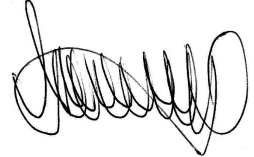


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

МУРАШКО ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 624.042.7; 699.841

**КАРКАСНІ БУДІВЛІ В СЕЙСМІЧНИХ РАЙОНАХ,
КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Дорофєєв Віталій Степанович,
Одеський національний морський
університет, професор кафедри
«Цивільна інженерія та архітектура»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Шмуклер Валерій Самуїлович,
Харківський національний університет
міського господарства імені
О. М. Бекетова, завідувач кафедри
будівельних конструкцій;

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Мар'єнков Микола Григорович,
Державне підприємство «Державний
науково-дослідний інститут будівельних
конструкцій»; завідувач відділу
автоматизації досліджень
та сейсмостійкості будівель та споруд;

доктор технічних наук, професор
Барабаш Марія Сергіївна,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютерних
технологій будівництва

Захист дисертації відбудеться «21» квітня 2021 р. об 11:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 в Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд. а360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4 та на сайті <http://odaba.edu.ua>.

Автореферат розісланий «19» березня 2021 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д. 41.085.01, д. т. н., доцент



С. О. Кровяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. За 900 років історії Київської Русі та України відомо більше 30 великих землетрусів. Тектонічна активність району гір Вранча, а також локальні сейсмічні події, кількість яких зросла за останні роки, свідчать про збільшення сейсмічної небезпеки для значної частини території України. З огляду на ситуацію щодо сейсмічної небезпеки в 2007, 2014 і 2019 роках було внесено значні зміни в нормативну базу України відносно питань сейсмостійкості. Це призвело до того, що частина території, яка раніше класифікувалась як несейсмічна, стала сейсмічно небезпечною. Отже, об'єкти, розташовані на цій території, потребують оцінювання їх сейсмостійкості.

У зв'язку зі зміною нормативної бази виникла необхідність у розробленні системи, яка змогла б комплексно вирішити проблему масового оцінювання сейсмостійкості будівель із застосуванням методів вібродіагностики, чисельних методів, методів експертних оцінок та паспортизації.

З огляду на економічну ситуацію в Україні рекомендована в п. 5.3.3 ДБН В.1.1.12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» паспортизація для всіх будівель, розташованих в сейсмічно небезпечних районах, не може бути реалізована. Тому необхідно розробити методологію оцінювання сейсмостійкості (МОС) будівель, яка поєднувала б і можливість масового спрощеного візуального оцінювання сейсмостійкості (ВОС), і детальне дослідження окремих об'єктів з урахуванням сучасного рівня розвитку методів обстеження, вібродіагностики й чисельного моделювання.

У цій роботі запропоновано ідеологію розроблення МОС будівель і наведено її реалізацію на прикладі каркасних будівель. Основну увагу приділено такій конструктивній схемі, оскільки вона найбільш поширена.

Наукова проблема дослідження: відсутність єдиної системи оцінювання сейсмостійкості, яка давала б змогу комплексно оцінювати як райони повністю, так і окремі будівлі з урахуванням необхідної достовірності, національних особливостей будівництва й нормативної бази України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації та отримані результати відповідають актуальним напрямам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 23.05.2011 р. № 547 «Про затвердження Порядку 31 застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу». Також при підготовці дисертаційної роботи було проведено дослідження з пріоритетних наукових напрямів: методи розрахунку та дослідження напружено-деформованого стану, у тому числі за наявності дефектів різного походження; науково обґрунтовані методи оцінювання технічного стану та залишкового ресурсу конструкцій тривалої експлуатації; механіка руйнування та критерії граничного стану; коливання механічних систем та хвильові процеси; динаміка, стійкість, керування й оптимізація взаємодіючих дискретно-

континуальних механічних систем; вивчення й прогнозування сейсмічної небезпеки та інших небезпечних природних явищ, визначених постановою Національної академії наук України від 30.01.2019 р. № 30 «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2019–2023 рр.». Дисертаційну роботу виконано в межах держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України: «Вплив складних видів навантаження на залізобетонні конструкції та каркасно-кам'яні будівлі з врахуванням нелінійного деформування» (номер державної реєстрації: 015U000574) та «Теоретичні основи оцінювання природних і техногенних ризиків під час будівництва та експлуатації портових і шельфових споруд» (номер державної реєстрації: 0117 U 000617).

Мета роботи: підвищення достовірності та структуризація оцінювання сейсмостійкості будівель на основі розробленої методології та її реалізація на прикладі каркасних будівель.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання:**

- проаналізувати світовий досвід у сфері систем оцінювання сейсмостійкості будівель та обґрунтувати необхідність розроблення єдиної МОС будівель і споруд;
- розробити структуру системи оцінювання сейсмостійкості;
- розробити методику аналізу сейсмостійкості будівель з урахуванням нелінійної роботи при сейсмічних впливах у поєднанні з динамічним моніторингом;
- провести натурні випробування будівель для створення методики розрахунку конструкцій з урахуванням їх реальної роботи при динамічних навантаженнях низького рівня;
- провести лабораторні випробування фрагментів будівель для визначення ступеня їх впливу при землетрусах високої інтенсивності;
- розробити методику паспортизації будівель;
- удосконалити нелінійний статичний метод розрахунку з урахуванням вищих форм коливань;
- створити методику ВОС, при розробленні цієї методики передбачити можливість її використання для аналізу наслідків землетрусів;
- апробувати розроблену систему на будівлях, розташованих у сейсмічних районах.

Об'єкт дослідження – фактична робота будівель та споруд при сейсмічних впливах.

Предмет дослідження – комплексне оцінювання сейсмостійкості будівель з урахуванням особливостей їх реальної роботи та обсягу вихідної інформації.

Методи дослідження:

- методи лабораторних й натурних досліджень відповідно до державних стандартів України, спеціально розроблених методик та із застосуванням сертифікованої вимірювальної техніки й вимірювального обладнання;

- методи будівельної механіки та опору матеріалів при визначенні напружено-деформованого стану;
- метод скінченних елементів при моделюванні напружено-деформованого стану просторової роботи будівель та їх фрагментів, реалізований у спеціалізованому ліцензованому програмному забезпеченні;
- методи математичної статистики при проведенні та аналізі результатів експериментів.

Наукова новизна результатів визначається отриманням нових науково обґрунтованих даних, які в сукупності розкривають фактичну нелінійну реакцію будівель та їх елементів при впливах землетрусів з урахуванням реальної роботи системи. За результатами наукових досліджень в дисертаційній роботі:

Уперше:

- запропоновано й розроблено МОС будівель з урахуванням особливостей їх реальної роботи й обсягу вихідної інформації;
- сформульовано й обґрунтовано новий трирівневий підхід до оцінювання сейсмостійкості будівель, що дає змогу залежно від мети оцінювання вибрати оптимальну методику з необхідним рівнем достовірності. Такий підхід є перспективним напрямом, кінцева мета якого – масове оцінювання сейсмостійкості будівель.

Отримали подальший розвиток:

- теорія оцінювання сейсмостійкості будівель та споруд у напрямках натурних досліджень, паспортизації та візуального оцінювання;
- методологічний підхід до формування розрахункових моделей з урахуванням їхньої фактичної роботи.

Удосконалено:

- методику розрахунку за нелінійним статичним методом;
- методику випробування ненесучого стінового заповнення за дії горизонтальних навантажень.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані експериментально-теоретичні результати розвивають науковий напрям визначення сейсмостійкості для будівель та споруд, а також можуть бути використані для широкого кола практичних задач проєктування чи перевірного розрахунку на сейсмічні впливи:

- створено базу для формування й розвитку МОС будівель з різними конструктивними системами;
- розроблено методику ВОС каркасних будівель;
- запропоновано методику паспортизації будівель щодо їх сейсмостійкості;
- створено методику розрахунку сейсмостійкості за модифікованим нелінійним статичним методом з урахуванням впливу ненесучого стінового заповнення;
- розроблено основні методичні передумови для проведення масового оцінювання сейсмостійкості, подальшої паспортизації, а також детального дослідження сейсмостійкості будівель;

– за результатами комп’ютерного моделювання каркасних будівель з урахуванням їх фактичної поведінки стало можливим розв’язання широкого кола прикладних задач, що виходять за межі цієї роботи;

– результати роботи було використано при розробленні ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України»;

– результати дисертаційної роботи отримали реалізацію в практиці проектування будівельних об’єктів при здійсненні науково-технічного супроводу проектування й будівництва складних об’єктів житлового та громадського призначення для визначення резервів несучої здатності при сейсмічних впливах;

– результати досліджень за дисертаційною роботою впроваджено в навчальний процес Навчально-методичного центру цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Одеської області, державної служби з надзвичайних ситуацій; використовуються в курсі «Сейсмостійкість будівель та споруд», який викладається на третьому (доктор філософії) рівні вищої освіти зі спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія». Також результати досліджень використовуються в курсі лекцій з навчальної дисципліни «Конструкції будівель та споруд», яка викладається при підготовці бакалаврів галузі знань 19 «Архітектура та будівництво», спеціальності 191 «Архітектура та будівництво».

Обґрунтованість і достовірність основних положень і висновків дисертаційної роботи забезпечуються використанням сучасного математичного апарату, теорії сейсмостійкості, загальноприйнятих припущень будівельної механіки, теорії пружності й теорії пластичності; відповідністю результатів досліджень даним, отриманим у результаті лабораторних і натурних випробувань, проведених як автором цієї роботи, так й іншими вітчизняними та зарубіжними науковцями.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні робочої гіпотези, мети й постановці завдань досліджень, організації та проведенні натурних, лабораторних та чисельних експериментальних досліджень, обробленні та узагальненні отриманих результатів, впровадженні результатів досліджень у виробництво й навчальний процес. Основні результати досліджень було одержано автором самостійно. Частину результатів отримано у співавторстві з науковим консультантом В. С. Дорофєєвим, аспірантами Бенрадї Ільхам, Н. О. Михайловою, інженером М. І. Кубійовичем. Особистий внесок автора в роботах, надрукованих у співавторстві, полягає в такому: у [1, 15, 19, 20, 22, 24, 25, 37, 38, 41, 42, 43, 55] розробив основні положення МОС; у [5–10, 12, 13, 17, 27, 31, 34, 35, 39, 40, 52, 53] створив методику, виконав розрахунки параметрів сейсмостійкості; у [13, 14, 36, 45] розробив методику моделювання; у [16, 18, 23, 26, 28, 29, 30, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 54] виконував постановку мети та систематизацію результатів; у [30, 32, 33] організовував та проводив випробування, систематизував результати; у [14, 21, 47, 48] систематизував результати.

Апробація дисертаційної роботи. Основні положення й результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, було представлено на

міжнародних, всеукраїнських і регіональних конференціях та семінарах, зокрема на таких: науково-практична конференція «Сучасний автоклавний газобетон» (2013, Краснодар, Російська Федерація); «Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів» (2013, Кіровоград, КНТУ); «5th International Conference of Young Scientists "Geodesy, Architecture & Construction"» (21–23 листопада 2013 року, Львів); XIX Міжнародний науково-методичний семінар «Перспективні напрями інноваційного розвитку будівництва і підготовки інженерних кадрів» (23–25 жовтня 2014 року, Брест, Білорусь); «2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology» (24–29 серпня 2014 року, Стамбул, Турція); «International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (IZIIS-50)» (12–16 травня 2015 року, Кіль, Німеччина, Копенгаген, Данія, Осло, Норвегія, Гетеборг, Швеція); Десята ювілейна конференція «Будівництво у сейсмічних районах України» (14–17 вересня 2015 року, Одеса); Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 90-річчю з дня народження професора В. К. Єгупова «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва» (25–29 жовтня 2016 року, Одеса); IV Міжнародна науково-практична конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (2020, Одеса); Друга та третя науково-практичні конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (2018, 2020 роки, Одеса); XI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» (10–14 вересня 2018 року, Одеса); III Міжнародна конференція «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Одеса); 75-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу ОДАБА (2019, Одеса).

У повному обсязі дисертація доповідалася на: науково-технічній раді ОДАБА 20 березня 2020 року; засіданні кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд 8 грудня 2020 року; розширеному семінарі відділів автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд, надійності конструкцій будівель і споруд ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» 27 січня 2021 року; засіданні міжкафедрального спеціалізованого наукового семінару «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» Одеської державної академії будівництва та архітектури 03 лютого 2021 року.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано в 55 наукових працях, з яких 31 стаття – у фахових виданнях України (5 індексуються наукометричною базою «Index Copernicus»), 4 статей – у наукових періодичних виданнях інших держав (1 – у періодичному науковому виданні, що індексується наукометричною базою «Scopus», 1 – індексуються наукометричною базою «Index Copernicus»), 16 тез доповідей – у збірниках наукових конференцій, а також 4 статті додатково відображають наукові результати дисертації (1 – індексуються наукометричною базою «Index Copernicus»).

Структура та обсяг дисертації. Дисертацію викладено на 460 сторінках, у тому числі 269 сторінок – основна частина, складається зі вступу,

6 розділів, висновків, списку використаних джерел (269 найменувань) та додатків на 130 сторінках, містить 185 рисунків і 30 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано його основні цілі та завдання, зроблено акцент на методах дослідження, аргументовано наукову новизну та практичне значення роботи, наведено відомості про апробацію матеріалів дисертації та представлено її загальну характеристику.

У **розділі 1** дисертації проаналізовано стан наукової проблеми, що вирішується. Розглянуто світовий досвід в оцінюванні сейсмостійкості як з боку наукових досліджень, так і з боку нормативної бази. Виконано аналіз наслідків землетрусів, наявного досвіду у ВОС, паспортизації, методів натурних досліджень, а також розрахункових методів. Зроблено спробу застосувати закордонні методики з ВОС. За результатами апробації закордонних методик на двох будівлях з'ясовано, що жодна з них не враховує вплив ненесучого стінового заповнення, а також інших особливостей вітчизняної нормативної бази. Тому було прийнято рішення про недоцільність використання цих іноземних систем в Україні та необхідність розроблення власної системи. Також проведено аналіз впливу факторів у закордонних методиках візуального оцінювання та виявлено фактори, які чинять найбільший вплив на цільову функцію. Надалі ці фактори враховано в 1-му рівні оцінювання сейсмостійкості.

