх ліквідацій, у будівлі практично були відсутні елементи жорсткості – диски перекриттів, що у свою чергу викликало небезпечну висоту вільних стін, що збереглися. Вищезазначене сприяло поділу будівлі на окремі фрагменти.

У 2018-2019 роках була запроваджена послідовна модель науково-технічного супроводу при виконанні ремонтно-реставраційних робіт Будинку Русова з метою забезпечення його несучої здатності та довговічності при збереженні автентичності.

Одним із напрямків науково-технічного супроводу при виконанні ремонтно-реставраційних робіт, було здійснення моніторингу стану будівельних конструкцій групи «А» за результатами чисельного моделювання та динамічних обстежень.

Верифікація розрахункової моделі проводилася шляхом порівняння величин частот нижчих форм власних коливань, одержаних за результатами виконання модального аналізу з виміряними безпосередньо на натурному об'єкті.

У процесі виконання робіт з посилення фундаментів спостерігалось зниження власних частот (збільшення періодів) перших форм власних коливань для точок, що спостерігаються, без зміни їх форм, що свідчило про зниження жорсткості елементів при збереженні величини мас і геометрії конструкції.

У міру виконання робіт з відновлення конструкцій перекриттів, що виконують роль жорстких дисків, відбувалося «зближення» вимірюваних величин, що свідчить про формування спільної роботи фрагментів будівлі, що об'єднувалися.

За результатами спостережень та аналізу розрахункових моделей були розроблені рекомендації щодо коригування проектних рішень влаштування перекриттів, реалізація яких підвищила ефективність їхньої роботи.

Ключові слова: пам'ятка містобудування та архітектури, ремонтно-реставраційні роботи, модель науково-технічного супроводу, технічний стан конструкцій, розрахункова модель.

Вступ. Кінець XIX століття ознаменувався для Одеси економічним та культурним піднесенням. Розташування на Чорноморському узбережжі, активний порт і статус центру Південного регіону сприяли зростанню населення. Одеса активно забудовувалась

прибутковими будинками – багатофункціональними спорудами, які поєднували житлові, торговельні та адміністративні приміщення. Ініціатором будівництва виступив Олександр Русов. Будівництво здійснено архітекторами В. Шмідтом і Л. Черніговим у 1897–1898 рр. Будинок став однією з домінант історичної забудови центральної частини міста.

Будинок Русова – зразок історизму (еклектики) з виразними елементами необароко та французького ампіру. Для його фасаду характерні масивні коринфські колони, скульптури атлантів, каріатид та путті. В оформленні використовуються мотиви флори і жіночі обличчя. Інтер'єри мали мозаїку, литі перила, вітражі.

Особливої уваги заслуговують конструкційні рішення – використання залізобетону, комбінованих кладок із цегли, вапняку-черепашнику та природного каменю. Черепашник був основним матеріалом для стін, його пористість забезпечувала тепло, але висока гігроскопічність з часом стало однією з причин деградації будинку. Втраті окремих елементів будівлі сприяли перебудова та перепланування внутрішніх приміщень, відсутність капітального та поточних ремонтів, нерівномірні осідання.

У ХХ столітті «Будинок Русова» зазнав значних втрат. Після неодноразових пожеж та їх ліквідацій у 2009 році будівля втратила перекриття, дах, частину декору. Результати обстежень технічного стану визначили можливість відновлення будинку шляхом проведення ремонтно-реставраційних робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Базовим джерелом для національної концепції науково-технічного супроводу (далі – НТС) є ДБН В.1.2-5:2007 [1]. Норми поширюються на різні етапи життєвого циклу та визначають основні види робіт: обстеження, наукові дослідження і спостереження. ДБН А.3.1-5:2016 [2] прямо вимагає, щоб для об'єктів зі складними технічними рішеннями проєктно-технологічна документація визначала необхідність досліджень, випробувань, режимних спостережень і моніторингу, здійснення НТС. Геотехнічну основу для НТС: основи, фундаменти, вплив будівництва на ґрунтовий масив і довколишню забудову ДБН В.2.1-10:2018 [3]. ДБН А.2.2-6:2008 [4] передбачає комплексні дослідження для визначення історичної, культурної та наукової цінності пам'ятки, її стану, температурно-вологісного режиму, гідрологічних умов, ґрунтів, фундаментів і впливу техногенних та кліматичних чинників. ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016 [5] та реставраційні норми підкреслюють, що ремонтні роботи не повинні зачіпати історичну субстанцію, конструктивні чи декоративні елементи пам'ятки без наукового обґрунтування.

У роботі М.Л. Зоценка, Ю.Л. Винникова та М.О. Харченка [6] узагальнено практичний досвід НТС в умовах складної геології та складної організації будівництва. Автори акцентують, що достовірний прогноз осідань, горизонтальних переміщень і впливу котловану можливий лише при поєднанні розрахунку з натурними спостереженнями.

Для сейсмічних регіонів НТС доповнюється перевіркою динамічних характеристик споруди, вібродинамічними випробуваннями, неруйнівним контролем і моніторингом у процесі експлуатації. У статті М.Г.Мар'єнкова зі співавторами [7] наведено склад робіт для будівель і споруд у сейсмічних районах України; наголошено на практичній цінності експериментальних досліджень, проведених під час НТС.

Для пам'яток одноразове обстеження часто не дозволяє відрізнити старі стабілізовані пошкодження від активних деформацій. Тому ключове значення має довгостроковий моніторинг. Прикладом є багаторічні інструментальні спостереження за Софійським собором, дзвіницею, Андріївською та Кирилівською церквами: на об'єктах встановлено станції контролю тріщин, а результати використовують для оцінювання тенденцій деформування [8].

У роботі Орленко М.І. [9] пропонується формувати єдиний електронний реєстр технічного стану з історією ремонтів, дефектів, потреб у фінансуванні та результатів моніторингу пам'ятників архітектури. Це дозволило б переходити від аварійного реагування до планового превентивного збереження.

Ковров А.В., Марченко Т.І. представили концепцію науково-технічного нагляду при реставрації пам'яток архітектури та містобудування [10], який тісно пов'язаний з науково-технічним супроводом, що забезпечує системну інтеграцію доктринальних принципів з

українським законодавством через запропоновану організаційну модель.

У статті Н.Мержиєвської зі співавторами [11] висвітлюється роль передових технологій, таких як цифрове документування, дистанційне зондування та 3D-моделювання у збереженні спадщини, що перебуває під загрозою. Дослідження підкреслює необхідність постійного моніторингу, документування та цифрової стійкості, а також пропонує ключові характеристики нової освітньої моделі, сформованої під впливом сучасних технологічних та геополітичних викликів.

Головна методологічна проблема полягає у тому, що велика частина доступних публікацій має описовий або кейсовий характер. Вони демонструють доцільність НТС, але рідше наводять відтворювані дані: точність прогнозів, рівень відхилень, порогові значення, ефект від коригувальних дій, витрати на моніторинг та уникненні збитки.

Міжнародний аналог НТС доцільно трактувати як інтегровану систему перевірки інженерних рішень, моніторингу фактичної поведінки об'єкта та адаптивного управління ризиками на всіх етапах життєвого циклу об'єкту.

Міжнародною теоретичною основою підходів до супроводу є *observational method* запропонований R.B. Peck [12]. Його принцип полягає в тому, що проєктні припущення мають перевірятися під час будівництва достовірними вимірюваннями, а для кожного несприятливого сценарію має бути заздалегідь підготовлений план дій.