Різними аспектами теорії сейсмостійкості займалося не одне покоління дослідників з усього світу. Серед них: Я. М. Айзенберг, А. А. Амосов, К. Арнольд, М. У. Ашимбаєв, Г. Н. Ашкинадзе, М. Ф. Барштейн, В. В. Болотін, І. І. Гольденблат, С. С. Григорян, С. С. Дарбинян, В. С. Дорофєєв, В. К. Єгупов, К. В. Єгупов, К. С. Заврієв, В. Б. Зилев, А. М. Жаров, Т. М. Жунусов, І. Є. Іцков, Г. Н. Карцівадзе, І. Л. Корчинський, Г. Л. Кофф, Е. Н. Курбацький, А. М. Курзанов, М. А. Марджанішвілі, В. Л. Мондрус, Ш. Г. Напетварідзе, Ю. І. Немчинов, Н. А. Ніколаєнко, С. В. Поляков, А. Г. Назаров, Ю. П. Назаров, Л. Ш. Килимник, В. А. Ржевський, А. П. Синіцин, А. Е. Саргсян, С. Б. Синіцин, В. І. Смирнов, Е. Е. Хачіян, К. М. Хуберян, І. Ф. Ципенюк, Дж. Блюм, Е. Чопра, Г. Хаузнер, Н. Ньюмарк, В. І. Ойзерман, А. Равара, Е. Розенблюет, П. Дженінгс, В. Бертере, Р. Клаф, Дж. Пензієн, Дж. Борджерс та багато інших.

Розроблені в США, Швейцарії, Новій Зеландії та інших країнах системи оцінювання сейсмостійкості або не враховують, або не вважають обов'язковим проведення натурних випробувань, і документ, отриманий за результатами такого аналізу будівлі, свідчить про її формальну відповідність або невідповідність вимогам нормативних документів.

Виходячи з аналізу досвіду, методи оцінювання сейсмостійкості будівель і споруд можна розділити на три групи: візуальні, інструментальні й чисельні.

Візуальний метод (метод експертних оцінок) використовують експерти, коли розглядають різні елементи будівель і споруд, їхній стан, взаємне розташування, оцінюють на підставі затвердженої методики відповідність несучих елементів вимогам нормативних документів і, виходячи з отриманих візуальних даних, роблять відповідні висновки про ступінь сейсмостійкості, дають рекомендації.

В інструментальних методах різні характеристики будівель, що впливають на їх технічний стан, визначаються за допомогою різноманітних приладів. У багатьох роботах наведено методику оцінювання сейсмостійкості й стійкості будівель за допомогою мобільного діагностичного комплексу. Ця методика заснована на визначенні таких характеристик, як власні частоти коливань будівель, з використанням методів динамічного аналізу, відображених у роботах В. В. Болотіна, І. В. Сітнікова, А. С. Ісайкіна, Г. Е. Шаблінського, Д. А. Зубкова, Г. М. Нігметова, А. М. Шахраман'ян, Д. В. Главінського, С. Н. Савіна.

Часто результати досліджень у сфері сейсмостійкості мають локальний характер та обумовлені традиціями будівництва й місцевими будівельними матеріалами, а також рівнем розвитку будівельної галузі загалом. Одним з основних джерел відомостей про поведінку будівель при землетрусах є аналіз їх наслідків. З огляду на згадану місцеву специфіку сейсмостійкого будівництва необхідно оцінити наслідки землетрусів, що відбувалися на території України.

Аналіз сейсмонебезпечних регіонів, представлених на картах ЗСР-2004, свідчить, що великі території, які раніше вважали несейсмічними або з низьким рівнем сейсмічної небезпеки (наприклад, низка районів Одеської області й місто Одеса), нині оцінюють як сейсмонебезпечні (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл сейсмічно небезпечних районів по території України

Сейсмічність, бали	Карта СНиП П-7-81 (СР-78), %	DBN В.1.1-12:2006, карта А, %	DBN В.1.1-12:2006, карта В, %	DBN В.1.1-12:2006, карта С, %
6	16,52	17,47	27,91	52,39
7	4,25	7,06	11,18	30,91
8	0,58	2,32	3,34	8,88
9	0,00	0,00	1,23	3,30
10	0,00	0,00	0,00	0,50
Σ територія	21,36	26,85	43,66	95,98

Отже, значна частина наявного фонду будівель і споруд на таких територіях не має необхідного рівня сейсмостійкості, оскільки вони зведені з недостатнім обсягом антисейсмічних заходів, а часто й зовсім їх не мають. Тому для значної частини території України необхідно виконати масове оцінювання сейсмостійкості.

Українська наукова школа також зробила вагомий внесок у розвиток теорії сейсмостійкості та реалізації її в нормативній базі.

Працями Ю. І. Німчинова та його учнів представлено пріоритетний напрям дослідження роботи будівель як просторових систем, спрямований на вдосконалення нормативної бази.

Використанню сучасних програмних комплексів для оцінювання напружено-деформованого стану несучих систем будівель присвячено праці багатьох авторів, серед них роботи В. А. Банаха, Ю. В. Гензерського, Ю. Д. Гераймовича, О. С. Городецького, А. А. Диховичного, В. С. Дорофєєва, І. Д. Євзерова, В. С. Карпиловського, С. Ф. Клованіча, В. І. Колчунова, А. З. Криксунова, В. С. Кукунаєва, В. П. Максименка та ін.

Варто також згадати роботи В. В. Кулябка, спрямовані на підвищення сейсмостійкості та динамічну паспортизацію.

Роботи М. С. Барабаш та О. С. Городецького стосуються оптимізації чисельного моделювання життєвого циклу будівництва, у тому числі з урахуванням сейсмічних впливів.

Можливість упровадження в розрахункові моделі елементів бетонних і залізобетонних конструкцій нелінійної деформаційної моделі ґрунтується на результатах експериментально-теоретичних досліджень. Серед них значну частину робіт виконано під керівництвом таких відомих учених України, як Т. Н. Азізов, А. Я. Барашиков, Є. М. Бабич, А. М. Бамбура, П. Ф. Вахненко, Б. Г. Гнідець, О. Б. Голишев, В. С. Дорофєєв, Є. В. Клименко, С. Ф. Клованич, Л. І. Стороженко, М. В. Савицький, М. С. Торяник, С. Л. Фомін, О. Л. Шагін, В. С. Шмуклер, В. Г. Щелкунов, О. Ф. Яременко, а також багатьох інших.

Паспортизація сейсмостійкості будівель і споруд. Під терміном «паспортизація» в межах цього дослідження мається на увазі набір стандартних формалізованих процедур для масового оцінювання відповідності будівель вимогам нормативних документів, який передбачає і метод експертних оцінок, і вібродіагностику в поєднанні з чисельним моделюванням.

В Україні оцінювання сейсмостійкості методами паспортизації регламентується ДБН В.1.1.12-2014, проте сама методика паспортизації відсутня. Оцінюванню сейсмостійкості будівель методами паспортизації приділено увагу в багатьох нормативних документах та працях дослідників, які виконують розробки в цьому напрямі.

Зарубіжні дослідники мають схожі системи паспортизації, наприклад, в Росії або Швейцарії. Однак ці методики не враховують реальної поведінки будівлі (або враховують частково), що визначається на підставі динамічних випробувань (фактичні навантаження на перекриття, вплив ненесучого стінового заповнення тощо). Для методики паспортизації, розробленої в цьому дослідженні, динамічні випробування є обов'язковим етапом, тому що дають змогу судити про сейсмостійкість будівлі й ступінь її відповідності чисельній моделі.

Незважаючи на необхідність проведення масової паспортизації, відповідної чинної нормативної бази в Україні немає. Методики, які

розробляються на цьому етапі, можна назвати так: передпаспортизацією (для масового попереднього оцінювання, орієнтованого на виявлення впливу конфігурації та інших факторів), власне паспортизацією (набір стандартних формалізованих процедур з оцінювання відповідності будівлі вимогам нормативних документів) і постпаспортизацією (нетипові, унікальні будівлі, які не вписуються в методику паспортизації та потребують індивідуального підходу). Отже, у сфері паспортизації в пропонованому форматі у вітчизняному та зарубіжному досвіді наявний інформаційний вакуум, заповнити який пропонується за допомогою паспортизації та комплексу робіт, що передують їй та завершують її (у разі необхідності).

Візуальне оцінювання сейсмостійкості – це система оцінювання, яка ґрунтується на висновку експерта, зробленому на основі візуального обстеження об'єкта та заповненої на його підставі спеціальної форми, що складається протягом короткого проміжку часу (за швейцарським нормативом – не більше чотирьох годин на об'єкт).

Така процедура вимагає попереднього обстеження будівель з метою оцінювання таких аспектів: рік будівництва, кількість поверхів, наявність / відсутність гнучких поверхів, коротких колон тощо. Потім обстежені будівлі класифікують за різними класами, починаючи з будівель, що піддаються великим пошкодженням (висока вразливість), та закінчуючи будинками, які вважаються безпечними (низька вразливість), залежно від сейсмічної активності в регіоні.

Таку систему широко застосовують у багатьох країнах світу: «Fema 154» (США), швейцарська, новозеландська, індійська, турецька системи ВОС та японський сейсмічний метод. Усі названі системи, крім японської, дуже схожі. Японський сейсмічний метод, окрім обстеження, передбачає розрахунковий аналіз, але такий аналіз пропонується виконувати в межах наступного етапу оцінювання сейсмостійкості, тому далі з розгляду систем ВОС цей метод виключено.

Для перевірки можливості використання закордонних систем оперативного оцінювання було прийнято рішення про їх апробацію на багатоповерхових будинках, розташованих у м. Одесі.

Будинки для апробації обиралися таким чином, щоб у кожному з них був загальний для всіх систем вид нерегулярності: в плані та по висоті будівлі. Ці критерії відбору були прийняті, виходячи з результатів аналізу наслідків землетрусів і їх найбільш згубного впливу.

За результатами спроби апробації застосовуваних за кордоном систем ВОС на двох будівлях, розташованих в Одесі, виявилось, що за американською та швейцарською системами будівлі є несейсмостійкими, а за турецькою й новозеландською – сейсмостійкими. Тому було вирішено, що використання цих іноземних систем в Україні недоцільне й необхідно розробити власну систему, яка може бути застосована в Україні і в країнах зі схожими традиціями будівництва, де немає таких систем.

У **розділі 2** визначено теоретичні передумови створення МОС та наукові основи аналізу сейсмостійкості з позицій теорії інформації; сформульовано

гіпотезу дослідження, а також розроблено структуру системи оцінювання сейсмостійкості каркасних будинків та запропоновано методику дослідження.

При підготовці технічного висновку про несучу здатність будівлі або споруди експерт стикається з необхідністю збирання інформації про об'єкт. Залежно від досвіду й кваліфікації експерта в значних межах змінюється обсяг інформації, необхідний йому для складання технічного висновку. Обсяг інформації, яким змушений оперувати експерт, може бути істотно обмежений через відсутність архівних даних або секретність об'єкта, а також дорожнечу або навіть неможливість отримання інформації про стан окремих конструктивних елементів або їх стиків. Частину інформації можна знайти в широкому доступі, а частина може бути загублена, і для її відновлення можуть бути витрачені значні зусилля. Тому часто виникає питання, скільки зусиль слід докладати для пошуку такої інформації.

Так, у роботах А. Muttoni викладено нову філософію деталізації розрахункових процедур залежно від необхідного рівня точності. Якщо розвинути запропоновану автором філософію зі сфери рівнів апроксимації в напрямі обсягу інформації, необхідного для отримання обґрунтованого рішення про ступінь відповідності будівлі, споруди або їх окремих елементів вимогам нормативних документів і забезпечення несучої здатності будівель та споруд, то, використовуючи сформовану структуру обстеження будівель і споруд, можна інтерпретувати запропоновану залежність між необхідною точністю, рівнем апроксимації розрахунків і часом, приділеним їх виконанню та аналізу, в такому вигляді: зі збільшенням проміжку часу, приділеного аналізу об'єкта, збільшується достовірність зробленого висновку та його графічної інтерпретації (рис. 1).

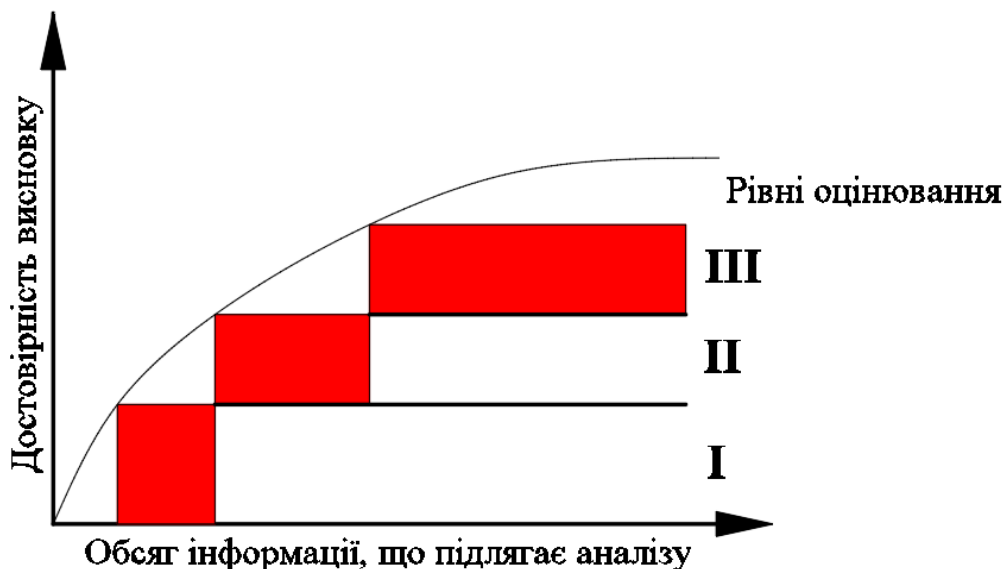


Рис. 1. Адаптована автором концепція, запропонована А. Muttoni

Виходячи із запропонованої концепції, було сформульовано гіпотезу дослідження: з допустимим ступенем достовірності можна визначити такий мінімум інформації про об'єкт, який дає змогу судити про ступінь його

сейсмостійкості. Як наслідок, зі збільшенням обсягу інформації про об'єкт зростає ступінь достовірності висновку про його сейсмостійкість.

Отже, зі сформульованої гіпотези дослідження випливає, що висновок про сейсмостійкість об'єкта робиться на підставі аналізу його інформаційної моделі.

Під інформаційною моделлю будівлі в цьому дослідженні мається на увазі модель об'єкта, представлена у вигляді інформації, яка описує суттєві для цього розгляду параметри й змінні величини об'єкта, зв'язки між ними, його входи й виходи та дає змогу шляхом подання на модель інформації про зміни входних величин моделювати можливі стани об'єкта.