Ця концепція розвинута в сучасному європейському нормативно-науковому полі. Друге покоління Eurocode 7 вимагає від проєктувальника передбачати реалізацію проєкту під час виконання робіт і перевірку споруди в період експлуатації. Для цього формуються плани контролю, моніторингу та обслуговування [13].

Z. Sun та співавтори у [14] аналізують цифрові двійники для моніторингу цивільної інфраструктури. Вони розглядають цифровий двійник не як 3D-модель, а як зв'язану систему даних, моделей, датчиків і процедур оцінювання. Огляд M. Mishra [15] про застосування машинного навчання для *structural health monitoring* пам'яток показує потенціал цих методів для виявлення аномалій і прогнозування пошкоджень, але також вказує на проблеми малих вибірок, неоднорідності історичних споруд та складності інтерпретації моделей.

Для України цифровізація особливо цінна, оскільки дозволяє зберігати докладну інформацію про стан об'єкта до, під час і після реставрації або пошкодження. Проте 3D-модель не замінює дослідження матеріалу, архівний пошук або інженерну оцінку.

Structural Health Monitoring (SHM) є найрозвиненішим міжнародним аналогом інструментальної частини НТС. Він охоплює систематичне отримання даних про стан конструкцій, їх обробку, виявлення пошкоджень, оцінювання ризику та прогнозування ресурсу.

В роботі A. Soleymani, H. Jahangir, M.L. Nehdi [16] розглянуто методології та технології оцінки історичних мурованих конструкцій, найкращі стратегії збереження та захисту історичних мурованих споруд. Обговорено методи виявлення пошкоджень та використання технології SHM для кам'яних конструкцій, класифіковано різні методи вимірювання SHM. Сформульовано рекомендації щодо найкращих практик та визначено майбутні дослідження.

Наукові джерела та хартії ICOMOS [17, 18] формують ієрархію рішень:

1. Профілактичне збереження – усунення причин зволоження, протікання, біоповшкоджень, вібрацій.
2. Консервація – стабілізація наявної історичної матеріальної субстанції.
3. Реставрація – виявлення й збереження цінних характеристик пам'ятки.
4. Структурне підсилення – лише за доведеної недостатності несучої здатності.
5. Реконструкція втрачених частин – найбільш обмежений і науково вимогливий вид втручання.

Огляд S. Bhatta і J. Dang [19] визначає SHM як процес оцінювання працездатності й фізичного стану споруди, який дедалі частіше базується на IoT-датчиках та безперервному передаванні даних. Автори відзначають, що такі системи можуть застосовуватися як під час будівництва, так і в процесі експлуатації мостів, будівель, тунелів і трубопроводів.

Огляд G. Wang і J. Ke [20] підкреслює, що впровадження SHM залежить не тільки від технічних можливостей, а й від узгодженості інтересів замовника, проєктувальника, підрядника, експлуатуючої організації та фінансування.

Проведений за методикою PRISMA, огляд F. Ghansah і D.J. Edwards [21] показав, що найбільше цифрові технології застосовують на операційній стадії виконання робіт – для перевірки геометрії, зіставлення фактичного стану з BIM-моделлю, контролю матеріалів і фіксації дефектів. Натомість слабше досліджені управлінська складова, гарантування якості, інтероперабельність даних і доведений вплив технологій на зниження переробок та витрат.

Таким чином аналіз сучасної наукової літератури показує перехід від епізодичного контролю до безперервного та динамічно керованого супроводу об'єкта. Найбільш зріла концепція — геотехнічний метод спостережень, за яким вимірювання відразу пов'язані з допустимими межами та діями. Найдинамічніше розвиваються SHM, IoT, BIM, цифрові двійники та алгоритми штучного інтелекту.

Мета та завдання. Метою роботи є запровадження моделі науково-технічного супроводу при виконанні ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятці містобудування та архітектури Будинок Русова задля забезпечення його несучої здатності та довговічності при збереженні автентичності.

Методика досліджень. В роботі розглядається запровадження послідовної моделі НТС ремонтно-реставраційних робіт, яка має наступні складові:

1. *Ідентифікація вихідних даних:* аналіз містобудівних аспектів, визначення предметів охорони, автентичності матеріалів і елементів, складності ґрунтових умов, сейсмічності, щільності забудови та технологічних ризиків.

2. *Розробка програми НТС:* встановлення об'єкта супроводу, контрольних параметрів, методів, періодичності, граничних значень і відповідальних виконавців.

3. *Натурні дослідження і моніторинг:* первинне обстеження та фіксація пошкоджень, геодезичні спостереження, контроль розвитку деформацій, інструментальні спостереження, неруйнівний контроль, лабораторні випробування, динамічні обстеження.

4. *Експертно-розрахункові дослідження:* формування вихідних даних, створення розрахункової моделі, проведення дублюючих розрахунків, вивчення та оцінка проєктних та технологічних рішень.

5. *Аналіз адекватності розрахункової моделі, формування рекомендацій:* аналіз відхилень, актуалізація розрахункової моделі та, за потреби, уточнення проєктних або технологічних рішень.

6. *Підсумкове оцінювання:* формування науково-технічного звіту, висновки про безпечність та рекомендації щодо подальшої експлуатації.

Результати досліджень. Розглянемо впровадження послідовної моделі науково-технічного супроводу ремонтно-реставраційних робіт, які виконувались на протязі 2018 – 2019 років.

1. *Ідентифікація вихідних даних.*

Пам'ятка містобудування та архітектури Будинок Русова розташований за адресою: вул. Садова, 21, в Приморському районі м Одеса. Об'єкт розміщується в межах Центрального історичного ареалу м.Одеси, а також в межах об'єкта всесвітньої спадщини «Історичний центр Одеси».

Ділянка, на якій розташований об'єкт, знаходиться в кварталній забудові, в межах вулиць Садова, Преображенська, Соборна площа, Пастера.

Територія центру міста, на якій розташований об'єкт, характеризується ущільненою історичною забудовою з переважним розміщенням об'єктів і установ культурно-побутового обслуговування, підприємств торгівлі.

Будинок впритул примикає до суміжних будівель. Головним фасадом будинок орієнтовано на «червону» лінію забудови вул. Садова.

Історичне фото розташування Будинку Русова наведено на рис. 1.



Рис. 1. Історичне фото розташування Будинку Русова (за матеріалами сайту old.odessa.ua)

Будівля – чотириповерхова, складної конфігурації в плані з підвалами і експлуатованим горищем. В правому крилі будівлі житлові квартири були розділені додатковими легкими дерев'яними перекриттями, так званими антресолями, за рахунок чого збільшилася поверховість в цій частині будівлі з боку внутрідворового простору становить 8 поверхів.

Ремонтно-реставраційні роботи виконувались згідно науково-проектної документації «Ремонтно-реставраційні роботи з пристосуванням під громадський будинок пам'ятки містобудування і архітектури за адресою: м Одеса, вул. Садова, 21. Протиаварійні роботи і реставрація фасадів» (Коригування), виконаної проектною організацією ТОВ «ЕКОСТРОЙ І К».

Основи будинку характеризуються складними геологічними умовами.

Відповідно до ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України сейсмічність ділянки складає 7 балів.

Згідно з ДБН А.2.2-14-2016. [4] та ДСТУ–Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва об'єкт відноситься до класу наслідків (відповідальності) СС3.

2. Розробка програми НТС.