Для подальшого дослідження слід виокремити й адаптувати частину термінології із загальної теорії інформації стосовно розглянутої проблеми. Нижче наведено частково адаптовану термінологію.

Достовірність інформації (Reliability of information, RI) – показник якості інформації, який стосується істинності та об'єктивності; для проблеми, що вирішується в дослідженні, це емпірично підтверджені спеціальними експериментами або наявним досвідом дані.

Повнота (Completeness, CI). характеризує мінімальний, але достатній для прийняття правильного рішення набір показників. Як неповна, так і надлишкова інформація знижує ефективність прийнятих на її підставі рішень.

Доступність інформації характеризує можливість отримати доступ до інформації про об'єкт, необхідної для завдання, що вирішується.

Вартість інформації – показник, який відображає витрати на отримання окремої одиниці інформації.

Важливість (цінність) інформації – узагальнений показник, що характеризує значимість інформації з точки зору тих завдань, для вирішення яких її використовують.

За наявності трирівневого підходу в різних сферах знань в чинному в Україні нормативному полі пропонується однорівневий підхід у вигляді паспортизації, що для масового оцінювання сейсмостійкості є неприпустимим. Отже, відповідно до досвіду структурування інформації та проаналізованого в розділі 1 світового досвіду оцінювання сейсмостійкості пропонується трирівнева система важливості інформації.

Трирівнева система оцінювання сейсмостійкості будівель являє собою три шари важливої інформації про один об'єкт, які відрізняються один від одного повнотою. Запропоновані рівні повноти інформації відповідають філософському підходу Роджера Пенроуза, тому при оцінюванні сейсмостійкості необхідне кількісне оцінювання інформації.

Припустимо, що існує n -мірний простір, у якому розташований вектор, що відображає сейсмостійкість об'єкта. При цьому існує певна кількість факторів X_i , вплив яких є несуттєвим на функцію, що досліджується (відповідно до закону Парето). Також є кількість факторів m , які не можуть бути враховані з об'єктивних причин, обумовлених ступенем розвитку будівельної галузі щодо об'єкта дослідження.

Отже, $(n - m)$ кількість факторів визначає сейсмостійкість об'єкта на конкретний момент розвитку сфери знань щодо нього, а $(n - m - i)$ мінімальна кількість факторів визначає сейсмостійкість об'єкта з урахуванням необхідного ступеня достовірності.

Ступінь достовірності моделі визначення сейсмостійкості об'єкта виражається величиною i (кількість факторів, які свідомо не враховуються).

При $i_{\min}$ про об'єкт збирається максимальний обсяг інформації, з якого можна зробити висновок про ступінь сейсмостійкості об'єкта з максимальним ступенем достовірності (кількість неврахованої інформації мінімальна).

Під $i_{\max}$ мається на увазі така мінімальна кількість інформації, на підставі якої з допустимим для конкретної мети ступенем достовірності можна судити про сейсмостійкість об'єкта (кількість неврахованої інформації максимальна для забезпечення необхідного рівня повноти).

Як аналог можна навести приклад моделювання роботи конструкцій, коли нехтують одним або двома вимірами об'ємного тіла і таким чином розглядають пластину або стрижень-брус.

Виходячи з аналізу, виконаного в розділі 1, чинники, що визначають сейсмостійкість об'єкта, можна розділити на такі групи:

1. Фактори конфігурації C .
2. Інженерно-геологічні умови G .
3. Конструктивні фактори (технічний стан) S .

Найменш інформативним з розглянутих способів збирання інформації про об'єкт є рівень візуального обстеження. Однак саме цей спосіб найкращий для масового оцінювання сейсмостійкості територій. Тому в межах цього дослідження виконано оцінювання впливу факторів C і S за допомогою залучення методів ЕС-моделювання для виявлення найбільш впливових факторів та врахування їх у системі оцінювання сейсмостійкості.

Отже, очевидною стає необхідність, використовуючи чисельні методи, аналіз наслідків землетрусів та натурні випробування, виявлення ступеня впливу різних конфігурацій будівель в плані й по висоті для їх врахування при ВОС.

Враховуючи розподіл факторів за групами, обсяг інформації, необхідний для формування висновку про сейсмостійкість із заданим ступенем достовірності, буде визначатися як функція інформації за кожним фактором:

$$I_{(n - m - i)} = f(C, G, S). \quad (1)$$

Сформована тенденція оцінювання сейсмостійкості, заснована на аналізі поведінки будівель під час землетрусів (PBSD), дає змогу оцінювати сейсмостійкість при різних рівнях сейсмічних впливів. На основі розглянутих в попередньому розділі методів оцінювання сейсмостійкості й зробленого висновку про необхідність вироблення єдиної бази для оцінювання сейсмостійкості можна запропонувати саме такий підхід. Завдяки цьому підходу можна разом розглядати все різноманіття методів оцінювання сейсмостійкості будівель і споруд.

Загальну МОС можна розділити на три рівні:

1. *Оцінювання сейсмостійкості 1-го рівня (ОС-1).* Для оцінювання сейсмічного ризику територій і розроблення планових заходів щодо підвищення сейсмостійкості з метою забезпечення необхідного рівня надійності, а також розроблення комплексу заходів з ліквідації наслідків землетрусів у світі застосовують методики у вигляді форми, яка складається на підставі результатів візуального обстеження. При $i_{\max}$ функція $I_{(n-m-i)} \rightarrow \min$, $CI \rightarrow \min$, $RI \approx 75\%$.

2. *Оцінювання сейсмостійкості 2-го рівня (ОС-2).* Формалізований підхід до оцінювання сейсмостійкості у формі паспортизації для об'єктів масового будівництва має реалізовуватися відповідно до вимог ДБН В.1.1-12:2006, надалі й ДБН В.1.1-12:2014, а також із рекомендаціями (усі параметри інформації перебувають у зоні оптимальних значень та визначені нормативними документами, $RI \approx 95\%$).

На цьому рівні поєднання численних і натурних досліджень дасть змогу оцінити сейсмостійкість об'єкта на підставі більшого обсягу інформації порівняно з ОС-1, і, як наслідок, достовірність цього оцінювання буде вищою.

3. *Оцінювання сейсмостійкості 3-го рівня (ОС-3).* Об'єкти експериментального будівництва, особливо відповідальні та унікальні об'єкти потребують не тільки проведення інженерно-сейсмометричних випробувань, а й розрахункової перевірки роботи конструкцій будівлі за допомогою чисельного моделювання їх нелінійної роботи при сейсмічній дії, яке описує її за допомогою акселерограми, записаної на будівельному майданчику. Виходячи з наведеного поєднання експериментально-розрахункових операцій, можна зробити висновок, якою є сейсмостійкість конкретного об'єкта з урахуванням реальних характеристик конструкцій і впливу, що був записаний на майданчику, де розташований об'єкт. На цьому етапі збирається максимальний обсяг інформації за спеціально розробленою програмою, тому висновок щодо сейсмостійкості буде максимально відображати фактичний стан будівлі (при $i_{\min}$ функція $I_{(n-m-i)} \rightarrow \max$, $CI \rightarrow \max$, $RI \rightarrow 100\%$).

Співвідношення запропонованих рівнів оцінювання сейсмостійкості та основних параметрів теорії інформації наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Рівні оцінювання сейсмостійкості
відповідно до основних характеристик інформації**

Рівень ОС	Достовірність (RI), %	Повнота (CI)	Важливість	Доступність	Вартість
ОС-1	75	Min	Max	Max	Min
ОС-2	95	Mid	Mid	Mid	Mid
ОС-3	$\rightarrow 100$	Max	Min	Min	Max

Основними джерелами інформації для розроблення системи оцінювання, заснованої на аналізі поведінки будівель при землетрусі, є такі:

1. Аналіз наслідків землетрусів.

2. Досвід нормативних документів зарубіжних країн.
3. Результати натурних і модельних лабораторних досліджень будівель.
4. Чисельне моделювання.
5. Результати інженерно-геологічних вишукувань.

До найбільш ресурсоємних належать визначення інженерно-геологічних умов для територій, побудова карт сейсмічного мікрорайонування й проведення випробувань. І якщо для кожної конкретної конструктивної схеми можна максимально використовувати наявні результати експериментальних досліджень, то для уточнення рівня сейсмічної небезпеки, особливо для ОС-1, необхідні значні обсяги інженерних вишукувань (на першому етапі пропонується максимально використовувати базу виконаних вишукувань в поєднанні з методами екстраполяції, де це є допустимим).

Методика натурних випробувань багатоповерхових будівель. Основною метою цього етапу досліджень є визначення частот і періодів основних форм коливань як інтегральних показників, що характеризують несучу здатність загалом і сейсмостійкість зокрема.

Коливання збуджували ударами за допомогою трьох знарядь: вантажу з монолітного залізобетону як незнімної опалубки, для якого використовували автомобільні покришки; за допомогою балки опалубки довжиною 2 м, яку використовували як тампер; мішка з піском. Також реєстрували коливання від вітрового впливу й сейсмічного шуму (ambient vibrations).

Ударів завдавали по діафрагмах і ядрах жорсткості на різних по висоті рівнях. Реєструвальну апаратуру розміщували по-різному: і на покритті (для виявлення коливань в плані), і на різних поверхах (для виявлення поширення коливань по висоті будівлі).

Методика лабораторних досліджень. Експериментальна програма цього етапу дослідження охоплює випробування матеріалів бетону, газобетону, заповнення швів, шести фрагментів газобетонних стін без урахування та з урахуванням заповнення швів, які піддавалися горизонтальному навантаженню, і натурні випробування будівлі.

Методика випробування елементів заповнення швів. Для визначення деформативних характеристик заповнювачів шва – мінеральної вати, пінополістиролу й вілатерму – було передбачено чотири зразки газобетонної призми марки D400 і один бетонної призми, щоб були встановлені індикатори для визначення переміщення.

Завдання випробувань елементів стін полягало в оцінюванні міцності, жорсткості й тріщиностійкості елементів стінових конструкцій при дії статичного еквівалента сейсмічних навантажень.

Випробування елементів стін виконували у два етапи:

1. Вивчення роботи газобетонного заповнення без урахування заповнення швів під впливом горизонтального знакопостійного навантаження.
2. Вивчення роботи газобетонного заповнення з урахуванням заповнення швів під впливом горизонтального знакопостійного та знакозмінного навантаження.

У межах першого етапу було досліджено дві стінові панелі без урахування заповнення швів під впливом горизонтального знакопостійного навантаження, що додавали ступенями по 10% від руйнуючого.

Фрагменти стінового огородження було випробувано в сталевій шарнірній рамі.

Навантаження прикладали за допомогою гідравлічного домкрата. Реєстрацію переміщень виконували індикаторами годинникового типу та тензорезисторами з базою 50 мм.

Після першого етапу випробувань виникла необхідність у розробленні стенду, що давав би змогу проводити випробування на вплив знакозмінного навантаження.

Основна частина другого етапу експериментальної частини програми передбачала випробування чотирьох газобетонних стін (моделей, зразків) на горизонтальні зсувні впливи з урахуванням роботи матеріалу заповнення.

Випробування мало такі етапи:

- горизонтальне зосереджене статичне навантаження, яке прикладали ступенями по 10% від руйнуючого на рівні верхньої частини рами;
- горизонтальне малоциклове зосереджене знакозмінне навантаження, яке зростало на 10% від руйнуючого на рівні верхньої частини рами (1-й ступінь – 10% зліва, 2-й – 10% справа, 3-й – 20% зліва, 4-й – 20% справа і т. ін.).

У розділі 3 висвітлено 3-й рівень оцінювання сейсмостійкості, розроблений на основі результатів інженерно-сейсмометричних спостережень в поєднанні з чисельним моделюванням.

У цій роботі вибірково наведено результати натурних випробувань неруйнуючим навантаженням 11 об'єктів, виконаних за участю автора.

Удари тараном і тампером виконували по ядру жорсткості на рівні покриття (рис. 2) і по залізобетонному парапету на рівні другого поверху.

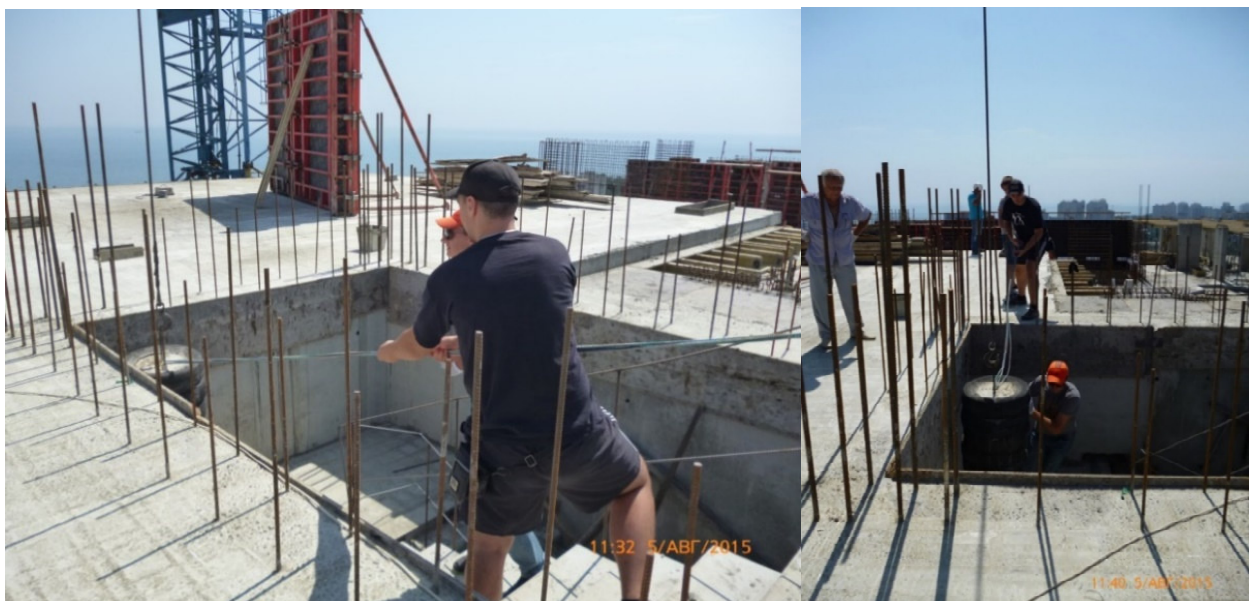


Рис. 2. Виконання ударів в поздовжньому й поперечному напрямках в сходовому ядрі

Аналіз результатів випробувань. На наведеній на рисунку 3 велосіограмі чітко відстежуються три удари тампером уздовж, три поперек розташування датчиків і два удари тараном.

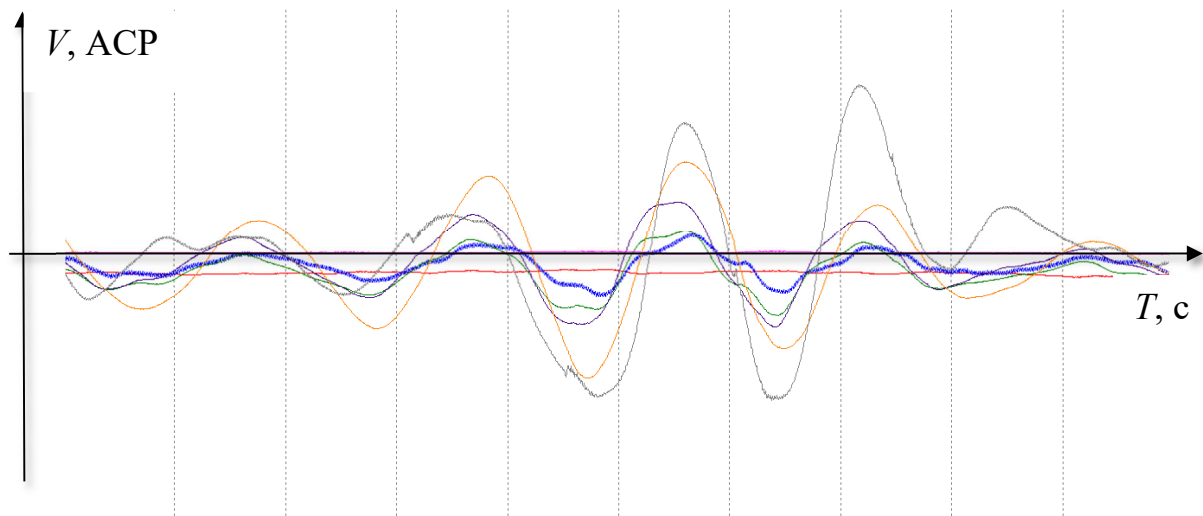


Рис. 3. Велосіограма на рівні покриття

Отриману величину періодів коливань 1,63 с далі необхідно зіставити з чисельної моделлю. Другу – поступальну і третю – крутильну форми власних коливань отримати не вдалося.

Під час випробувань, проведених 5 серпня і 31 серпня 2015 року, було відзначено незначне збільшення періоду коливань, яке не перевищило 0,02 с. Збільшення періодів обумовлено тим, що за проміжок часу з 15 червня було виконано бетонування елементів машинного приміщення ліфтів і вертикальних елементів надбудови виходу на покрівлю, що призвело до незначного збільшення мас.

Основні рекомендації з проведення інженерно-сейсмометричних спостережень за будівлями. За результатами проведених натурних досліджень можна зробити таке узагальнення. Ненесуче стінове заповнення (далі НСЗ) істотно впливає на періоди коливань будівель. Тому при будівництві об'єкта необхідно проводити моніторинг його основних динамічних характеристик, а інформацію акумулювати в інформаційній моделі.

Метод збудження коливань не має значення при визначенні періодів власних коливань. У межах описаних та інших натурних досліджень метод збудження коливань впливав тільки на величину амплітуди, період коливань залишався без змін. Тільки в одному випадку для будівлі без стінового заповнення вдалося викликати другу (крутильно-поступальну) форму власних коливань. В усіх інших випадках для будівель зі зведенням ненесучого заповнення незалежно від методу збудження коливань і напрямків виконаних ударів вдавалося збуджувати лише першу форму власних коливань.

При аналізі форм коливань пропонується не менше двох варіантів розташування датчиків:

1. На покритті (або на верхньому перекритті в разі проведення випробувань під час будівництва).

2. На різних рівнях по висоті (бажано не менше трьох).

Результати лабораторних досліджень матеріалів для заповнення деформаційних швів. На дослідних зразках вивчали вплив заповнення антисейсмічних швів між елементами каркаса й ненесучими стінами. Аналіз результатів виявив, що при поступовому навантаженні мінеральна вата витримувала 18 кН, після чого при візуальному огляді цей зразок був повністю зруйнований і не повернув своєї первісної форми після розвантаження.

Аналіз деформацій мінеральної вати при малоциклового навантаженні також свідчить про виключення заповнення з роботи після перших двох циклів.

Поведінка стінових панелей з урахуванням заповнення деформаційних швів при горизонтальних діях. Для визначення характеру роботи кладки з газобетонних блоків під дією горизонтального зосередженого статичного навантаження при напруженому стані (оцінювання прогресуючого тріщиноутворення, несучої здатності при монотонному й циклічному навантаженні) виконано випробування чотирьох однакових фрагментів із розмірами 1200×1200×100 мм. Випробування проводили у два етапи. Перший етап охоплював навантаження двох стінових панелей горизонтальним статичним навантаженням. На другому здійснювали для двох стінових панелей знакозмінне малоциклове навантаження.

Для першого етапу фрагменти кладки було випробувано на спеціальному стенді при монотонному ступінчастому навантаженні (по 10 кН) до руйнівного навантаження – $R_{руйн} = 32$ кН.

Навантаження на дослідні зразки прикладали домкратом з його одностороннім розташуванням з правого боку.

Після прикладання кожного ступеня горизонтального навантаження дослідні зразки витримували під цим навантаженням протягом 10 хвилин. Під час витримки під навантаженням виконували огляд елементів дослідних зразків з фіксацією в журналі випробувань величини навантаження, показань індикаторів, наявності тріщин і ширини їх розкриття, а також фотографували.

Безпосередньо за показаннями приладів, встановлених на дослідних фрагментах, визначали горизонтальні переміщення. Також заміряли ширину розкриття тріщин у газобетонних блоках (рис. 4).

За результатами першого етапу випробувань побудовано графік залежності «навантаження – деформація», який характеризує горизонтальні переміщення дослідних зразків при зростанні горизонтальних навантажень. Результати випробувань стали основою для побудови залежностей «навантаження – горизонтальне переміщення верху фрагмента» (рис. 5).

Якщо за першого ступеня, який відповідає роботі ненесучого стінового заповнення у зведених будівлях, розподіл деформацій був рівномірний, то на останньому, після викришування матеріалу заповнення швів, спостерігалися суттєві нерівномірності.



Рис. 4. Руйнування стінової панелі

Дія горизонтального малоциклового зосередженого знакозмінного навантаження. Після оброблення отриманих результатів випробувань газобетонних блоків можна стверджувати, що горизонтальне навантаження, яке відповідає початку появи тріщин по всій площині панелі, дорівнює 20 кН. Отже, потрібно мати на увазі вплив крихкого характеру руйнування газобетонних блоків на зниження міцності кладки при знакозмінних навантаженнях типу сейсмічних.

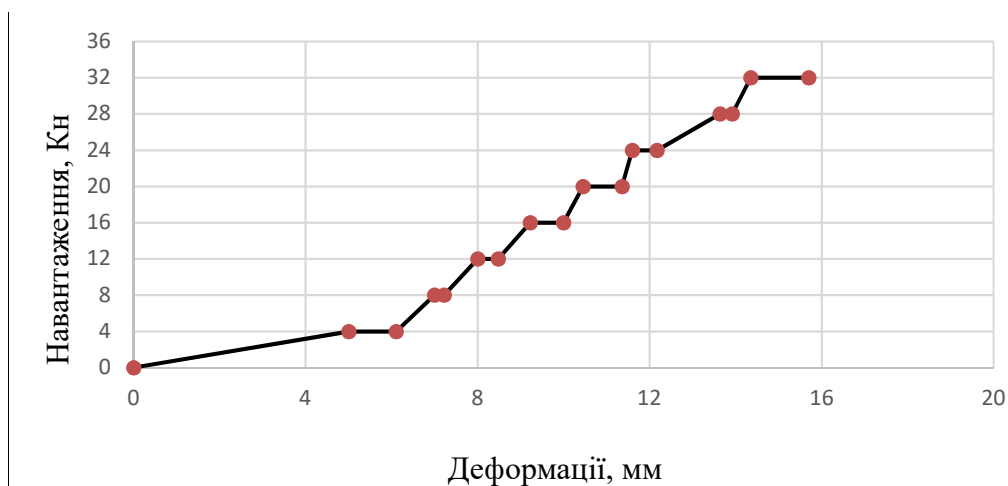


Рис. 5. Діаграма залежності між навантаженням та горизонтальним переміщенням стінової панелі

Аналізуючи результати експериментальних випробувань, можна побачити, що фрагменти сприймають горизонтальні сили до 40 кН при деформаціях до 13 мм (рис. 6). Виходячи з проведених випробувань для будівель, розташованих на Французькому бульварі, 22 і вулиці Дюківській, 5 в м. Одесі, а також наявної проєктної документації, було розроблено розрахункові моделі.

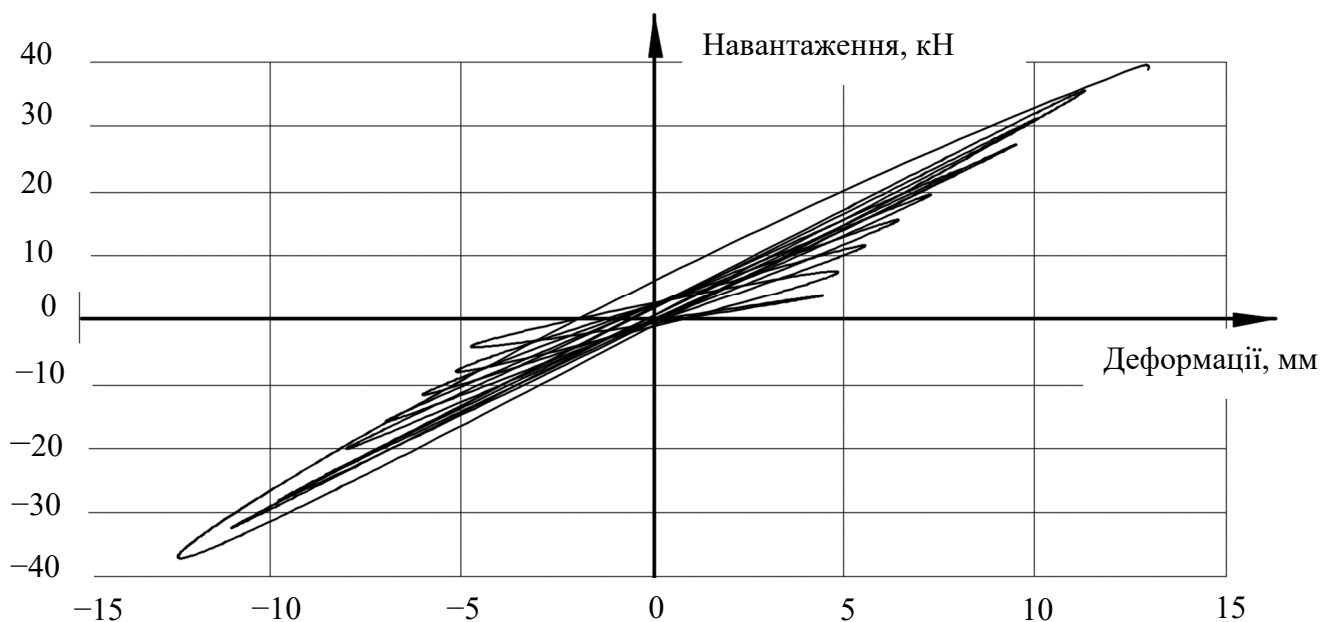


Рис. 6. Графік залежності «навантаження – деформації»

Чисельні дослідження. Отримані величини періодів коливань свідчать про значне перевищення порівняно з періодами, визначеними в результаті випробувань. З огляду на те, що цю модель отримано шляхом модифікації основної розрахункової моделі будівлі, в якій не враховується навантаження від зовнішнього стінового заповнення, було розроблено ще одну модель. Для другої модифікації моделі зі схеми було виключено навантаження від конструкції підлоги й корисне навантаження. В результаті відбулося зменшення періодів коливань, зокрема першої форми власних коливань на 26,9%.

Отже, очевидним є здійснення ще однієї модифікації розрахункової схеми, за якої в роботі будівлі враховується вплив несучого стінового заповнення.

Адаптація розрахункової моделі з урахуванням впливу поетапного зведення стінового заповнення. Як уже було визначено, для низки описаних будівель несуче стінове заповнення істотно впливає на період першої форми власних коливань. Цей ефект було виявлено у результаті низки випробувань будівель, виконаних під час будівництва. Однак було неможливо виявити вплив стінового заповнення на будівлю загалом у зв'язку з тим, що зведення каркаса й заповнення велися паралельно й роботи з бетонування каркаса на кілька поверхів випереджали роботи зі зведення стінового заповнення.

На будівлі, що зводилася по вулиці Середній, 24, цей ефект вдалося виявити та проаналізувати повною мірою завдяки тому, що спочатку було виконано каркас на всю висоту, а потім – роботи зі зведення заповнення.

Натурні випробування. Випробування проводили в три етапи:

1. 26–28 серпня 2015 року: 100% зведений монолітний залізобетонний каркас; стінове заповнення частково виконано на першому поверсі; період першої форми склав 1,68 с.

2. 1–3 березня 2016 року: 100% зведений монолітний каркас; стінове заповнення виконано на 70%; період першої форми склав 1,13 с.

3. 4–29 вересня 2016 року: 100% зведений монолітний каркас; стінове заповнення виконано на 100%.

Фотофіксацію етапів показано на рис. 7.

Отже, за результатами проведених натурних випробувань періоди коливань склали 1,75; 1,15 і 1,05 с, відповідно, для 1, 2 і 3-го етапів.



Рис. 7. Три етапи зведення будівлі, на яких проводили випробування

На основі результатів випробувань будівлі, що супроводжували її будівництво, виявлено ступінь впливу ненесучого стінового заповнення на період переважаючих коливань (рис. 8).