Розроблена та затверджена Програма науково-технічного супроводу ремонтно-реставраційних робіт, включала в себе наступні складові:

- Обстеження технічного стану несучих та огорожувальних конструкцій об'єкту.
- Організація та спостереження за деформаціями та станом конструкцій об'єкту при виконанні ремонтно-реставраційних робіт.
- Аналіз результатів існуючого технічного стану конструкцій фундаменту та будинку.
- Розробка комп'ютерної моделі об'єкту. Виконання розрахунків системи «основа-фундаменти-верхня будова» на статичні та динамічні навантаження в процесі виконання робіт з урахуванням елементів підсилення несучих конструкцій, фундаментів, стін, перекриттів.

Проведення вібродинамічних досліджень в процесі проведення робіт.

3. Натурні дослідження і моніторинг.

У рамках цього етапу виконувались:

- первинне обстеження з фіксацією пошкоджень;
- обстеження у процесі виконання ремонтно-реставраційних робіт;
- геодезичні спостереження, контроль розвитку деформацій;
- вібродинамічні дослідження.

При проведенні первинного обстеження з фіксацією пошкоджень зафіксовані дефекти та пошкодження у конструкціях, елементах та деталях.

Фундаменти. Технічний стан фундаментів визначали за непрямыми ознаками зносу на підставі оцінки пошкоджень у стінах та цоколі. При обстеженні виявлено наявність дефектів та пошкоджень – тріщин у цоколі та під вікнами 1-го поверху; слідів вогкості та зволоження на стінах підвалу, нерівномірне осідання із загальним прогином до 0,02 їх довжини. З урахуванням зазначених ознак, а також терміну експлуатації будівлі технічний стан можна класифікувати як задовільний (категорія технічного стану – «2»).

Стіни. При обстеженні встановлено, що зовнішні та внутрішні стіни будівлі мають дефекти та пошкодження експлуатаційного характеру. Виявлено: тріщини різного напрямку із шириною розкриття від 2 до 40 мм; пошкодження перемичок з ознаками руйнування частини з них; розібрана кладка на окремих ділянках стін, зокрема у місцях розташування пристінних печей та димоходів; віддалені металеві балки посилення кам'яних клинчастих перемичок, встановлені в рамках раніше проведених першочергових протиаварійних робіт; пошкодження кам'яних клиноподібних перемичок та інше. З урахуванням зазначених ознак, а також терміну експлуатації будівлі технічний стан можна класифікувати як задовільний (категорія технічного стану – «2»);

Перекрыття. Під час обстеження виявлено: частину перекриттів зруйновано; на окремих ділянках перекриття над підвалом зафіксовано провали та руйнування дерев'яних конструкцій, корозію металевих балок; обвалення штукатурного шару та інше; на частині збережених міжповерхових перекриттів видалено конструкцію підлоги та звукоізоляційне засипання; зафіксовані елементи посилення на окремих ділянках міжповерхових перекриттів та інше. З урахуванням зазначених ознак, а також терміну експлуатації будівлі технічний стан перекриттів можна класифікувати у діапазоні від задовільного (категорія технічного стану – «2») до непридатного до нормальної експлуатації (категорія технічного стану – «3»), а в окремих ділянках аварійного (категорія технічного стану – «4»).

Дах. При обстеженні виявлено: існуючий «старий» дах має локальні ділянки руйнування покрівлі, пошкоджень у тому числі й ураження гниллю решетування та елементів кроквяної системи, ослаблення кріплення елементів кроквяної системи, пошкодження елементів, а також ділянок горищного перекриття. З урахуванням зазначених ознак, а також терміну експлуатації будівлі, технічний стан можна класифікувати як непридатний до нормальної експлуатації (категорія технічного стану – «3»); тимчасове покриття над частиною будівлі, виконане у 2009 році в рамках першочергових протиаварійних заходів, знаходиться у нормальному технічному стані (категорія технічного стану «1»).

Результати обстежень показали, що загалом технічний стан обстежуваної будівлі згідно з ДСТУ-Н Б В.1. 2-18:2016 [5] непридатний до нормальної експлуатації (категорія технічного стану «3»), а так званих «незмінних» конструкцій (фундаментів та стін) – задовільний (категорія технічного стану – «2»).

З метою забезпечення *геодезичних спостережень* за осіданням Будинку Русова за його периметром було встановлено деформаційні марки.

Крім того, відповідно до ДБН В.1.3-2: 2010 Геодезичні роботи у будівництві, при реконструкції або реставрації будівель та споруд в умовах щільної забудови необхідно забезпечувати геодезичний моніторинг прилеглих будівель та споруд до реставрованого.

Відповідно до технічного завдання, виданого Замовником, геодезичні спостереження за осіданням будинку необхідно виконувати за програмою II класу точності.

У роботі використовувалися результати геодезичних спостережень за осіданням, які виконувались ТОВ «ЕКОСТРОЙ І К».

Було визначено, що осідання прилеглого житлового будинку по вул. Садова, 19 протягом усього періоду геодезичних спостережень коливалися в межах від 0 до 2 мм.

Деформації будинку по вул. Преображенська, 23 коливалися від +1 до –2 мм.

При цьому закономірності у розвитку деформації будинків не спостерігалось.

Причиною виникнення деформацій може бути зміна рівня підземних вод або часткове локальне замочування ґрунту на основі водопровідних або каналізаційних мереж.

Результати геодезичних спостережень за осіданням житлового Будинку Русова по вул. Садова, 21 наведено на рис. 2.

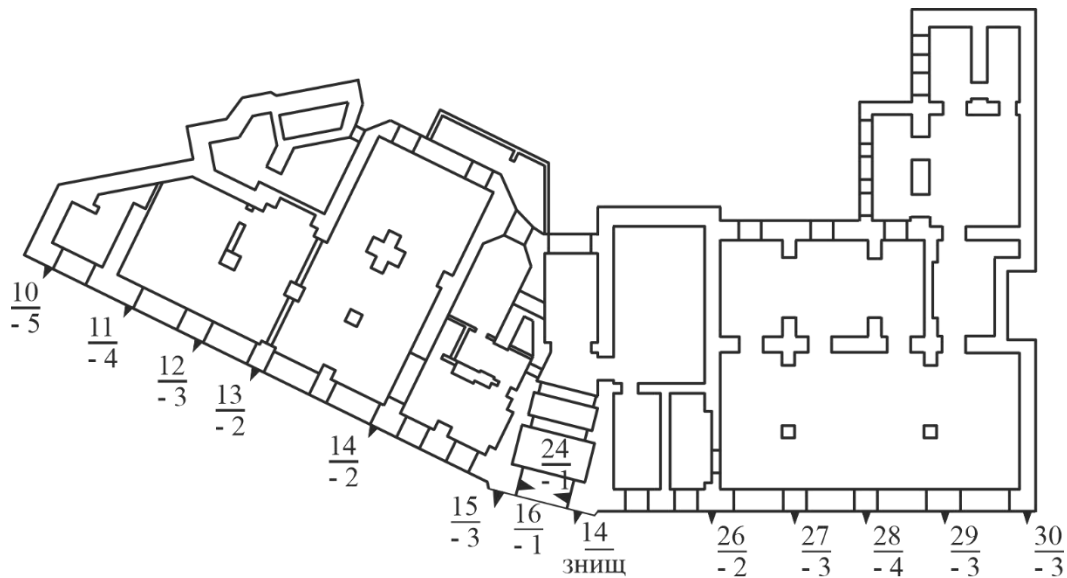


Рис. 2. Осідання деформаційних марок зовнішнього фасаду житлового Будинку Русова за період з 23.10.2014р. по 21.10.2018р.