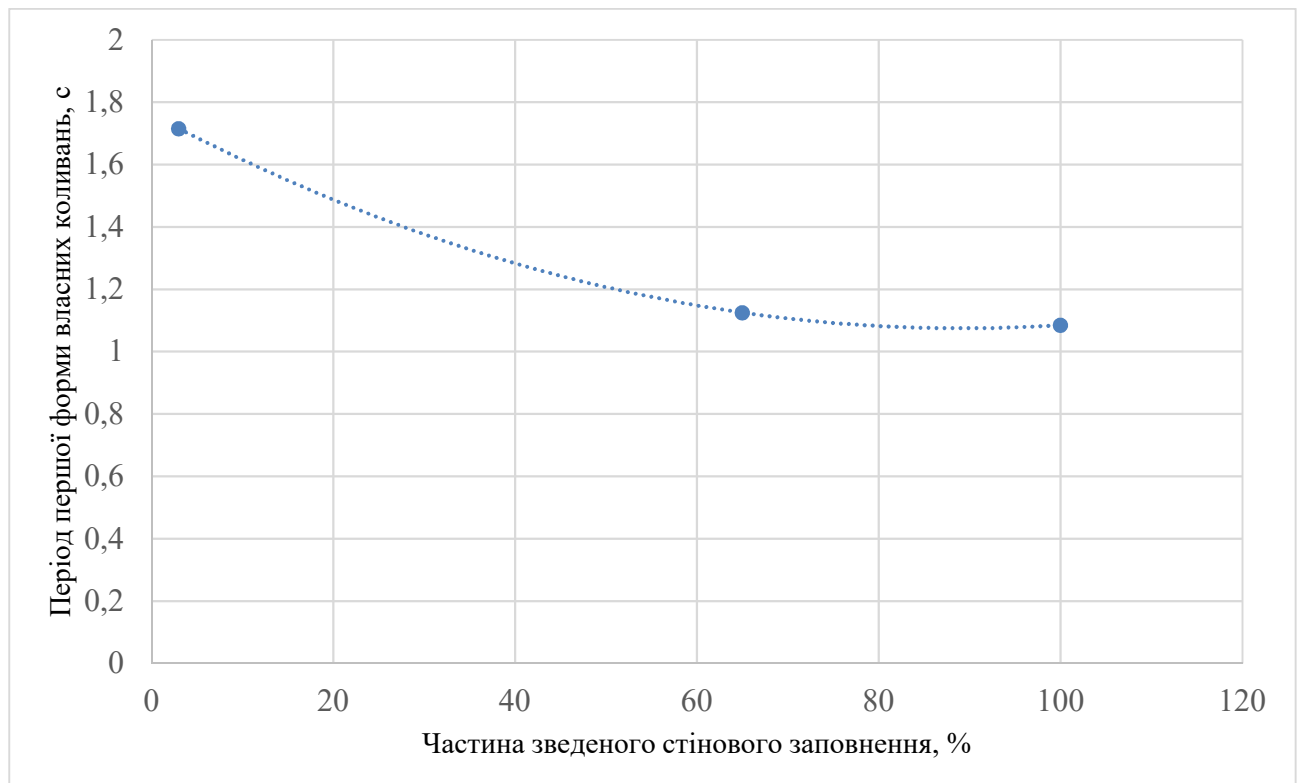


Рис. 8. Діаграма впливу стінового заповнення на період коливань

Для трьох етапів випробувань було розроблено відповідні розрахункові моделі з урахуванням впливу стінового заповнення, які підтвердили отримані при випробуваннях результати.

У **розділі 4** викладено розроблену методику паспортизації сейсмостійкості каркасних будівель (2-й рівень оцінювання сейсмостійкості).

Загальні положення про паспортизацію сейсмостійкості будівель. Чинний нормативний документ ДБН В.1.1-12:2014 регламентує необхідність виконання паспортизації сейсмостійкості після завершення будівництва, а також після обстеження та реконструкції. Однак не визначено процедуру паспортизації, її структуру, а також форму самого паспорта сейсмостійкості будівель, тому в цьому дослідженні розроблено структуру й методику паспортизації сейсмостійкості будівель.

Паспорт сейсмостійкості будівлі – документ, який містить систематизовану інформацію про її експериментальні та чисельні параметри, ступінь її відповідності чинним нормативним документам.

Структура паспорта сейсмостійкості. Виходячи із запропонованих у розділі 3 рівнів оцінювання сейсмостійкості, паспортизація є її 2-м рівнем. Тому обов'язковою складовою паспорта має бути форма ВОС відповідно до ОС-1 та інші попередні вихідні дані. У результаті аналізу світового досвіду у сфері оцінювання сейсмостійкості будівель визначено загальні складові її структури.

Якісна складова – це аналіз на предмет відповідності конкретним вимогам нормативних документів, таким як, наприклад, гранична поверховість, протяжність або розміри прорізів і величина консолі перекриття в цегляних будинках.

Кількісна складова визначається відповідно до результатів чисельного моделювання й польових випробувань.

Врахування дати проєктування й будівництва при паспортизації сейсмостійкості. При аналізі зарубіжних систем ВОС будівель було виявлено суттєвий вплив фактора, який враховує рік проєктування й будівництва споруди. Цей фактор зазвичай дає змогу судити про термін експлуатації будівлі, але для завдань паспортизації його значення полягає в тому, що можна визначити, відповідно до яких нормативних документів враховано вплив сейсмічного навантаження при проєктуванні й будівництві.

На перший погляд, такими ключовими датами для України можна назвати 1 лютого 2007 року (введення в дію ДБН В.1.1-12:2006) та 1 жовтня 2014 року (ДБН В.1.1-12:2014). Однак протягом ХХ століття, починаючи з 1937 року, нормативна база із сейсмостійкого будівництва сильно змінювалася в бік підвищення бальності окремих регіонів і збільшення як кількості нормованих параметрів, так і їх величин.

Отже, рік будівництва при зіставленні з чинними на момент будівництва нормативними документами дає змогу зробити висновок про ступінь прийнятих в проєкті початкових передумов і рішень. Практична цінність цієї частини роботи полягає в тому, що при збиранні інформації в межах

паспортизації за датою будівництва об'єкта можна зробити висновок, яким пунктам чинних нормативних документів він потенційно не відповідає.

Чисельне моделювання при паспортизації сейсмостійкості. За умов різноманіття програмних комплексів на ринку, а також різного ступеня деталізації, виходячи з якої розробляється розрахункова схема, важливим завданням є вироблення загальних вимог до самих моделей будівель. При цьому необхідно враховувати, що певна модель необхідна не тільки для одноразового визначення напружено-деформованого стану конструкцій на момент паспортизації, а буде базою для подальшого супроводу життєвого циклу об'єкта будівництва й коректуватися з урахуванням його змін.

Як зазначено вище, розрахункова схема будівлі має істотні відмінності від її реальних динамічних характеристик. До основних чинників, що визначають ці відмінності, належать ненесуче заповнення й фактичні величини мас, які відповідають діючим навантаженням.

Отже, під час розроблення розрахункових моделей будівель при визначенні їх сейсмостійкості необхідні дві розрахункові моделі, які описують два сценарії роботи будівлі (з урахуванням стінового заповнення та з розрахунковими величинами навантажень; без стінового заповнення та з фактичними величинами навантажень).

Модифікований нелінійний статичний метод розрахунку для оцінювання сейсмостійкості. Нині найбільш поширеним є спектральний метод, набуває популярності нелінійний статичний метод розрахунку. З огляду на те, що обидва методи пов'язані один з одним, в цьому розділі їх розглянуто разом.

Спектральний метод у тому вигляді, в якому він представлений в ДБН, є модифікацією запропонованого в СНиП II-7-81*. У зв'язку з тим, що досить часто фахівці, які проєктують за кордоном, заявляють про завищення значень сейсмічних сил, визначених за ДБН, на цьому етапі пропонується зіставити його з низкою зарубіжних нормативних документів, у яких він також реалізований. Тому було виконано порівняльний аналіз сейсмічних сил, визначених за різними нормативними документами, виходячи з таких передумов:

1. Враховано ґрунтові умови для майданчика з другою категорією за сейсмічними властивостями згідно з ДБН (відповідає категорії В згідно з «Eurocode»).

2. Замість абсолютної величини сейсмічної сили прийнято її відносну величину до маси будівлі.

3. Прийнято відносне прискорення ґрунту 0,1, що відповідає сейсмічності 7 балів.

4. За ДБН виконано два варіанти розрахунку для поверховості 5 і 10.

Сейсмічні сили, визначені за ДБН для 5-поверхового будинку, за періодами коливань більше на 15–80% вищі, ніж за «Eurocode 8». У зоні максимальних сейсмічних сил різниця між ДБН та «Eurocode 8» незначна.

Отже, виявлено суттєве завищення сейсмічних навантажень за рахунок коефіцієнта, що враховує вплив поверховості. Відхід від цього впливу може

бути виконаний або за рахунок проєктування за «Eurocode 8», або за рахунок аналізу його фізичного сенсу й безпосереднього врахування.

Аналіз історії цього коефіцієнта в ДБН В.1.1-12 виявив, що він з'явився в СНиП II-7-81, де позначався як k_2 і враховував конструктивні рішення будівель. Для каркасних будинків з числом поверхів вище п'яти він враховував вплив поверховості. У своїх роботах С. В. Поляков, один з авторів СНиП, описував фізичний зміст цього коефіцієнта так: « k_2 – коефіцієнт, що враховує особливості конструктивного рішення будівлі. Коефіцієнт k_2 передбачає збільшення запасів несучої здатності конструкцій будівель зі зростанням їх поверхів вище п'яти. Цим враховується, що зі зростанням вертикальних навантажень, які є наслідком збільшення числа поверхів, підвищується небезпека крихкого руйнування конструкцій. Це особливо важливо при малих величинах β , перевищення яких в реальних умовах може бути відносно більшим, ніж на ділянці графіка β , де його величина досягає рівня $\beta_{\max}$. Підвищення запасів несучої здатності передбачається і для будівель з гнучким першим поверхом, руйнування яких часто характеризується повним обвалом споруди». Далі автор говорить про те, що конструкції першого поверху бажано робити із залізобетону і що підвищення запасів несучої здатності передбачається за рахунок застосування віброваної кладки цегляних блоків або панелей.

Отже, в монолітних будівлях при неможливості крихкого руйнування, виключення можливості утворення гнучкого першого поверху необхідність у врахуванні коефіцієнта k_3 відпадає. Окремо варто сказати про запаси, необхідні для ділянки великих періодів на графіку β : при трансформації цього графіка для переходу на ДБН В.1.1.12:2006 зону максимальних значень β було істотно збільшено. Однак важливим аспектом коефіцієнта, що описує вплив поверховості, є врахування гнучкості багатопверхових будівель, яку можна змодельовати шляхом врахування вищих форм коливань.

З огляду на нормативну ситуацію, що склалася, пропонується в розрахунку за спектральним методом при визначенні сейсмічних сил і підборі перетинів бетону та арматури коефіцієнт k_3 враховувати. Однак в розрахунку за нелінійним статичним методом, аналізуючи можливість крихкого руйнування й враховуючи вплив вищих форм, впливом коефіцієнта k_3 слід знехтувати. Урахуванням впливу вищих форм коливань вирішується завдання підвищення кількості модальних мас, що розглядаються. Ця проблема особливо актуальна для будівель, у яких за першою формою внесок модальних мас може становити менше 50%.

Врахування впливу вищих форм при розрахунку за нелінійним статичним методом. Вплив вищих форм має врахувати синергізм і антагонізм форм, які можуть проявлятися завдяки їх синфазі й протифазі.

На рисунку 9 графічно зображено узагальнену форму для двомасової системи, за якої враховуються основна (перша) і вища (друга) форми власних коливань (під узагальненою формою коливань мається на увазі деформована форма будівлі, за якої відбувається одночасне деформування за основною й

однією вищою формами коливань. Такий ефект спостерігається при загасаючому процесі в момент переходу однієї форми в іншу).

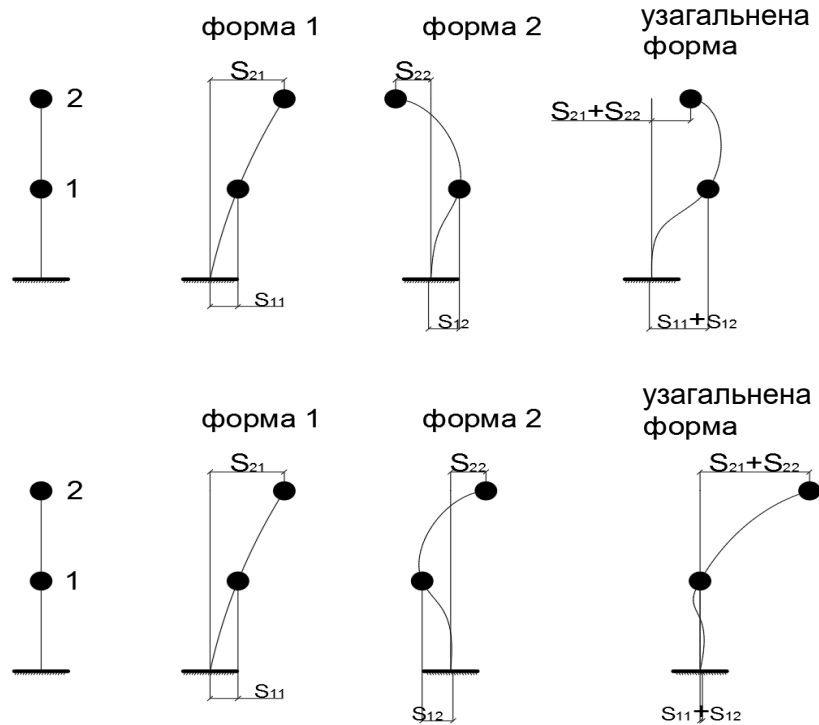


Рис. 9. Узагальнені форми коливань для двомасової системи

Для врахування описаного ефекту пропонується провести модифікацію додатка Г до ДБН В.1.1-12:2014 таким чином:

$$S_{aj+l} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_{ij+l}^2}{\left(\sum_{i=1}^n m_i d_{ij+l}\right)^2} \sum_{i=1}^n S_{ij+l}; \quad (2)$$

$$S_{dj+l} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_{ij+l}^2}{\sum_{i=1}^n m_i d_{ij+l}} \sum_{i=1}^n S_{aj+l}, \quad (3)$$

де m_i – маса, зосереджена на i -му рівні (поверсі) розрахункової моделі; d_{ij+l} – горизонтальне переміщення i -го рівня (поверху) розрахункової моделі за дії інерційних навантажень S_{ij+l} за основною формою j та однією вищою формою l ;

$$S_{ij+l} = \pm |S_{ij} \pm S_{il}|, \quad (4)$$

де S_{ij+l} – інерційне навантаження i -го рівня за основною формою j та однією вищою формою l .