Деформації марок коливались в межах від +4 до –4 мм. При цьому закономірність у розвитку деформації будинку відсутня.

Водночас не було можливим забезпечити геодезичні спостереження за осіданням будівлі по всьому периметру у зв'язку з недоступністю до цоколя. Крім того, окремі деформаційні марки неодноразово знищувалися у процесі виконання ремонтно-реставраційних робіт.

Обстеження у процесі виконання ремонтно-реставраційних робіт. Огляди та обстеження елементів будинку проводилися один раз на 4...7 днів, а також у разі появи екстреної потреби при виявленні прихованих раніше дефектів.

Результатом кожного відвідування об'єкта, що супроводжувався, було уточнення геометричних параметрів стін, прорізів, ніш та інше, а також матеріалу стін, що використовувалося при створенні розрахункової моделі будівлі.

Крім цього, у міру розбирання існуючих перегородок, перекриттів, звільнення стін від штукатурного шару виявлялися дефекти конструкцій, які не були виявлені раніше на стадії обстежувальних робіт.

Ці дефекти враховувалися під час коригування та доповнення проєктних рішень шляхом спільної з проєктною організацією розробкою вузлів та методів посилення конструкцій.

Огляди, які проводили експерти, у стислій формі оформлялися протоколами. Пропозиції щодо внесення коригувань оформлялися у вигляді службових записок на ім'я головного інженера проєкту.

Моніторинг технічного стану будівельних конструкцій шляхом дослідження вільних коливань.

Методика вібродіагностики включала наступні етапи:

- реєстрацію коливань;
- обчислення їх спектрів Фур'є;
- аналіз спектрів Фур'є з метою виділення резонансних піків, що відповідають різним формам вільних коливань, у тому числі з використанням статистичних методів.

Основними динамічними характеристиками будівельних конструкцій є частоти та форми власних коливань, декременти коливань, амплітуди вимушених коливань (вібропереміщення, віброшвидкість, віброприскорення).

Експериментально певна частота (або період) власних коливань конструкцій дозволяє оцінити її фактичну жорсткість при відомій масі даної конструкції.

Особливість вібраційної діагностики будівельних конструкцій полягає в тому, що на практиці при руйнування та пошкодження окремих елементів частоти коливань будівлі зменшуються. У зв'язку з цим для обробки вібраційних сигналів про коливання конструкцій має використовуватися вузькосмуговий спектральний аналіз, який дозволяє виявити максимуми спектрів на частотах власних коливань конструкцій, а також на частотах, що відповідають динамічним впливам.

Для розпізнавання частот власних і вимушених коливань використовується спектральний аналіз. На частотах вимушених коливань спостерігаються гострі вершини функції когерентності.

Вібраційний контроль несучих конструкцій будівлі виконувався на основі оперативних даних, які отримувалися від вібродатчиків, встановлених на будівельних конструкціях в окремих точках.

Поточна інформація про основні діагностичні параметри конструкцій (частотах власних коливань і амплітудах прискорень, швидкостей або переміщень) дозволяє оцінювати стан конструкцій на основі виконання розрахунків.

На рис. 3. представлена схема розміщення датчиків (сейсмоприймачів) в будівлі.

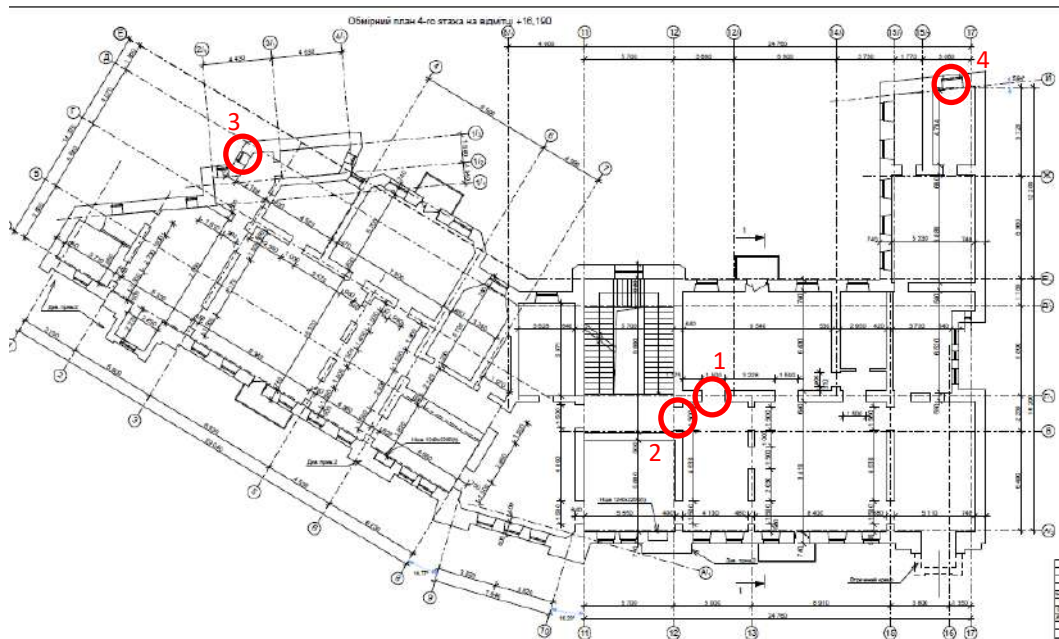


Рис. 3. Схема розміщення датчиків (сейсмоприймачів) на 4-му поверсі Будинку Русова

Для спрощення аналізу за кожним записом (акселерограмою) виконано побудову спектра потужності з використанням сателіти «Редактор акселерограм» з пакету ПЗ «SCAD Office» v.21.1.

Для зручності аналізу, на рис. 4 представлені графіки зміни переважаючих частот у спектрах потужностей у часі, за точками спостережень.

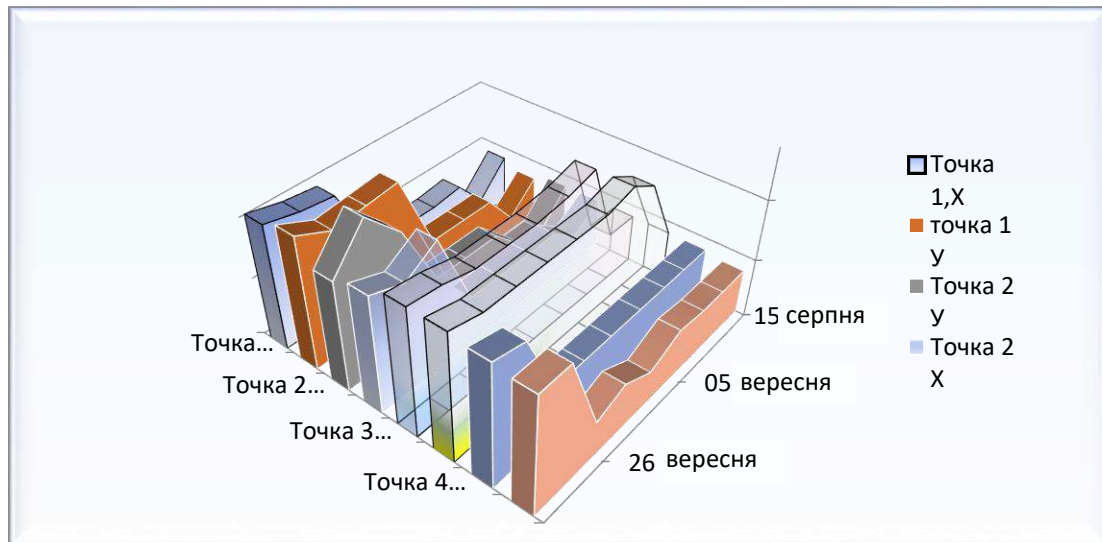


Рис. 4. Графік зміни переважаючих частот у спектрі вимірювань

На другому етапі робіт з наукового супроводу було збільшено кількість місць розміщення сейсмоприймачів.

Спостереження проводились у листопаді-грудні 2019 р. за різних режимів (під час виконання робіт). Дані спостережень наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати спостережень та виміряні переважні частоти у спектрі за результатами другого етапу супроводу

Дата	Напрямок	№ точки, / частота, Гц											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Середнє
12.11.19	X	2,147	2,005	2,156	2,237	2,506	2,506	2,005	2,506	2,506	2,507	2,506	2,326
	Y	2,505	2,591	2,506	2,256	2,506	2,506	2,256	2,506	1,754	2,256	2,147	2,344
14.12.19	X	2,506	2,757	2,757	2,256	3,008	2,005	2,005	1,504	2,005	1,754	1,504	2,187
	Y	2,257	2,757	1,754	3,008	2,506	2,256	2,256	2,256	1,504	2,256	1,504	2,210

Аналіз даних динамічних спостережень дозволяє зробити наступні висновки:

– при виконанні робіт з влаштування підсилення фундаментів, відновлення перекриттів, підсилення стін та інших робіт відбувається «вирівнювання» вимірюваних частот за напрямками, що свідчить про ефективність виконуваних робіт; розрізнені фрагменти будівлі виявляються об'єднаними в єдину конструкцію.

– аналіз спектрів частот власних коливань, записаних у грудні 2019р (за фактом завершення будівельних робіт з посилення (відновлення) елементів групи А та зведення мансардного поверху), дозволяє, при «нульовому» рівні експлуатаційних навантажень, визначити 1-у і 2-у форми власних коливань як поступальні, з незначною крутною компонентою, з частотами 1.5 та 2.0 Гц.

Відповідно до Програми НТС виконана розробка комп'ютерної моделі будинку, проведені дублюючі розрахунки будинку з урахуванням елементів посилення.

Просторова розрахункова схема відображає конструктивні рішення будинку і включає стрижневі кінцеві елементи, які моделюють роботу колон, балок, косоурів, металевих конструкцій покрівлі та кінцеві оболонкові елементи, які моделюють роботу фундаментів, перекриттів, стін, сходових маршів і майданчиків, та відповідає проєктним рішенням. Загальний вид розрахункової схеми представлений на рис. 5.

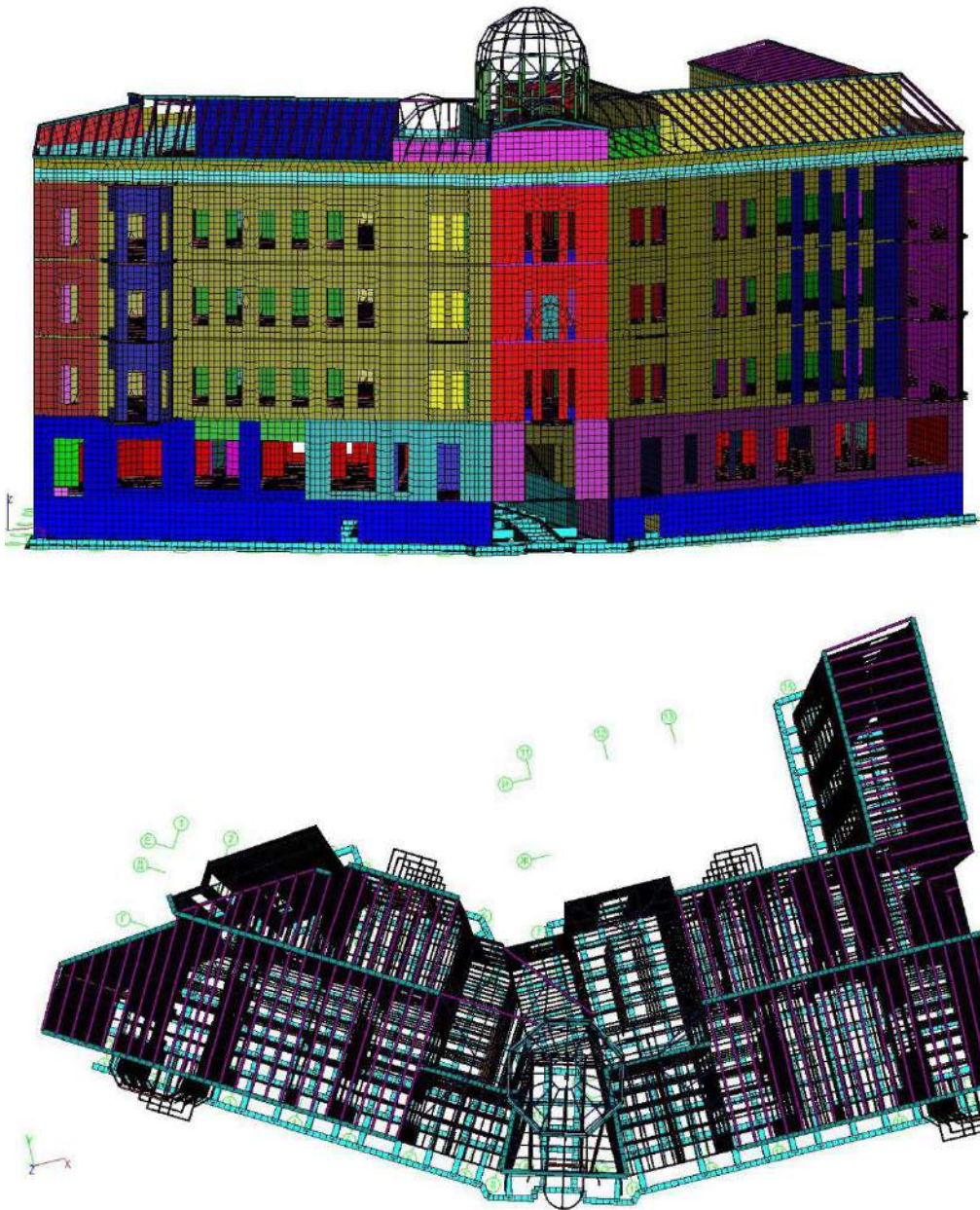


Рис. 5. Зальний вигляд розрахункової моделі

Розрахункова модель модернізувалась в міру виконання робіт та посилення конструкцій.

На першому етапі було зібрано розрахункову кінцево-елементну модель будівлі з урахуванням фактичного стану будівлі та обсягу виконаних робіт. У моделі досить докладно було враховано жорсткостні характеристики матеріалів стін (які прийняті на підставі даних технічного обстеження). Верифікація отриманої комп'ютерної моделі проводилася з допомогою динамічних досліджень будівлі.

Протягом терміну науково-технічного супроводу після кожного етапу ремонтно-реставраційних робіт виконується коригування схеми (вносяться конструктивні елементи та елементи підсилення) з подальшим контролем зміни динамічних параметрів будівлі та їх узгодженості з розрахунковими величинами. Деякі результати розрахунків представлені нижче.