Врахування більше ніж однієї вищої форми недоцільне, оскільки одночасна реалізація максимумів за трьома формами маловірогідна.

Для висновку про несучу здатність будівлі на цьому етапі пропонується обмежитися аналізом спектра несучої здатності за умови сприйняття розрахунковою схемою 100% сейсмічного впливу. Надалі для уточнення

редукуючого коефіцієнта та побудови графіка вимоги слід виконувати розрахунок, виходячи з меншого для двох форм значення коефіцієнта μ .

Отже, розв'язання задачі врахування вищих форм при нелінійному статичному методі розрахунку дає змогу обґрунтовано відійти від врахування коефіцієнта k_3 , який опосередковано враховує цей ефект.

Запропонована процедура, з одного боку, ускладнює процес розрахунку: замість одного нелінійного статичного розрахунку необхідно виконати чотири, однак, з іншого боку, з'являється можливість враховувати вплив вищих форм у явному виді, а врахування можливості виникнення крихкого руйнування здійснюється шляхом аналізу розрахункової схеми на предмет виникнення прогресуючого руйнування.

Діагностична кількісна складова паспорта сейсмостійкості будівель. Відповідно до методики, запропонованої в розділі 3, й результатів натурних випробувань, описаних у розділі 4, було виявлено низку особливостей, які необхідно враховувати при натурних випробуваннях будівель.

Під час вібровипробування будівель навантаженнями малої інтенсивності визначають два основних параметри:

- 1) періоди / частоти основних форм коливань;
- 2) форми коливань.

При повторних випробуваннях необхідно відстежувати зміни цих обох параметрів. Причиною для детальної паспортизації при повторних вібровипробуваннях може слугувати виявлення зміни власної частоти на 5% і більше.

У **розділі 5** висвітлено дослідження ВОС будівель (1-й рівень оцінювання сейсмостійкості). Виходячи з результатів натурних та лабораторних експериментів, виконаних у розділі 4, для подальшого розроблення системи ВОС з урахуванням цього фактора необхідно виконати чисельне дослідження впливу ненесучого заповнення на сейсмостійкість будівлі. Вплив НСЗ насамперед досліджено на будівлі з безригельним каркасом.

Врахування ненесучого стінового заповнення при чисельному моделюванні. З метою вивчення поведінки різних нерегулярностей форми будівель в плані при сейсмічних впливах було проаналізовано геометричні форми плану будівлі, найбільш поширені в Україні та за кордоном (рис. 10).

Величина нелінійного перекосу поверху є ключовим параметром для оцінювання сейсмостійкості будівлі за заданого рівня впливу. Досягнення граничного перекосу поверху за певного рівня впливу може бути використано як критерій оцінювання впливу ненесучого стінового заповнення будівель з безригельним каркасом при сейсмічних впливах. Розрахунки проводили з використанням аналізів величин несучої здатності, отриманих у програмному комплексі «ЛІРА САПР-2019».

Результати розрахунку без урахування ненесучого заповнення продемонстрували, що будівлі всіх форм сприймають 50% від 7-бального впливу при гранично допустимому перекосі та 75% – перед руйнуванням.

Виходячи з того, що, незалежно від форми будівлі в плані, форми коливань є поступальними, величина сейсмічного впливу, що сприймається, однакова для всіх форм у плані.

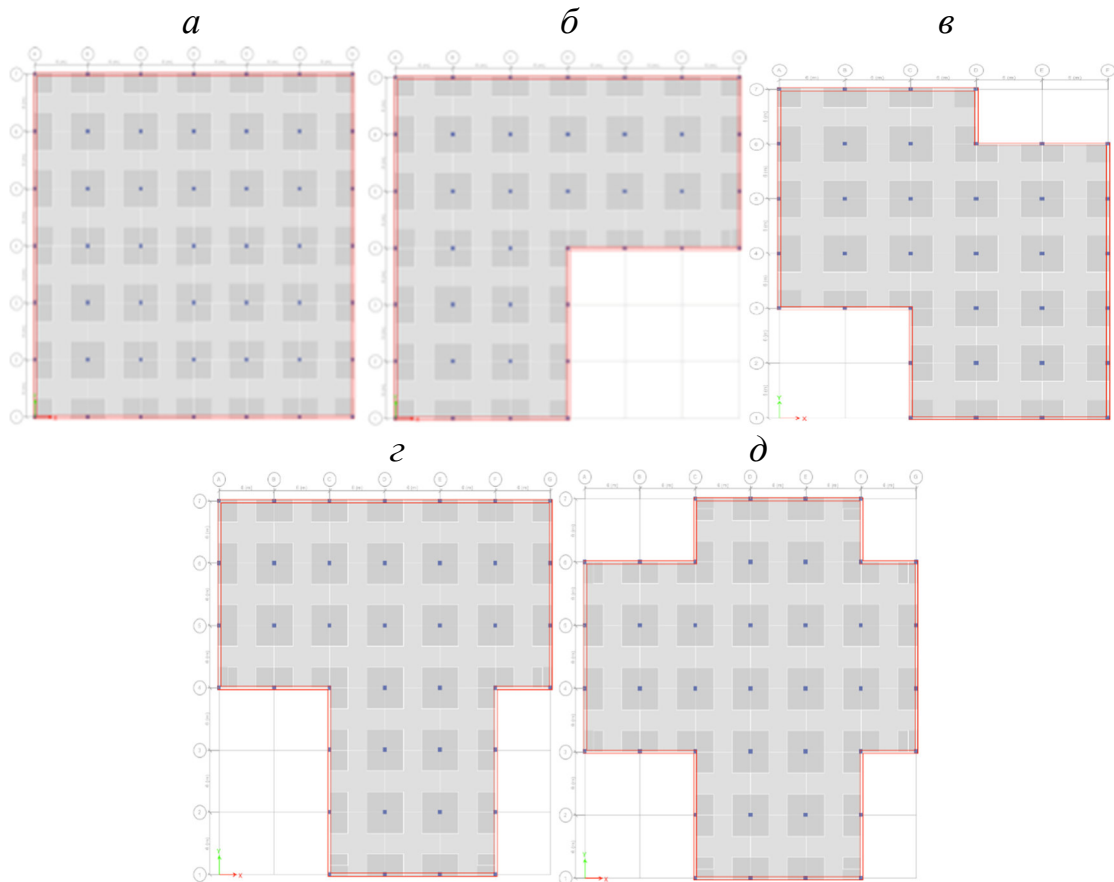


Рис. 10. Схеми нерегулярностей форми будівель в плані:
а – F-0 – квадратна форма; *б* – F-3 – L-форма; *в* – F-6 – форма цифри 4;
г – F-4 – T-форма; *д* – F-5 – + форма

Нелінійний розрахунок будівель з урахуванням НСЗ. НСЗ істотно впливає на сейсмостійкість будівель як на рівні гранично допустимих перекосів (рис. 11), так і на рівні перекосів, що передують обваленню (рис. 12). Окремо варто звернути увагу на форму F-3, для якої НСЗ чинить руйнівний вплив на рівні першого поверху.

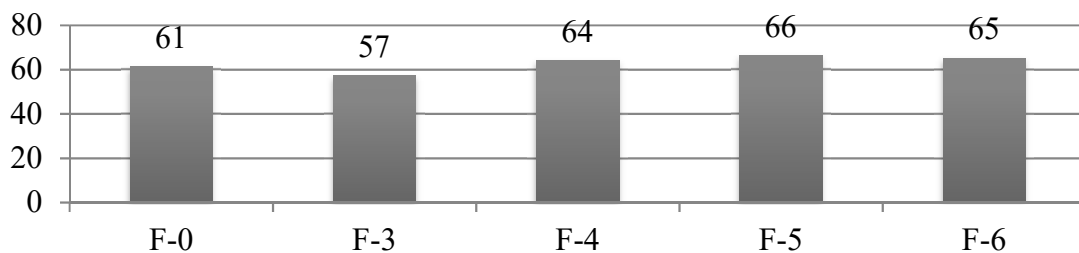


Рис. 11. Частина 7-бального сейсмічного впливу, що сприймає система при гранично допустимому перекосі з урахуванням НСЗ (у відсотках)

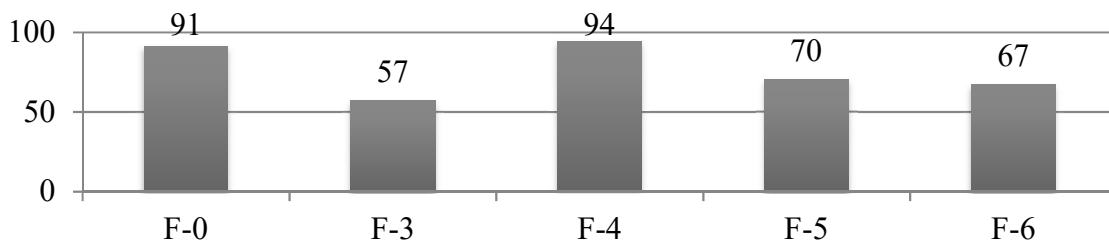


Рис. 12. Частина 7-бального сейсмічного впливу, що сприймає система перед руйнуванням з урахуванням НСЗ (у відсотках)

Нелінійний розрахунок будівель при нерегулярному заповненні, яке полягає у виключенні з роботи однієї грані НСЗ на всю висоту. Нерегулярність НСЗ істотно впливає на сейсмостійкість будівель і на рівні гранично допустимих перекосів, і на рівні граничних перекосів, що передують обваленню. Окремо варто згадати форму F-3, для якої виключення однієї стіни НСЗ діє сприятливо завдяки тому, що перевантажена раніше колона не отримує деформацій від НСЗ.

Нелінійний розрахунок будівель при нерегулярному заповненні, яке полягає у виключенні з роботи однієї грані НСЗ на рівні першого поверху. Існує безліч можливих конфігурацій гнучких поверхів у будинку. Однак це дослідження обмежене гнучкими поверхами, розташованими на першому поверсі, оскільки це найбільш поширений випадок. Гнучкі поверхи створювали шляхом видалення однієї стіни першого поверху, як це робиться на практиці в приміщеннях цивільного призначення на перших поверхах житлових будівель.

Аналіз результатів моделювання гнучкого поверху свідчить, що основною причиною його більшої сприйнятливості до землетрусів є локалізація сейсмічних сил. Сили зосереджуються в тому сегменті будівлі, де спостерігається зниження жорсткості, тобто в місці розташування гнучкого поверху. Це можна спостерігати при утворенні пластичних шарнірів, що демонструють локалізацію сейсмічного навантаження.

Аналіз ступеня впливу нерегулярності будівлі по висоті. Дослідження представлено у вигляді ефекту впливу зміни плану на сейсмостійкість будівлі. 109 моделей різної форми було розраховано з використанням програмного комплексу «ETABS 2016».

Класифікація параметрів форми містить розміри й загальне співвідношення сторін, форму плану, відсоток об'ємного вирізу й ексцентриситет між центрами жорсткості основної і відсіченої частин.

$$V_p = \frac{(c \cdot d \cdot h_{\text{эт}})}{(a \cdot b \cdot h_{\text{зд}})} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де V_p – параметр, пов'язаний із загальними пропорціями перекриття, висоти поверху й усієї будівлі, а також зменшенням об'єму, «відрізаного» ($c \times d \times h$) від основної прямокутної моделі будівлі ($a \times b \times h$), що покриває усю ділянку плану.

Для заданого набору значень зміна V_p має різні форми плану, розташування вирізів, отже, додатково необхідно враховувати ексцентриситет між центрами жорсткості відсіченої частини і центром будівлі. Простежується тенденція впливу параметрів вирізу й ексцентриситету на сейсмостійкість будівлі (як критерій для неї було обрано граничну горизонтальну зсувну силу): від 0,69 до 50% – для параметрів вирізу і від 0 до 15 м – для ексцентриситету. Проведені чисельні дослідження дають змогу судити про принципову важливість регулярності будівлі по висоті. Врахування всіх можливих видів нерегулярностей по висоті значно ускладнить систему ВОС. Щоб не відхилятися від обраної філософії якісної системи критеріїв, запропонованої в розділі 2, і спиратись на результати виконаних чисельних досліджень, слід вважати нерегулярність по висоті окремим критичним критерієм, кількісний вплив якого уточнюється за допомогою чисельного аналізу в межах 2-го рівня оцінювання сейсмостійкості (паспортизації).

Вплив складних інженерно-геологічних умов. З огляду на їх різноманіття, а іноді й спільну дію (наприклад, суфозія і зсув), дослідження їх впливу як кількісного фактора є недоцільним. Тому пропонується складні інженерно-геологічні умови для 1-го рівня оцінювання сейсмостійкості винести в розряд критичних чинників (у разі виявлення яких необхідне проведення 2-го рівня оцінювання сейсмостійкості). Відповідно, як вихідні дані для оцінювання сейсмостійкості 1-го рівня потрібні дані про наявність і параметри складних інженерно-геологічних умов. Наявність складних інженерно-геологічних умов на майданчиках для системи ВОС пропонується враховувати як критичні чинники, а надалі відповідно до 2-го рівня здійснювати оцінювання їх впливу більш детально із застосуванням чисельного моделювання й додаткових інженерно-геологічних досліджень.

Нерегулярне розташування НСЗ. Це може призводити до негативних наслідків не тільки для самого нерегулярно розташованого елемента, а й для всієї конструктивної схеми загалом.

За результатами виконаного аналізу наслідків землетрусів можна зробити висновок, що нерегулярне розташування несучого стінового заповнення впливає на сейсмостійкість каркасних будівель. Узагальнюючи проаналізовані наслідки, можна визначити такі основні варіанти нерегулярності стінового заповнення, які мають істотний вплив:

1. Нерегулярне розташування стінового заповнення в межах окремого прольоту.
2. Нерегулярне розташування стінового заповнення на типових поверхах.
3. Нерегулярне розташування стінового заповнення в межах окремого / першого поверху.
4. Нерегулярне стінове заповнення, що призводить до руйнування залізобетонного каркаса за типом «ефект коротких колон».
5. Нерегулярне розташування стінового заповнення в межах окремого / першого поверху, що призводить до руйнування залізобетонного каркаса за типом гнучкого поверху.

Отже, неврахування впливу стінового заповнення на просторову роботу будівлі може призвести до характерних сценаріїв пошкодження несучих конструкцій будівель аж до їх повного руйнування і має враховуватися при ВОС.