На рис. 6 представлений фрагмент розрахункової моделі, що відображає прийняті проєктні рішення підсилення фундаментної частини будівлі. На рис. 7 представлена ізополя розподілу реакції основи.

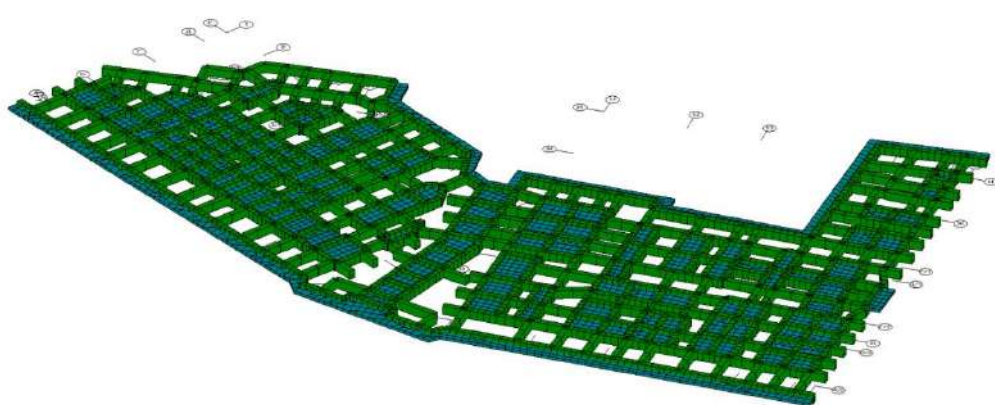


Рис. 6. Фрагмент розрахункової моделі (підсилення фундаменту будинку)

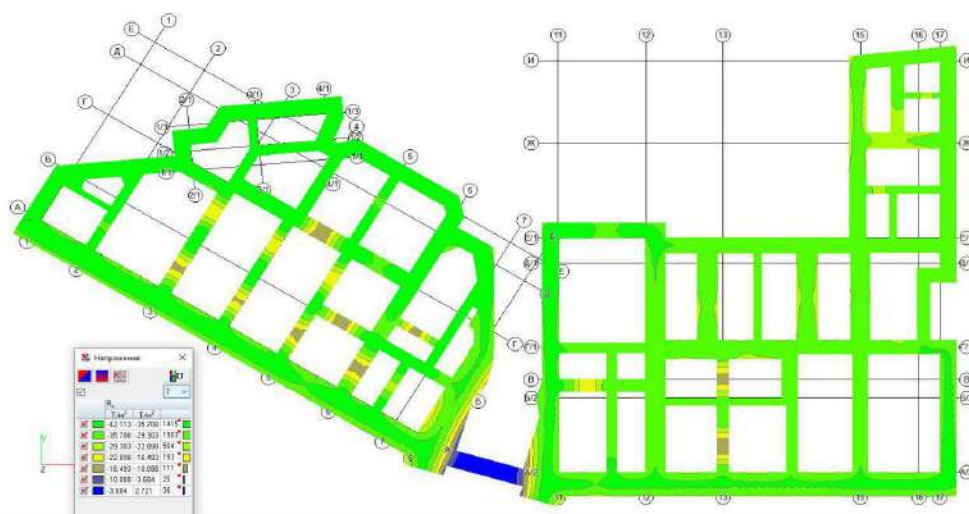


Рис. 7. Ізополя розподілу реакції основи

На кожному етапі виконувався контроль та аналіз напружено-деформованого стану кам'яної кладки будівлі. На рис. 8 представлені вертикальні переміщення фасадної стіни перев'язаним швом.

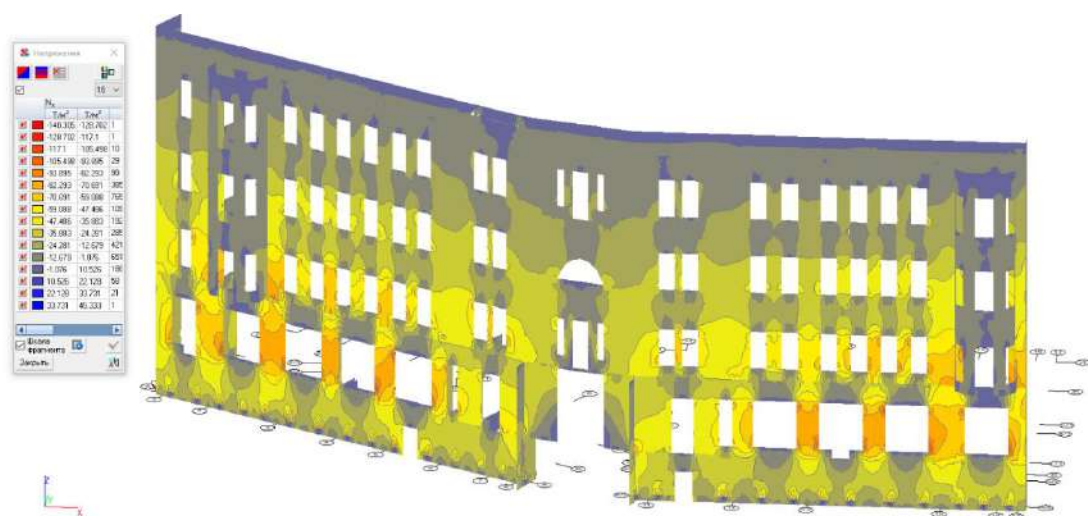


Рис. 8. Вертикальні переміщення фасадної стіни по перев'язаному шву

На рис. 9 представлений розподіл напружень в елементах кам'яних стін будівлі по перев'язаному шву.

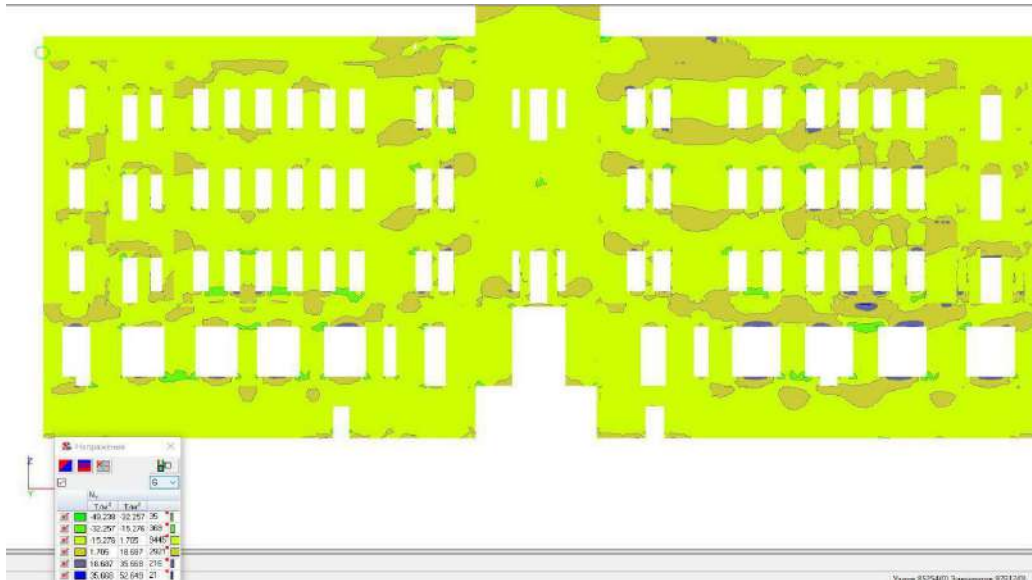


Рис. 9. Горизонтальні напруження по перев'язаному шву фасадної стіни

Аналіз результатів розрахунків свідчить про те, що виникаючі напруження в кам'яній кладці від комбінації навантажень в основному не перевищують відповідних розрахункових опорів кладки по перев'язаних і неперев'язаних швах. Є локальні області, сконцентровані у підвіконній кладці та кутах віконних та дверних отворів, де значення напружень перевищують розрахункові опори. У надвіконній частині ці напруження сприймаються перемичками.

Розрахунки динамічної моделі будівлі виконувалися відповідно до вимог ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України. Результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Динамічні характеристики будинку

Номер форми коливань	Частота коливань, Гц	Період коливань, с	M_x	M_y
1	1,51	0,66	52,56	34,99
2	2,01	0,49	27,53	62,91
3	2,194	0,46	17,69	0
4	2,2	0,45	0,29	0
5	2,55	0,39	0,01	0,02
		Σ	98,08	97,92

Отримані в результаті розрахунків дані за значенням частот власних коливань елементів конструкцій у процесі виконання робіт з реконструкції будівлі збігаються з даними вимірювань. Це свідчить про адекватність створеної комп'ютерної моделі та можливість її застосування для оцінки конструктивних рішень, прогнозування роботи будівлі.

В результаті аналізу зміни величин вимірюваних переважаючих частот у спектрі слід зазначити вирівнювання частот по всіх точках спостережень у поздовжньому та поперечному напрямках для будівлі. Це свідчить про зміну основних жорстких характеристик обстежуваної конструкції за період спостережень, а саме:

- фрагменти будівлі, спочатку представлені розрізненими конструктивними елементами (стіни, стовпи), у процесі виконання робіт з його реконструкції та реставрації поєднуються в єдину конструкцію;

- збільшення загальної жорсткості будівлі при незмінних геометричних характеристиках, будівельному обсязі та постійному рівні навантажень свідчить про збільшення жорсткості характеристик конструкцій групи «А».

Підсумкове оцінювання. За результатами науково-технічного супроводу ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятці містобудування та архітектури Будинку Русова були підготовлені матеріали звітів про результати науково-дослідної роботи.

Висновки:

1. Запровадження компонентів послідовної моделі науково-технічного супроводу ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятці містобудування та архітектури Будинку Русова забезпечило його несучу здатність та довговічність при збереженні автентичності.
2. Результати обстеження технічного стану до початку виконання та у процесі виконання ремонтно-реставраційних робіт враховувалися під час коригування та доповнення проектних рішень шляхом спільної з проектною організацією розробкою вузлів та методів посилення конструкцій.
3. За результатами спостережень та аналізу розрахункових моделей були розроблені рекомендації щодо коригування проектних рішень влаштування перекриттів, реалізація яких підвищила ефективність їхньої роботи.
4. Перспектива подальших досліджень пов'язана з продовженням адаптації впровадження моделі науково-технічного супроводу ремонтно-реставраційних робіт.

Література

1. ДБН В.1.2-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. 2007. 17 с.
2. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2016. 54 с.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2018. 42 с.
4. ДБН А.2.2-6-2008. Склад, зміст, порядок розроблення, погодження і затвердження науково-проектної документації для реставрації об'єктів нерухомої культурної спадщини. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. 17 с.
5. ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016. Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування. К.: Мінрегіонбуд України. 2016. 53 с.
6. Зоценко М.Л., Винников Ю.Л., Харченко М.О. Геотехнічні аспекти науково-технічного супроводу будівельних об'єктів. *Будівельні конструкції*. 2016. Вип. 83 (1). С. 58-65.
7. Мар'єнков М.Г., Бабік К.М., Глуховський В.П., Самойленко С.М. Особливості науково-технічного супроводу об'єктів будівництва в сейсмічних районах на етапах будівництва та експлуатації. *Наука та будівництво*. 2022. том 33. №3-4. С. 26-36. <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-3>
8. Шокарев В.С., Матвєєв І.В., Анкянець Н.Ю., Молочкова Н.М. Науково-технічний супровід дзвіниці Софійського собору. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво*. 2013. Вип. 3(2). С. 393-401.
9. Орленко М.І. Система моніторингу за станом охорони і реставрації пам'яток архітектури і містобудування. *Регіональна політика: історія, політико-правові засади, архітектура, урбаністика: зб. наук. праць*. 2017. Вип. 3, ч. 2 С. 55-60.
10. Ковров А.В., Марченко Т.І. Концепція науково-технічного нагляду при реставрації пам'яток архітектури та містобудування. *Технічні науки та технології*. 2026. № 1(43). С. 402-414. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1\(43\)-402-414](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1(43)-402-414)
11. Merzhiievska N., Dunaievskiy Y., Dunaievskaya A., Chaban A., Andrieieva Y. A novel educational model for architectural heritage preservation in Ukraine: Digital tools amidst wartime challenges. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2026. 40. e00507. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2026.e00507>

12. Peck R.B. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique*. 1969. Vol 19. No 2. pp. 171-187.
13. Hard D. et al., *Implementation of design during execution and service life*. Guidelines for the application of the 2nd generation of Eurocode 7: Geotechnical design. Publications Office of the European Union, 2024. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/8383117> (дата звернення: 09.05.2026).
14. Zhiyan Sun, Sanduni Jayasinghe, Amir Sidiq, Farham Shahrivar, Mojtaba Mahmoodian, Sujeeva Setunge. Approach Towards the Development of Digital Twin for Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure: A Comprehensive Review. *Sensors (Basel)*. 2025. 25(1). 59. <https://doi.org/10.3390/s25010059>
15. Mishra M. Machine Learning Techniques for Structural Health Monitoring of Heritage Buildings: A State-of-the-Art Review and Case Studies. *Journal of Cultural Heritage*. 2021. Vol. 47. pp. 227-245. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.005>
16. Atefeh Soleymani, Hashem Jahangir, Moncef L. Nehdi. Damage Detection and Monitoring in Heritage Masonry Structures: Systematic Review. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 397. 132402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132402>
17. ICOMOS. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. 2003. URL: <https://www.icomos.org/charters-and-doctrinal-texts/> (дата звернення 19.05.2026).
18. UNESCO. Recommendation on the Historic Urban Landscape. 2011. URL: <https://whc.unesco.org/en/hul/> (дата звернення 19.05.2026).
19. Bhatta S., Dang J. Use of IoT for structural health monitoring of civil engineering structures: a state-of-the-art review. *Urban Lifeline*. 2024. vol. 2. 17. <https://doi.org/10.1007/s44285-024-00031-2>
20. Guangbin Wang, Jiawen Ke. Literature Review on the Structural Health Monitoring (SHM) of Sustainable Civil Infrastructure: An Analysis of Influencing Factors in the Implementation. *Buildings*. 2024. 14(2). 402. <https://doi.org/10.3390/buildings14020402>
21. Ghansah Frank, Edwards David J. Digital Technologies for Quality Assurance in the Construction Industry: Current Trend and Future Research Directions towards Industry 4.0. *Buildings*. 2024. 14 (3). p. 844. <https://doi.org/10.3390/buildings14030844>

References

- [1] DBN V.1.2-5:2007. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Naukovo-tekhnichnyi suprovid budivelnnykh ob'ektiv. K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy. 2007.
- [2] DBN A.3.1-5:2016. Orhanizatsiia budivelnnoho vyrobnytstva. K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 2016.
- [3] DBN V.2.1-10:2018. Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 2018.
- [4] DBN A.2.2-6-2008. Sklad, zmist, poriadok rozroblennia, pohodzhennia i zatverdzhennia naukovo-proektnoi dokumentatsii dlia restavratsii ob'ektiv nerukhomoi kulturnoi spadshchyny. K.: Minrehionbud Ukrainy. 2008.
- [5] DSTU-N B V.3.2-4:2016. Nastanova shchodo vykonannia remontno-restavratsiinykh robot na pam'iatkakh arkhitektury ta mistobuduvannia. K.: Minrehionbud Ukrainy. 2016.
- [6] M.L. Zotsenko, Yu.L. Vynnykov, M.O. Kharchenko, "Heotekhnichni aspekty naukovo-tekhnichnoho suprovodu budivelnnykh ob'ektiv", *Budivelni konstruksii*, vol. 83 (1), pp. 58-65, 2016.
- [7] M.H. Marienkov, K.M. Babik, V.P. Hlukhovskiy, S.M. Samoilenko, "Osoblyvosti naukovo-tekhnichnoho suprovodu ob'ektiv budivnytstva v seismichnykh raionakh na etapakh

- budivnytstva ta ekspluatatsii", *Nauka ta budivnytstvo*, tom 33, no. 3-4, pp. 26-36, 2022. <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-3>
- [8] V.S. Shokarev, I.V. Matvieiev, N.Yu. Ankianets, N.M. Molochkova, "Naukovo-tekhichniyi suprovid dzvinytsi Sofiiskoho soboru", *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, issue 3(2), pp. 393-401, 2013.
- [9] M.I. Orlenko, "Systema monitorynhu za stanom okhorony i restavratsii pamiatok arkhitektury i mistobuduvannia", *Rehionalna polityka: istoriia, polityko-pravovi zasady, arkhitektura, urbanistyka: zb. nauk. prats*, 2017, vyp. 3, ch. 2, pp. 55-60.
- [10] A.V. Kovrov, T.I. Marchenko, "Kontseptsiiia naukovo-tekhnichnoho nahliadu pry restavratsii pamiatok arkhitektury ta mistobuduvannia", *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, no. 1(43), pp. 402-414, 2026. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1\(43\)-402-414](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1(43)-402-414)
- [11] Natalia Merzhiievska, Yevhen Dunaievskyi, Anzhelika Dunaievskia, Antonina Chaban, Yelyzaveta Andrieieva, "A novel educational model for architectural heritage preservation in Ukraine: Digital tools amidst wartime challenges", *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 40, e00507, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2026.e00507>
- [12] R.B. Peck, "Advantages and limitations of the observational metod in applied soil mechanics", *Geotechnique*, vol. 19, no. 2, pp. 171-187, 1969.
- [13] D. Hard et al., *Implementation of design during execution and service life*. Guidelines for the application of the 2nd generation of Eurocode 7: Geotechnical design. Publications Office of the European Union, 2024. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/8383117> Accessed on: May 05, 2026.
- [14] Zhiyan Sun, Sanduni Jayasinghe, Amir Sidiq, Farham Shahrivar, Mojtaba Mahmoodian, Sujeewa Setunge, "Approach Towards the Development of Digital Twin for Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure: A Comprehensive Review", *Sensors (Basel)*, 25(1), 59, 2025. <https://doi.org/10.3390/s25010059>
- [15] M. Mishra, "Machine Learning Techniques for Structural Health Monitoring of Heritage Buildings: A State-of-the-Art Review and Case Studies", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 47, pp. 227-245, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.005>
- [16] Atefeh Soleymani, Hashem Jahangir, Moncef L. Nehdi, "Damage Detection and Monitoring in Heritage Masonry Structures: Systematic Review", *Construction and Building Materials*, vol. 397, 132402, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132402>
- [17] ICOMOS. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. 2003. [Online]. Available: <https://www.icomos.org/charters-and-doctrinal-texts/> Accessed on: May 15, 2026.
- [18] UNESCO. Recommendation on the Historic Urban Landscape. 2011. [Online]. Available: <https://whc.unesco.org/en/hul/> Accessed on: May 15, 2026.
- [19] S. Bhatta, J. Dang, "Use of IoT for structural health monitoring of civil engineering structures: a state-of-the-art review", *Urban Lifeline*, vol. 2, 17, 2024. <https://doi.org/10.1007/s44285-024-00031-2>
- [20] Guangbin Wang, Jiawen Ke, "Literature Review on the Structural Health Monitoring (SHM) of Sustainable Civil Infrastructure: An Analysis of Influencing Factors in the Implementation", *Buildings*, 14(2), 402, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14020402>
- [21] Ghansah Frank, Edwards David J., "Digital Technologies for Quality Assurance in the Construction Industry: Current Trend and Future Research Directions towards Industry 4.0", *Buildings*, 14 (3), p. 844, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14030844>

**MODEL AND RESULTS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT
FOR REPAIR AND RESTORATION WORKS AT THE MONUMENT
OF URBAN PLANNING AND ARCHITECTURE THE RUSOV HOUSE IN ODESA**

¹**Kovrov A.V.**, PhD, Professor,
1_prorector@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9408-3236

¹**Anisimov K.I.**, Associate Professor,
anisimov@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-1841-7221

¹**Yakushev D.I.**, PhD,
diyakushev@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0004-3736-1931

¹**Panov B.M.**,
BSTIY1203@ukr.net, ORCID: 0009-0005-3874-9708
¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,*
4 Didrikhsona St., Odesa, 65029, Ukraine

Abstract. The house of the Odesa entrepreneur A. Rusov is one of the dominant architectural features of the historic development in the central part of the city. The main causes that led to the deterioration and partial loss of individual elements of the building include: reconstruction and alterations to the internal layout, fires, the absence of major and routine repairs, differential settlement, and other factors. As a result of fire exposure and fire suppression activities, the building was left virtually without its principal stiffness elements – the floor diaphragms – which, in turn, resulted in a hazardous unsupported height of the remaining walls. The above factors contributed to the structural fragmentation of the building into separate sections.

In 2018-2019, a sequential model of scientific and technical support was implemented during the repair and restoration works at the Rusov House in order to ensure its load-bearing capacity and durability while preserving its authenticity.

One of the areas of scientific and technical support during the repair and restoration works involved monitoring the condition of Group "A" building structures based on the results of numerical modelling and dynamic surveys. Verification of the computational model was performed by comparing the frequencies of the lower natural vibration modes obtained from modal analysis with those measured directly in situ on the actual structure.

During the foundation strengthening works, a decrease in the natural frequencies (an increase in the periods) of the first natural vibration modes was observed at the monitored points, without changes in their mode shapes, indicating a reduction in the stiffness of the structural elements while the mass values and structural geometry remained unchanged.

As the restoration of the floor structures acting as rigid diaphragms progressed, a "convergence" of the measured values was observed, indicating the development of integrated structural behaviour among the building sections being connected.

Based on the monitoring results and analysis of the computational models, recommendations were developed for adjusting the design solutions for the floor structures. Their implementation improved the structural efficiency of these elements.

Keywords: monument of urban planning and architecture, repair and restoration works, scientific and technical support model, technical condition of structures, computational model.

Стаття надійшла до редакції 17.06.2026

Стаття прийнята до друку 25.08.2026

Дата публікації статті 29.09.2026

[This work](#) © 2026 by [Ковров А.В., Анісімов К.І., Якушев Д.І., Панов Б.М.](#) is licensed under
[CC BY 4.0](#)