Форма ВОС будівель з безригельним каркасом з діафрагмами та ядрами жорсткості. Ця конструктивна система отримала більш широке застосування порівняно з безригельним каркасом без діафрагм завдяки суттєвій різниці в обмеженні поверховості – 12 замість 4 (для каркаса без діафрагм). З урахуванням значного поширення наукового супроводу експериментального будівництва поверховість такої конструктивної схеми досягає 20 і більше поверхів у зонах із 7-бальною сейсмічністю. В межах виконаних додаткових розрахунків було з'ясовано, що в будівлях з безригельним каркасом з діафрагмами та ядрами жорсткості ненесуче заповнення чинить менший вплив, ніж у будівлях з безригельним каркасом, – приблизно 20–30%. Однак характер впливу є аналогічним, тому розроблену форму на цьому етапі становлення ВОС можна використовувати і для будівель з діафрагмами та ядрами жорсткості.

Розділ 6 присвячено апробації методики оцінювання сейсмостійкості. Апробацію було виконано в три етапи: на житловій будівлі (СС2) – 1-й рівень оцінювання сейсмостійкості; на 10-секційному 12-поверховому житловому комплексі (СС3) – 1–2-й рівні; на будівлі Одеського морвокзалу (СС3) – 3-й рівень.

Апробація 1-го рівня оцінювання сейсмостійкості на житловій будівлі. За результатами візуального оцінювання об'єкт визнано потенційно несейсмостійким з трьох основних причин: нерегулярне розташування стінового заповнення в межах окремого другого і вищих поверхів (рис. 13); нерегулярне розташування стінового заповнення в межах першого поверху; нерегулярне розташування стінового заповнення в межах окремого першого поверху, що призводить до руйнування залізобетонного каркаса за типом гнучкого поверху.



Рис. 13. Фотофіксація при виконанні ОС-1

За результатами 1-го рівня оцінювання сейсмостійкості визначено необхідність у проведенні паспортизації (2-й рівень)

При апробації 1 і 2-го рівнів оцінювання сейсмостійкості на комплексі житлових будівель в Одеській області по вулиці Шкільній, 35, 37 визначено на 1-му рівні, що об'єкт є потенційно сейсмостійким, окрім секцій № 3, 5, 9, які мають L-подібну форму в плані. Секції № 3, 5, 9 потребують першочергового проведення паспортизації (2-й рівень оцінювання сейсмостійкості).

Оцінювання фактичної сейсмостійкості 2-го рівня. У зв'язку з тим, що секції № 3, 5, 9 мають ідентичні конструктивні рішення та планування, що незначно відрізняються, висновок щодо сейсмостійкості усіх трьох секцій слід готувати на основі детального аналізу секції № 9.

За результатами паспортизації будівлю визнано сейсмостійкою. Необхідності в застосуванні оцінювання сейсмостійкості 3-го рівня немає.

Апробація 3-го рівня оцінювання сейсмостійкості на будівлі Одеського морвокзалу. Це дослідження проведено в межах робіт з реконструкції об'єктів пасажирського комплексу ОФ ДП «АМПУ» з облаштуванням фасаду будівлі Морського вокзалу за безпосередньої участі здобувача.

Оцінювання сейсмостійкості 3-го рівня здійснено на основі індивідуально розробленої програми. Для цього об'єкта також було розроблено таку програму:

1. Аналіз архівної документації.
2. Інженерно-геологічні вишукування.
3. Технічний висновок про стан несучих конструкцій.
4. Виконання розрахунків за спектральним методом.
5. Розрахунок на прогресуюче обвалення.
6. Виконання розрахунків за нелінійним статичним методом.
7. Проведення інженерно-сейсмометричних досліджень.
8. Підготовка висновків і рекомендацій.

У результаті виконаного аналізу й проведених розрахунків було зроблено такі висновки:

1. Сприйняти сейсмічну дію за величиною перекосів, що відповідає рівню 7 балів, може лише права секція, а ліва за величинами перекосів може сприйняти вплив лише 6-бального землетрусу. При цьому максимальне горизонтальне переміщення лівої секції навіть при 6-бальному землетрусі – 59 мм, що перевищує величину деформаційного шва.

2. Зіставлення застосованого в проєкті армування з вибраним у результаті розрахунку на землетрус в 6 балів виявило, що в окремих елементах перетин є недостатнім для сприйняття діючих навантажень. Отже, відповідно до застосованого в проєкті армування сейсмостійкість конструкцій будівлі Одеського морського вокзалу – приблизно 6 балів.

3. Очевидною є відсутність доцільності подальших робіт з оцінювання сейсмостійкості.

Отже, за результатами виконаних досліджень виявлено значний дефіцит сейсмостійкості, проведення додаткових досліджень відповідно до пунктів 5–7 на цьому етапі є недоцільним. Встановлення конструкцій кінематичного

фасаду пропонується виконати відокремлено, щоб виключити вплив на будівлю морського вокзалу (рис. 14).



Рис. 14. Зальний вигляд будівлі морвокзалу:
а – до реконструкції; б – після реконструкції

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено єдину трирівневу МОС, яка дає змогу поетапно визначати рівень сейсмостійкості відповідно до обсягу наявної інформації. За допомогою 1-го рівня – візуального оцінювання – за короткий проміжок часу можна повністю обстежити райони населених пунктів. Відповідно до 2-го рівня необхідно виконувати паспортизацію для нових будівель та будівель, визнаних потенційно несейсмостійкими за результатами 1-го рівня оцінювання сейсмостійкості. Третій рівень передбачає проведення оцінювання унікальних та особливо відповідальних будівель і споруд.

1. На основі вивченого світового досвіду, який свідчить про широке застосування систем для оцінювання сейсмостійкості будівель, виявлено необхідність розроблення методології для створення української системи оцінювання сейсмостійкості з урахуванням національних особливостей нормативної бази та стану будівельної галузі.

2. Розроблено трирівневу методологію оцінювання сейсмостійкості з урахуванням теорії інформації, що дозволяє деференційовано, в залежності від мети оцінювання, виділяти мінімально необхідний обсяг вихідних даних для формування висновку про ступінь сейсмостійкості. Запропоновано послідовність розроблення та реалізації оцінювання сейсмостійкості. Обґрунтовано критерії для кожного рівня.

3. У результаті вирішення низки завдань з аналізу фактичної сейсмостійкості запропоновано структуру 3-го рівня оцінювання сейсмостійкості, яка в кожному конкретному випадку може адаптуватися спеціалізованою організацією, яка виконує дослідження. На підставі виконаних натурних і лабораторних досліджень розроблено підходи до проведення вібродіагностики й моніторингу об'єктів будівництва з метою виявлення їх сейсмостійкості. Обґрунтовано необхідність врахування впливу ненесучого стінового заповнення на сейсмостійкість об'єкта, який може сягати 40%.

4. У результаті випробувань фрагментів стінового заповнення з урахуванням трьох видів деформаційних швів виявлено його значну жорсткість і несучу здатність, а також недостатню ефективність деформаційних швів, що необхідно враховувати при розробленні розрахункових схем. Найгіршим з розглянутих заповнювачів деформаційних швів є мінеральна вата, яка втрачає свої пружні властивості після першого циклу навантаження, пінополістірол та вілатерм значно краще сприймають малоциклові навантаження.

5. Розроблено форму й структуру паспорта сейсмостійкості, що містить методи інженерної сейсмометрії, чисельні методи та аналіз відповідності конкретним вимогам нормативних документів. Удосконалено нелінійний статичний метод розрахунку з урахуванням впливу вищих форм коливань, що дає змогу безпосередньо враховувати одночасне виникнення двох форм коливань та обґрунтовано відмовлятися від врахування коефіцієнта k_3 при пушвер-аналізі.

6. Розроблено методику ВОС з урахуванням впливу нерегулярності розташування ненесучого стінового заповнення. Бланк для ВОС розроблено таким чином, що його можна використовувати для оцінювання наслідків сейсмічних впливів, щоб надалі мати змогу модернізувати систему оцінювання сейсмостійкості.

7. Розроблену методологію ОС апробовано на низці будівель в Одесі й Одеській області, продемонстровано її ефективність як для масового оцінювання сейсмостійкості звичайної забудови, так і унікальних об'єктів.

8. Розроблена МОС реалізована для каркасних будівель та може бути запропонована для реалізації в інших конструктивних схемах.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації
Частина колективної монографії

1. Iegupov K. V., Murashko O. V. Scientific and practical activities of Odessa school of earthquake engineering in improving the assessment of seismic risk. *Development of Scientific Schools of Odessa National Maritime University* : collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2020. P.186–207.

Статті в наукових фахових виданнях України

2. Мурашко А. В. Влияние лестничных маршей и междуэтажных площадок на период первой формы собственных колебаний и амплитуду перемещений многоэтажных зданий с безригельным каркасом. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. № 34. С. 35–40.

3. Мурашко А. В. Оперативная методика расчета зданий на опрокидывание от сейсмических воздействий. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. № 38. С. 464–467.

4. Мурашко А. В. Оптимизация работы диафрагм жесткости при сейсмических воздействиях. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 41. С. 192–196.
5. Дорофеев В. С., Егунов К. В., Мурашко А. В. К вопросу о расчете зданий на опрокидывание от сейсмических воздействий. *Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць*. Вип. 74. Кн. 2. Київ : НДІБК, 2011. С. 634–637.
6. Мурашко А. В., Арсирій А. Н. Оптимизация расположения диафрагм и ядер жесткости в сейсмостойком многоэтажном жилом доме. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 43. С. 218–224.
7. Мурашко А. В. К вопросу об оптимизации работы диафрагм жесткости при сейсмических воздействиях. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. № 44. С. 209–214.
8. Дорофеев В. С., Егунов К. В., Мурашко А. В. Сравнение каркасно-каменной и безригельной систем зданий при строительстве в сейсмических районах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 45. С. 72–78.
9. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Оценка влияния конфигурации на надежность зданий, которые возводятся в сейсмических районах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 46. С. 123–128.
10. Дорофеев В. С., Михайлов А. А., Мурашко А. В. Модель перекрытия при расчете каркасно-каменных зданий на сейсмические воздействия. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 47. С. 103–108.
11. Мурашко А. В. Расчетное сопровождение жизненного цикла объектов строительства. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 49. Ч. 1. С. 252–256.
12. Дорофеев В. С., Егунов К. В., Мурашко А. В. Оптимизация расположения железобетонных колонн в каркасно-каменных зданиях возводимых в сейсмических районах. *Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць*. Вип. 78. Кн. 1. Київ : НДІБК, 2013. С. 287–293.
13. Дорофеев В. С., Егунов К. В., Мурашко А. В. Расчетное обоснование расстановки железобетонных колонн в каркасно-каменных зданиях, возводимых в сейсмических районах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 50. С. 79–83.
14. Мурашко О. В., Безушко Д. І., Арсірій А. М. Визначення навантаження на причальну споруду від дії вітру на порталний кран з використанням методу скінчених елементів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 51. С. 19–23.
15. Структура и этапы динамической паспортизации зданий / А. В. Мурашко, К. В. Егунов, Д. И. Безушко, О. В. Адамов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 52. С. 95–99.

16. Сравнительный анализ методов испытаний динамическими нагрузками / А. В. Мурашко, В. Н. Кобский, А. Н. Арсирый, Д. И. Безушко. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. № 53. С. 258–268.
17. Мурашко А. В., Гребенюк В. В. Влияние неравномерных осадок зданий на их сейсмостойкость. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. № 54. С. 251–256.
18. Дорофеев В. С., Мурашко А. В., Михайлова Н. А. Экспериментальные методы определения сейсмостойкости каркасно-каменных зданий. *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. 2014. № 18. С. 58–65.
19. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Критерии комплексной оценки сейсмостойкости зданий. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2014. Вип. 29. С. 139–144.
20. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Система оценки фактической сейсмостойкости зданий в свете действующей нормативной базы. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 56. С. 245–248.
21. Безушко Д.И., Мурашко А. В., Мироненко И.Н. Цунами в Черном и Азовском морях. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 57. С. 29–36.
22. Murashko O., Benradi I. Analysis of world experience in the field of rapid visual screen. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 58. С. 275–282.
23. Дорофеев В. С., Мурашко О. В., Михайлова Н. О. Аналіз наслідків землетрусів для каркасно-кам'яних будівель. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2015. Вип. 30. С. 460–470.
24. Дорофеев В. С., Мурашко А. В., Бенради И. Использование мирового опыта при определении факторов украинской системы визуальной оценки сейсмостойкости. *Будівельні конструкції*. 2015. Вип. 82. С. 118–124.
25. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Применение результатов оценки сейсмостойкости каркасных зданий для уменьшения количества пострадавших в результате землетрясения. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 64. С. 97–102. (Індексується базою «Index Copernicus»).
26. Ретроспективный анализ требований нормативных документов по сейсмостойкому строительству каркасных зданий / А. Мурашко, А. Губанов, К. Крючков, И. Бенради. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 65. С. 42–48. (Індексується базою «Index Copernicus»).
27. Мурашко А. В., Дорофеев В. С. Регулярность конструктивной схемы при оценке сейсмостойкости опор трубопроводов. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2016. Вип. 10. С. 86–91.
28. Сейсмостійкість будинків з безригельним каркасом при різній конфігурації за висотою / О. В. Мурашко, В. С. Дорофеев, О. С. Губанов,

І. І. Бенраді. *Наука та будівництво*. 2018. № 2. С. 25–31. (Індексується базою «Index Copernicus»)

29. Проблемы научного сопровождения проектирования зданий повышенной этажности в городе Одесса / В. С. Дорофеев, К. В. Егупов, А. В. Мурашко, Н. Н. Сорока. *Наука та будівництво*. 2019. № 1. С. 38–45. (Індексується базою «Index Copernicus»)

30. Заповнення деформаційних швів між каркасом та несучими стінами при стискуючому навантаженні / О. В. Мурашко, В. В. Шевченко, І. Бенраді та ін. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2019. Вип. 3 (87). С. 166–178.

31. Murashko O. V., Bernadi I., Abdelhadi M. Approval of the developed visual assessment of seismic resistance, taking into account the irregular wall infill *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 78. С. 34–40. (Індексується базою «Index Copernicus»).

Статті в наукових періодичних виданнях інших держав

32. Мурашко А. В., Гребенюк В. В. Железобетонные каркасные здания при неравномерных осадках основания. *Проблемы современного бетона и железобетона* : сб. науч. тр. Минск : РУП «Институт БелНИИС», 2014. С. 284–291.

33. Problem of non-conformity of computational model and results of vibration tests of multistory buildings with girderless construction / O. Murashko, V. Dorofeev, O. Mihailov et al. *“Ovidius” University Annals – Constantza*. Year XVII. Series: Civil Engineering. 2015. Issue 17. P. 55–60. (Індексується базами «Index Copernicus Journal Master List», «ProQuest», EBSCO).

34. Dorofeev V., Iegupov K., Murashko O. Structural Systems of Seismic Resistant Buildings in the Odessa Region of the Ukraine. *Quality, Mobility and Globalization in the Higher Education System: A Comparative Look at the Challenges of Academic Teaching*. Chapter 13. New York : NOVApublishers, 2016. P. 97–106. (Індексується базою «Scopus»).

35. Murashko O. Unified approach to estimation of seismic resistance of confined masonry buildings and reinforced concrete frame buildings with nonbearing infill. *International Journal of Research in Engineering & Technology [IJRET]*. Bangalore, India. Vol. 06. Issue 01. P. 69–73.

Наукові публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

36. Особенности проектирования и применения штукатурных составов для отделки автоклавного газобетона / В. А. Парута, О. П. Гнып, А. В. Мурашко и др. *Современный автоклавный газобетон* : сб. докладов науч.-практ. конф. / под ред. науч.-техн. совета Нац. ассоциации производителей автоклавного газобетона. Краснодар, 2013. С. 41–46.

37. Развитие системы оценки фактической сейсмостойкости зданий / В. С. Дорофеев, К. В. Егупов, А. В. Мурашко, А. Н. Арсирый. *Проблемы развития дорожно-транспортного и строительного комплексов* : сб. статей

и тезисов докладов междунар. науч.-практ. конф. Кировоград : КНТУ, 2013. С. 291–295.

38. Murashko O., Adamov O. A New Approach To The Dynamic Certification In Ukraine. *Proceedings of the 5th International Conference of Young Scientists "Geodesy, Architecture & Construction"* (2013, Lviv, Ukraine). P. 112–113.

39. Numerical modeling of multistory confined masonry structures in seismic regions of Ukraine / V. Dorofeev, K. Yegupov, O. Murashko, D. Bezushko. *Proceedings of the Eights International Conference on Material Technologies and Modeling*. Ariel, Israel. 2014. Issue 3. P. 72–81.

40. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Расчет зданий с безригельным каркасом на прогрессирующее обрушение после землетрясения. *Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров* : сб. науч. статей XIX Междун. науч.-метод. семинара (Брест, Беларусь) / БрГТУ ; редкол. : С. М. Семенюк [и др.]. Брест : БрГТУ, 2014. Ч. 1. С. 36–42.

41. A new approach to buildings seismic resistance assessment in Ukraine / V. Dorofeev, K. Yegupov, A. Murashko, O. Adamov. *Proceedings of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (2014, Istambul, Turkey). P. 138–143.

42. Seimological and Seismometric investigations In the Odessa region, Ukraine / V. Dorofeev, K. Iegupov, O. Murashko, V. Iegupov. *Proceedings of the International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (IZIIS-50)* (2015, Kiel, Copenhagen, Oslo, Goteborg) ID. 340.

43. Анализ эволюции требований нормативных документов по сейсмостойкому строительству каркасных зданий / А. В. Мурашко, В. С. Дорофеев, А. Губанов и др. *Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва* : зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф., присвяченої 90-річчю з дня народження проф. В. К. Єгупова. Одеса : ОДАБА, 2016. С. 76–77.

44. Murashko O. V., Benradi I. Seismic vulnerability of RC frame buildings with various plan shape with account for nonbearing infill walls. *Актуальні проблеми інженерної механіки* : зб. тез доповідей IV Міжнар. наук.-практ. конф. Одеса : ОДАБА, 2017. С. 207–209.

45. Фридбург Ю. Л., Мурашко О. В. Революційні зміни нормативної бази України та їх вплив на будівельну галузь. *Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси* : зб. тез доповідей II Наук.-практ. конф. Одеса. С. 48.

46. Проблемы научного сопровождения проектирования зданий повышенной этажности в городе Одесса / В. С. Дорофеев, К. В. Егупов, А. В. Мурашко, Н. Н. Сорока. *Будівництво в сейсмічних районах України* : зб. тез доп. XI Всеукр. наук.-техн. конф. Одеса : ОДАБА, 2018. С. 16–18.

47. Повышение сейсмостойкости кирпичных зданий старой застройки / Н. В. Адамчук, В. С. Дорофеев, К. В. Егупов, А. В. Мурашко и др. *Будівництво в сейсмічних районах України* : зб. тез доп. XI Всеукр. наук.-техн. конф. Одеса : ОДАБА, 2018. С. 31–32.

48. Мурашко А. В., Кубийович Н. И., Бенради И. Здания со ствольной и ствольно-стеновой конструкцией. Основные преимущества при строительстве в сейсмических районах. *Експлуатація та реконструкція будівель і споруд* : зб. тез доп. III Міжнар. конф. Одеса : ОДАБА, 2019. С. 32.

49. Мурашко О. В., Бенраді І., Марухняк М. Вплив заповнення деформаційного шва між ненесучими газобетонними стінами і каркасом при горизонтальних впливах. *Зб. тез доп. 75-ї Наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу акад.* Одеса : ОДАБА, 2019. С. 97.

50. Мурашко А. В., Бенради И. Ненесущее стеновое заполнение при сейсмических воздействиях с точки зрения нелинейного статического анализа. *Актуальні проблеми інженерної механіки* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф. Одеса : ОДАБА, 2020. С. 255–257.

51. Мурашко А. В., Дорофеев В. С. Система оценки фактической сейсмостойкости как важный элемент гражданской обороны. *Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси* : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Одеса, 2016. С. 124.

*Наукові праці, які додатково відображають
наукові результати дисертації*

52. Murashko O., Benradi I. Determination of seismic forces on spectral methods in accordance with Eurocode 8, Moroccan RPS-2011 and Ukrainian DBN B.1.1-12-2014. *Australian and New Zealand Journal of Fundamental and Applied Studies*. 2015. No. 1 (15). January – June. Vol. III. Sydney University Press, 2015. P. 585–592.

53. Дорофеев В., Мурашко А., Михайлова Н. Создание расчетных моделей сейсмостойких каркасных зданий. *Будівельний журнал*. 2015. № 5–6. С. 35.

54. Murashko O., Benradi I. Seismic vulnerability of rc frame buildings with various plan shape taking account nonbearing infill walls. *Праці Одес. політех. ун-ту*. 2017. Вип. 1 (51).

55. Єгунов К. В., Єгунов В. К., Мурашко О. В. Уточнення сейсмічного ризику об'єктів морської інфраструктури. *Розвиток транспорту*. 2019. № 2 (5). С. 20–37. 1 – індексуються наукометричною базою «Index Copernicus»)

АНОТАЦІЯ

Мурашко О. В. Каркасні будівлі в сейсмічних районах, комплексне оцінювання сейсмостійкості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2021.

Розроблено єдину трирівневу методологію оцінювання сейсмостійкості будівель, яка дає змогу поетапно визначати рівень сейсмостійкості відповідно до обсягу наявної інформації. За допомогою 1-го рівня – візуального оцінювання – за короткий проміжок часу можна повністю обстежити райони населених пунктів. Відповідно до 2-го рівня необхідно виконувати паспортизацію для нових будівель та будівель, визнаних потенційно несейсмостійкими за результатами 1-го рівня оцінювання сейсмостійкості. Третій рівень передбачає проведення оцінювання унікальних та особливо відповідальних будівель і споруд. Удосконалено нелінійний статичний метод розрахунку з урахуванням впливу вищих форм коливань, що дає змогу безпосередньо враховувати одночасне виникнення двох форм коливань та обґрунтовано відмовлятися від врахування коефіцієнта k_3 при пушOVER-аналізі. Розроблену систему оцінювання сейсмостійкості апробовано на низці будівель в Одесі й Одеській області, продемонстровано її ефективність як для масового оцінювання сейсмостійкості звичайної забудови, так і унікальних об'єктів.

Ключові слова: сейсмостійкість, каркасні будівлі, ненесуче стінове заповнення, рівні оцінювання сейсмостійкості, паспортизація, візуальне оцінювання сейсмостійкості, чисельне моделювання, достовірність, повнота інформації.

АННОТАЦИЯ

Мурашко А. В. Каркасные здания в сейсмических районах, комплексная оценка сейсмостойкости. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2021.

Разработана единая трехуровневая методология оценки сейсмостойкости зданий, которая позволяет поэтапно определять степень сейсмостойкости в соответствии с объемом имеющейся информации. С помощью 1-го уровня – визуального оценивания – за короткий промежуток времени можно обследовать целые районы населенных пунктов. В соответствии со 2-м уровнем необходимо выполнять паспортизацию для новых зданий и зданий, признанных потенциально несейсмостойкими по

результатам 1-го уровня оценки сейсмостойкости. Третий уровень предусматривает проведение оценки уникальных и особо ответственных зданий и сооружений. Усовершенствован нелинейный статический метод расчета с учетом влияния высших форм колебаний, что позволяет непосредственно учитывать одновременное возникновение двух форм колебаний и обоснованно отказываться от учета коэффициента k_3 при пушвер-анализе. Разработанная система оценки сейсмостойкости апробирована на ряде зданий в Одессе и Одесской области, продемонстрирована ее эффективность как для массовой оценки сейсмостойкости обычной застройки, так и уникальных объектов.

Ключевые слова: сейсмостойкость, каркасные здания, несущее стеновое заполнение, уровни оценки сейсмостойкости, паспортизация, визуальная оценка сейсмостойкости, численное моделирование, достоверность, полнота информации.

ABSTRACT

Murashko O. V. Frame buildings in seismic areas, comprehensive evaluation of seismic resistance – qualification research work on the manuscript rights.

Thesis for acquiring the scientific degree of the doctor of technical sciences on specialty 05.23.01 – construction designs, buildings and edifices. Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture – Odesa, 2021.

The dissertation is devoted to the development of the frame buildings seismic resistance evaluation (hereinafter SRE) methodology.

The **first section** of the thesis analyzes the state of the scientific problem being solved. It analyzes the world experience in the evaluation of seismic resistance, both from the research perspective and from the regulatory framework perspective. It contains the performed analysis of consequences of earthquakes, available experience in visual evaluation of seismic resistance, certification, methods of field researches, as well as calculation methods. An attempt is made to apply foreign methods for visual evaluation of seismic resistance (hereinafter VESR). According to the results of testing of foreign methods on two buildings, it was found that neither of them takes into account the impact of non-bearing wall filling, as well as other features of the state regulatory framework. Therefore, it was decided that the use of these foreign systems in Ukraine is inexpedient, and it is necessary to develop Ukraine's own one.

The **second section** is devoted to the formulation of theoretical prerequisites for creating a system for evaluation of seismic resistance. The scientific bases of seismic analysis with the involvement of the main principles of information theory are substantiated here. Also The second section lists the development of the structure of a technique for seismic resistance evaluation, and also displays the technique of experimental researches. It is proved that the three-level approach to evaluation is the most appropriate for the current situation in seismic areas of Ukraine.

The developed research program consists of the following main stages: numerical modeling, on-site engineering and seismometric tests of existing buildings, and laboratory studies. Particular attention is paid to the study of the influence of non-bearing wall filling and filler of expansion joints between walls and frame elements. Two options of experimental stands for testing on sign-constant and sign-alternating horizontal loads have been developed.

The **third section** describes the results of engineering and seismometric studies in combination with numerical simulations. The section is devoted to the development of the third level of the methodology (SRE-3). Given that the third level of the SRE is a tool for solving atypical problems, compared to the first and second levels, its methodology is not regulated, and the structure of this section is reduced to solving a number of specific problems, based on which methods are developed at other levels.

A significant amount of field research indicates discrepancies between the results obtained and the data from numerical analysis. The identified discrepancies are mainly due to the influence of non-bearing wall filling (hereinafter NBWF), and the actual values of loads on the floor. The calculations, which were performed taking into account these factors, coincide with the results of field tests. This fact indicates the necessity to develop two calculation models: the first one based on the classical calculation assumptions; and the second one based on the actual behavior of the building.

Performed laboratory studies indicate a significant impact of the most common aggregates of expansion joints between the non-bearing filling and the frame (mineral cotton, polystyrene and vilaterm), which demonstrates the necessity for it to be taken into account in the spatial work of the frame.

The **fourth section** presents the main provisions for the certification of seismic resistance. A certificate of seismic resistance of a building represents systematized information about its experimental and numerical parameters, and it reflects the degree of compliance of the building with current regulations. The structure and form of a seismic certificate are developed. For the purposes of numerical modeling in certification, a modified nonlinear static calculation method has been developed, which allows to take into account the influence of higher forms of oscillations, thereby neglecting the superficiality coefficient in pushover analysis. The requirements for conducting vibration research, numerical modeling and assessment of conformity with individual requirements of regulatory documents have been systematized.

The **fifth section** is devoted to the method of visual evaluation of frame buildings taking into account the non-bearing wall filling. Studies of the influence of irregularities of shapes in the plan and by height have been performed. Numerous studies have also been performed to analyze the impact of the regular location of non-bearing wall fillings on the seismic resistance of buildings, and they showed that the maximum seismic impact suffered by the building increases from 14% to 32% depending on the shape of the building in the plan. Irregular location of the NBWF reduces the seismic resistance of the building to 32.6% due to the fact that such an arrangement leads to a redistribution of internal forces on the frame

elements, causing destruction mechanisms such as "flexible" ground floor, "short columns" and so on. These and other factors are taken into account in the suggested form for visual evaluation of seismic resistance of frame buildings of the first level of SREM.

The approbation of the developed technique is described in the **sixth section**. The first level of the seismic resistance evaluation methodology was tried on a residential building with public premises in the city of Odesa, and the building was recognized as potentially non-seismic-resistant. A ten-section twelve-storey residential complex in Odesa region was analyzed using the first and second levels of evaluation. After the application of the first level it was established that three sections are potentially non-seismic, for which the second level of SREM, certification, was applied, confirming the design level of seismic resistance. The third level was used on the building of the Odessa sea port, and it was recognized as non-seismic.

Keywords: seismic resistance, frame buildings, non-bearing wall infill, levels of evaluation of seismic resistance, certification, visual evaluation of seismic resistance, numeral modeling, reliability, completeness of information.

Підписано до друку 18.03.2021 р.
Формат 60 X 84/16 Папір офісний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 2,56.
Наклад 120 прим. Зам. №21-7Е

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА