

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



АДІЛ ДЖАББАР АББАС
Adil Jabbar Abbas

УДК 624.042.7

**СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Нікіфорова Тетяна Дмитрівна,
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», декан будівельного факультету, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Дорофєєв Віталій Степанович,** Одеський національний морський університет, професор кафедри цивільна інженерія та архітектура;

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

Захист відбудеться «07» травня 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.02 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (49005, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а) та на сайті <http://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Автореферат розісланий «06» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., професор



С. О. Слободянюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні в багатьох країнах на території з сейсмічністю 7 - 10 балів розташовані численні міста і населені пункти, промислові об'єкти, бази відпочинку, санаторії і т. д. Вся ця порівняно густонаселена територія схильна до землетрусів, які супроводжуються руйнуваннями будівель і споруд із недостатньою сейсмостійкістю. У сейсмонебезпечних регіонах розташовується велика кількість житлового фонду. При цьому особливу групу складають 4-5-поверхові будинки перших масових серій та об'єкти незавершеного будівництва житлово-громадського призначення, які побудовані без урахування антисейсмічних заходів або за заниженими вимогами їх сейсмостійкості.

Наслідки ряду катастрофічних землетрусів наочно показали, що практично неможливо досягти абсолютної безпеки, а з економічної точки зору – недоцільно вимагати її повного забезпечення. Питання безпеки в будівництві знаходяться в певному протиріччі з питаннями його економічності: з одного боку – забезпечення абсолютної безпеки вимагає надзвичайно великих витрат, а з іншого – недостатня надійність конструкцій або будівлі в цілому в разі землетрусу загрожує як чисто економічними, так і неекономічними втратами.

На сьогодні в Україні і світі активно ведеться робота з удосконалення методів розрахунку конструкцій на дію сейсмічних впливів і підвищення сейсмостійкості існуючих будівель і споруд. Проте, в існуючих дослідженнях, практично відсутня інформація щодо залежності вартості заходів сейсмосахисту будівель при їх реконструкції від зміни сейсмічності будівельного майданчика.

Тому науковий інтерес у вирішенні задач забезпечення сейсмостійкості існуючих житлових будівель представляють задачі вибору найбільш раціонального та ефективного способу підвищення сейсмостійкості існуючих об'єктів при їх реконструкції та оцінка впливу зміни сейсмічності майданчику на конструктивні та економічні параметри заходів сейсмосахисту будівель.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає напрямам науково-технічної політики держави відповідно до Проект Закону України від 28.11.2017 № 7221 «Про внесення змін до Закону України «Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки, № 4909-VI від 7 червня 2012 року».

Дисертаційна робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» відповідно до тематики наукових розробок кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій в рамках держбюджетної теми: «Інноваційні конструкції і матеріали для будівництва будівель та споруд» (номер державної реєстрації №0116U006046).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методів розрахунку багатоповерхових будівель для оцінки їх сейсмостійкості з використанням дискретних скінченно елементних (СЕ) і континуальних динамічних розрахункових моделей.

Для досягнення поставленої мети поставлені та вирішені наступні **завдання дослідження:**

1. Аналіз сучасного стану забезпечення сейсмічної стійкості будівель та методів розрахунку будівель при сейсмічних впливах.

2. Вибір і обґрунтування методу розрахунку сейсмічної стійкості багатоповерхових будівель нерегулярної конструктивної схеми для дослідження їх поведінки при сейсмічних впливах.

3. Розробка алгоритму та чисельної методики визначення несучої здатності багатоповерхових будівель нерегулярної конструктивної схеми при дії сейсмічного навантаження.

4. Розробка методики раціонального проектування підвищення сейсмостійкості існуючих будівель при їх реконструкції та оцінки ефективності заходів сейсмосахисту будівель.

5. Розробка методики врахування впливу зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчику на конструктивні та техніко-економічні характеристики будівлі.

Об'єкт дослідження - процес поведінки багатоповерхових будівель в залежності від конструктивних схем при сейсмічних впливах.

Предмет дослідження - закономірності впливу нерегулярності конструктивних схем будівель на їх сейсмостійкість та зміни сейсмічності майданчику на конструктивні та техніко-економічні характеристики конструктивних елементів.

Методи дослідження: теорія сейсмостійкості будівель, сейсмічного мікрорайонування; спектральний метод; методи нелінійних статичних розрахунків; методи теорії опору залізобетону та будівельної механіки; метод скінчених елементів, математичні методи опрацювання результатів досліджень; методи чисельного моделювання та порівняльного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в отриманні нових науково-обґрунтованих результатів, які визначають напружено-деформований стан багатоповерхових будівель при сейсмічних впливах в залежності від конструктивної схеми, зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчика, і в сукупності визначають сейсмічну стійкість будівель при землетрусах, а саме:

- вперше розроблено методологію та алгоритм визначення сейсмостійкості будівель із нерегулярною конструктивною схемою при дії сейсмічного навантаження на основі методу нелінійного статичного розрахунку;

- вперше отримані криві спектрів несучої здатності для моделей багатоповерхових каркасних будівель із нерегулярною конструктивною схемою при сейсмічному впливі та отримані уявлення про закономірності зміни спектрів несучої здатності будівлі з урахуванням нелінійної поведінки ґрунтів основи та фізичної нелінійності матеріалів конструкцій;

- отримали подальшого розвитку уявлення про закономірності зміни напружено деформованого стану конструкцій існуючої будівлі незавершеного будівництва при дії сейсмічного навантаження в залежності від місця розташування в'язевих панелей жорсткості в плані відносно центра ваги будівлі при підвищенні її сейсмостійкості;

- отримали подальшого розвитку закономірності впливу зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчика на конструктивні та техніко-економічні характеристики заходів сейсмосахисту будівель.

Достовірність та обґрунтованість результатів підтверджується:

- необхідним обсягом теоретичних досліджень: автором проаналізовано та узагальнено методичні підходи провідних учених щодо забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, що проектуються в сейсмічних районах;
- використанням загальноприйнятих методів розрахунку конструкцій будівель, що базуються на сучасній теорії сейсмостійкості, опору залізобетону та будівельної механіки, методу скінченних елементів;
- дотриманням положень чинних нормативно – технічних документів;
- виконанням необхідним обсягом чисельних досліджень;
- впровадженням в практику проектування та досвідом апробації наукових положень, результатів і рекомендацій на науково – практичних конференціях та семінарах.

Практичне значення одержаних результатів полягає у спрямованості дослідження на вирішення задачі забезпечення сейсмостійкості багатоповерхових будівель, а саме у розроблені методики розрахунку сейсмічної стійкості багатоповерхових будівель нерегулярної конструктивної схеми; чисельної методики визначення несучої здатності багатоповерхових будівель нерегулярної конструктивної схеми та дії сейсмічного навантаження; методики врахування впливу зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчику на конструктивні та техніко-економічні характеристики будівлі; методики раціонального проектування підвищення сейсмостійкості існуючих будівель при їх реконструкції та оцінки ефективності заходів сейсмозахисту будівель.

Результати досліджень використані: ТОВ «ЮДК» при розробці «Альбому технічних рішень застосування конструкцій із блоків автоклавного газобетону при проектуванні житлових та громадських будинків в районах сейсмічністю 6, 7 та 8 балів», при дослідженні впливів згенерованих акселерограм по отриманим різними методами спектрам відгуку при однакових геологічних майданчиках для будівель різних конструктивних схем. Дослідження використовувались при наданні послуг «71350000-6 (Побудова швидкісної моделі, розрахунок частотних характеристик ґрунтової товщі проммайданчика ВП РАЕС, розробка розрахункових акселерограм і спектрів відгуку на ґрунті для проектного та максимального розрахункового землетрусів за даними інструментальних спостережень)», а також використовуються в навчальному процесі Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» при підготовці здобувачів вищої освіти за напрямком 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціальність «Промислове та цивільне будівництво» при викладанні дисципліни «Особливості проектування будівель і споруд в умовах сейсмічності».

Особистий внесок здобувача. Всі викладені в дисертаційній роботі ідеї, наукові розробки, положення, аналітичні залежності та чисельні моделі, чисельні експериментальні дослідження і практичні результати отримані автором особисто.

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві полягає в наступному: [1] – обробка результатів чисельного експерименту; [2] – узагальнено особливості розрахунку зварних сталевих балок коробчастого і двотаврового перерізу; [3] – аналіз конструктивних особливостей сталевих елементів балок при зварюванні; [4] – систематизація методів підвищення сейсмостійкості

існуючих будівель, дослідження напружено-деформованого стану елементів каркасу будівлі для різних варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі. Спрощена методика оцінки загальної ефективності підвищення сейсмостійкості існуючих будівель; [5] – дослідження впливу підвищення розрахункової сейсмічності на економічні параметри багатоповерхової будівлі. Виявлені закономірності зміни вартості бетону та арматури багатоповерхової будівлі в залежності від сейсмічності будівельного майданчика; [6] – узагальнення конструктивних особливостей забезпечення просторової жорсткості багатоповерхової будівлі; розробка чисельної моделі будівлі для дослідження напружено-деформованого стану; [7] – чисельні дослідження впливу сейсмічності будівельного майданчика на зміну конструктивних характеристик будівлі; встановлені числові значення конструктивних характеристик багатоповерхової будівлі при зміні розрахункової сейсмічності будівельного майданчику; [8] – чисельний аналіз напружено-деформованого стану каркасних систем різної поверховості; встановлена оптимальна область використання звичайних бетонів і бетонів підвищеного класу міцності для колон каркасу багатоповерхових будівель.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на науково-технічних семінарах кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ПДАБА (м. Дніпро, 2017-2019 рр.); 9-th All-Ukrainian Scientific-Technical Conference «Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation Engineering: Problems, innovations and implementation of Eurocodes in Ukraine» (м. Дніпро, 2016 р.); науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, 2016 р.); 6-й міжнародній науково-практичній конференції «Створення високотехнологічних соціоекокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку», (м. Львів, 2017 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Львів, 2018 р.); 4-й міжнародній інтернет-конференції «Dynamics of the development of world science» (Канада, м. Ванкувер, 2019 р.).

В повному обсязі дисертація доповідалась на кафедрі залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ ПДАБА (2020 р.).

Публікації. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображені в 8 наукових працях, у тому числі: 5 – у наукових фахових виданнях рекомендованих МОНУ (з них 3 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз); 3 – публікації у іноземному виданні.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Повний обсяг дисертації становить 159 сторінок, у тому числі: обсяг основного тексту 110 сторінок, список використаних джерел 13 сторінок із 117 найменувань, 2 додатки на 7 сторінках, 58 рисунків та 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень; визначено об'єкт та предмет, наукову новизну і практичне значення

роботи; зазначено особистий внесок здобувача та розглянуто методи досліджень і відомості про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі наведено літературний огляд досліджень щодо забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, що проектуються в сейсмічних районах. Розглянуті загальні конструктивні вимоги забезпечення сейсмічної стійкості будівель, проаналізовані способи підвищення сейсмостійкості будівель та методи розрахунку будівель на сейсмічні впливи.

Проведений аналіз сучасних нормативних документів різних країн, результатів теоретичних досліджень, наведених літературних джерел показав, що в існуючих дослідженнях, практично відсутня інформація щодо залежності вартості заходів сейсмозахисту існуючих будівель від зміни сейсмічності будівельного майданчика, мало робіт присвячено вивченню поведінки будівель з нерегулярним розподілом маси, жорсткості або опору протистояти сейсмічним навантаженням.

Тому, науковий інтерес у вирішенні задач забезпечення сейсмостійкості багатопверхових будівель представляють задачі вибору раціонального та ефективного способу підвищення їх сейсмостійкості при реконструкції та залежності вартості заходів сейсмозахисту існуючих будівель від зміни сейсмічності будівельного майданчика; дослідження впливу нерегулярності конструктивної схеми будівлі на сейсмічну стійкість.

На різних етапах у створенні лінійно-спектральної теорії розрахунку на сейсмічні впливи взяли участь вчені з різних країн світу. Слід зазначити роботи Дж. Л. Альфорда (J. L. Alford), Дж. А. Блюма (J. A. Blume), Г. Дж. Ал-Сулаймані (G. J. Al-Sulaimani), Х. Беньоффа (H. Benioff), Н. М. Ньюмарка (N. M. Newmark), Р. В. Клафа (R. W. Clough) і Дж. Пензена (J. Penzien), Б. Мохраза (B. Mohraz), Дж. Ф. Халла (J. F. Hall) та інших.

На створення і розвиток різних аспектів теорії сейсмостійкості споруд за останні століття працювали багато вітчизняних та зарубіжних вчених в галузі будівництва, механіки та інженерної сейсмології. У їх числі Я. М. Айзенберг, А. А. Амосов, С. Б. Синіцин, О. В. Кендзера, В. В. Кулябко, А. Н. Бірбраєв, С. О. Слободянюк, В. А. Амбарцумян, В. В. Болотін, І. І. Гольденблат, О. С. Городецький, Н. А. Ніколаєнко, С. В. Поляков, Ю. І. Немчинов, М. Г. Мар'єнков, К. Н. Бабік, С. В. Медведєв, С. С. Дарбинян, А. М. Уздін, К. В. Єгупов, Г. Н. Карцівадзе, І. Л. Корчинський, М. А. Марджанішвілі, Ш. Г. Напетварідзе, А. Г. Назаров, В. А. Ржевський, Е. Е. Хачіян, Дж. Блум, А. К. Чопра, Н. Ньюмарк та інші.

З бурхливим розвитком інформаційних технологій, ЕОМ і чисельних методів вирішення задач будівельної механіки виникла можливість аналізувати і моделювати складні змінні в часі процеси, що відбуваються в конструкціях будівлі протягом життєвого циклу. При цьому існує практично необмежена можливість моделювання цих процесів. Одним з аналізів в СЕ моделюванні є порівняно новий прямий динамічний розрахунок, в якому використовується пряме інтегрування рівнянь руху без будь-яких перетворень рівнянь.

Застосування методу скінченних елементів у сейсмічних розрахунках і подальшому його розвитку присвячені роботи О. С. Городецького, М. С. Барабаш, Ю. І. Немчинова, М. Г. Мар'єнкова, К. В. Єгупова, Ю. В. Гензерського, К. М. Бабіка О. В. Кендзери, В. А. Банаха, Я. В. Башинського, В. А. Амбарцумяна, В. В. Болотіна

та інших.

Розвитку формування розрахункових моделей, розрахунку конструкцій будівель і споруд, дослідженню несучої здатності будівельних конструкцій при сейсмічних впливах присвячені роботи Ю. І. Немчинова, М. Г. Мар'єнкова, В. С. Дорофєєва, В. В. Кулябка, К. В. Єгупова, К. М. Бабіка, О. В. Кендзери, М. С. Барабаш, К. В. Єгупова, І. В. Шеховцова, А. М. Бамбури, С. В. Петраш, М. В. Савицького, В. А. Банаха, А. В. Банаха, С. М. Карпенка, Є. В. Кліменка, Т. Н. Азізова, О. І. Лапенка та інші.

Дослідженнями впливу нерегулярності конструктивних схем на сейсмічну стійкість будівель присвячені роботи вчених О. В. Мурашко, В. С. Дорофєєва, О. С. Губанова, І. Бенрадї (I. Benradi), С. Чінтанапакді (С. Chintanapakdee), А. К. Чопра (А. К. Chopra), К. Трюнга (К. Le-Trung).

Ці вчені вивчали поведінку будівель з симетричною (регулярною) структурою, вводючи по висоті будівлі різні розподіли маси, жорсткості та міцності, так звані вертикальні нерівності. Дослідження виконувались на основі порівняльного аналізу результатів за допомогою лінійного динамічного розрахунку, нелінійного динамічного розрахунку та нелінійного статичного аналізу або аналізу спектру відгуку для оцінки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі при сейсмічних впливах та можливих механізмів відмов, які можуть виникнути.

Однак дослідження будівель, що мають нерегулярний розподіл маси, жорсткості або опору у плані будівлі, є мало вивченим.

На основі проведеного аналізу робіт і стану досліджень сформульовані мета та завдання досліджень.

У **другому** розділі на основі аналізу основних методів для вирішення завдань оцінки сейсмічного впливу на несучу здатність будівель проаналізовані найбільш поширені методи та обґрунтований метод нелінійного статичного розрахунку сейсмічної стійкості багатопверхових будівель із нерегулярною конструктивною схемою для дослідження їх поведінки при сейсмічних впливах.

Як правило, розрахунок будівель і споруд на сейсмічні впливи виконується в частотній області лінійним спектральним методом з визначенням максимальних сейсмічних навантажень із спектрів відгуку в залежності від частот і форм власних коливань конструкції. Найбільш поширеним способом відображення коливань ґрунту є використання акселерограм землетрусів для чисельного аналізу сейсмічної реакції нелінійних систем на основі нелінійного динамічного методу (прямого інтегрування). Зазначений метод є найбільш точним для визначення необхідних сил і деформацій в елементах конструкцій при сейсмічних впливах, але головним недоліком даного методу є висока трудомісткість, правильність розробки розрахункової моделі та інтерпретації отриманих результатів.

Тому, для оцінки сейсмічної поведінки багатопверхових будівель із нерегулярною конструктивною схемою поза межами пружності пропонується метод статичного нелінійного розрахунку (СНР). Метод дозволяє врахувати нелінійні властивості конструкцій не в вигляді коефіцієнта до інерційних сил (як це виконується при спектральному методі розрахунку конструкцій будівель), а безпосередньо за несучою здатністю будівлі.

Суть методу полягає в наступному:

1. Із застосуванням програмного комплексу формується багатомасова розрахункова просторова модель будівлі (БМС).

2. Виконується розрахунок БМС на сейсмічний вплив у лінійній постановці за спектральною методикою, в результаті якого визначаються: величини мас, зосереджених у кожному i -му рівні розрахункової схеми по висоті; частоти (періоди) T_i коливань за j -ою формою; ординати j -ої форми коливань; розподіл інерційних навантажень S_{ij} для кожного i -го рівня розрахункової схеми по висоті за j -ою формою коливань.

3. Інерційні навантаження S_{ij} за j -ою формою коливань покроково прикладаються в кожен i -ий рівень розрахункової схеми по висоті. При цьому БМС повинна відображати нелінійне деформування матеріалів конструкцій верхньої будови, фундаменту, а також нелінійну жорсткість і демпфування ґрунтової основи.

Оскільки крива спектру несучої здатності залежить від обраної схеми розподілу горизонтальних сил, з усіх обчислених форм власних коливань вибирається форма, яка має найбільший модальний внесок. Інерційні сили від обраної складової передаються в окреме завантаження.

4. Далі лінійна розрахункова модель перетворюється у фізично нелінійну, де формується історія її завантаження, в яку послідовно входять: повне вертикальне навантаження; покроково додається сейсмічне навантаження, відповідні форми власних коливань із найбільшою модальною масою.

5. Результати нелінійного розрахунку на кожному кроці нарощування інерційного навантаження БМС піддаються перетворенням, це дозволяє для цієї моделі отримати два узагальнені графіки: перший графік: спектр прискорення, графік в координатах «прискорення S_a - переміщення S_d » (рис. 1, а). Другий графік: спектр несучої здатності, графік в координатах «горизонтальна сила $S_{очн}$ - переміщення S_d ». Даний графік виходить, шляхом множення отриманих прискорень на модальну масу (рис. 1, б).

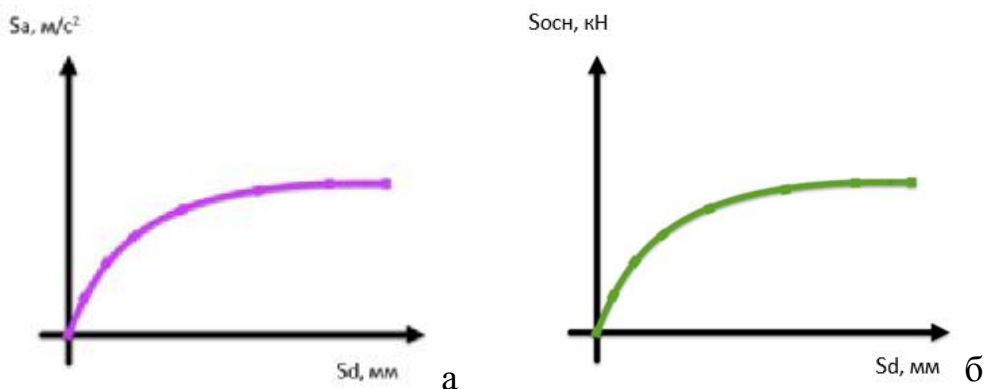


Рисунок 1 – Загальний вигляд графіків спектру прискорення (а) та спектру несучої здатності (б) в координатах:

а - «прискорення S_a - переміщення S_d »; б - «горизонтальна сила $S_{очн}$ - переміщення S_d »

6. Графік «горизонтальна сила $S_{очн}$ - переміщення S_d » перетворюється до білінійного вигляду на підставі рівності площ (енергій) нелінійного і білінійного графіків (рис. 2, а). При цьому на білінійному графіку з'являється проміжна точка - переміщення податливості d_T .

7. Далі визначається коефіцієнт податливості моделі, як співвідношення переміщення на останньому кроці d_m і переміщенням податливості d_T , за формулою:

$$\mu = d_m/d_T. \quad (1)$$

Коефіцієнт податливості моделі μ використовується для редукування нормативного (заданого) спектра реакцій для подальших розрахунків.

8. Для отриманого коефіцієнта податливості μ ($\mu = 1; 2; 4; 6$) вибирається графік нормативної залежності «прискорення S_a - переміщення S_d » (Рис. 3).

Для проміжних значень податливості μ графік будується по інтерполяції. Після крива «спектра несучої здатності» - графік спектра «прискорення S_a - переміщення S_d », отриманий в результаті нелінійного розрахунку і графік нормативної залежності «прискорення S_a - переміщення S_d » викреслюються в одній і тій же системі координат (рис. 2, б).

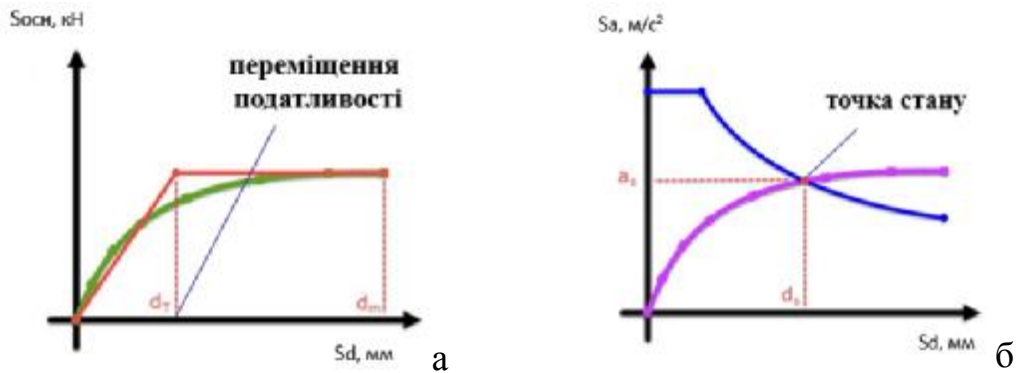


Рисунок 2 – Загальний вигляд нелінійного і білінійного графіків (а) та графіків нелінійного розрахунку спектру і нормативної залежності «прискорення S_a - переміщення S_d » (б) в координатах:

а - «горизонтальна сила $S_{осн}$ - переміщення S_d »; б - «прискорення S_a - переміщення S_d »

Нарощування горизонтального навантаження проводиться до тих пір, поки не буде досягнуте контрольне переміщення заздалегідь призначених рівнів конструкції, або її повне руйнування.

Точка перетину нормативного та нелінійного графіків називається точкою стану: d_s - шукане узагальнене нелінійне переміщення, при якому визначається напружено-деформований стан (НДС) всієї будівлі; a_s - відповідне прискорення, при якому визначається НДС всієї конструкції.

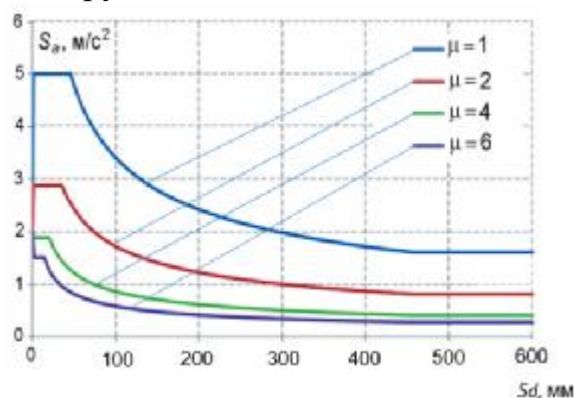


Рисунок 3 – Графік нормативної залежності «прискорення S_a - переміщення S_d »

В третьому розділі викладені результати дослідження впливу нерегулярності конструктивної схеми будівлі в плані на здатність будівлі протистояти сейсмічним навантаженням.

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану багатоповерхової будівлі виконані методом нелінійного статичного розрахунку (НСР) в програмному комплексі ETABS Nonlinear v8.08.

В якості вихідної моделі об'єкта дослідження прийнята восьмиповерхова каркасна житлова будівля. Будівля симетрична, регулярної структури з розмірами в плані 19,75 м x 35,2 м, висота поверху 3,0 м, загальна висота будівлі 24 м (рис. 4). Конструктивна схема – каркасна, каркас монолітний залізобетонний, колони перерізом 600x600 мм, балки перерізом 300x600 мм, плита перекриття товщиною 300 мм. Клас бетону каркасу C25/30, арматура класу A400С.

Умовно будівля розташована на території із сейсмічністю 8 балів, ґрунти основи – пілуватоглинисті ґрунти із показником текучості $IL \leq 0,5$ при коефіцієнті пористості $e < 0,9$. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями – II категорія.

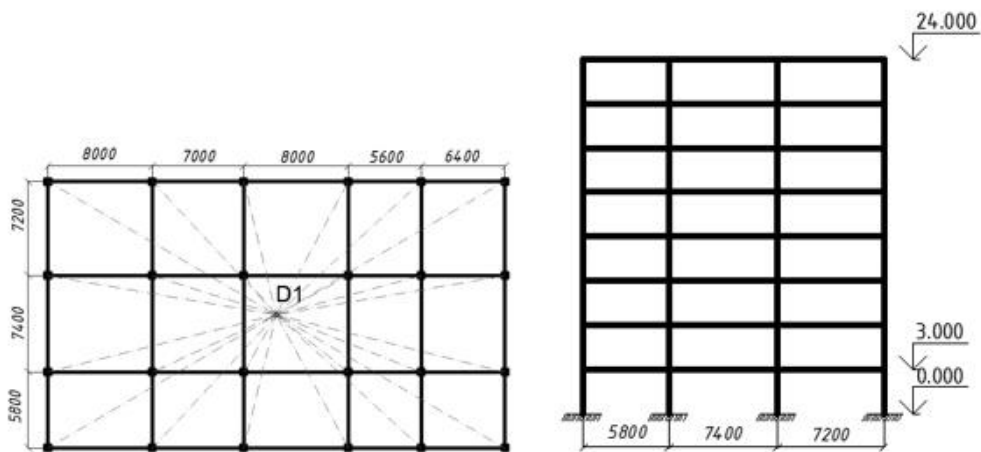


Рисунок 4 – План поверху (а) та поперечний розріз (б) вихідної моделі будівлі

У вихідній моделі центр жорсткості будівлі, точка D1 (рис. 4) співпадає із центром мас і центром жорсткості перекриття. Отже, конструктивну схему будівлі можна вважати симетричною і при чисельному аналізі вихідна модель приймається за еталон.

Послідовно до вихідної моделі вводяться нерегулярності, такі як нерегулярність кута та нерегулярність (розрив) перекриття.

Для моделювання та аналізу впливу нерегулярності конструктивної схеми в плані будівлі розглянуто чотири моделі (рис. 5), в яких були розташовані нерегулярності у декількох місцях вихідної моделі на кожному поверсі, тобто по всій висоті будівлі.

Для всіх розглянутих варіантів моделі будівлі сформовані багатомасові розрахункові просторові моделі (БМС) з використанням програмного комплексу ETABS Nonlinear v8.08 і виконані розрахунки на сейсмічні впливи згідно методики, викладеної у розділі 2.

Чисельний експеримент з дослідження сейсмостійкості будівлі виконувався у два етапи. На першому етапі проводився статичний та динамічний аналіз для обчислення абсолютних переміщень та визначення історії переміщень верху будівлі для оцінки бічної жорсткості кожного варіанта моделі будівлі.

На другому етапі, в розрахункові моделі додавались нерегулярності і виконувались розрахунки методом статичного нелінійного розрахунку (СНР). За результатами обчислень виконувалась оцінка несучої здатності конструкцій будівлі протистояти сейсмічним навантаженням.

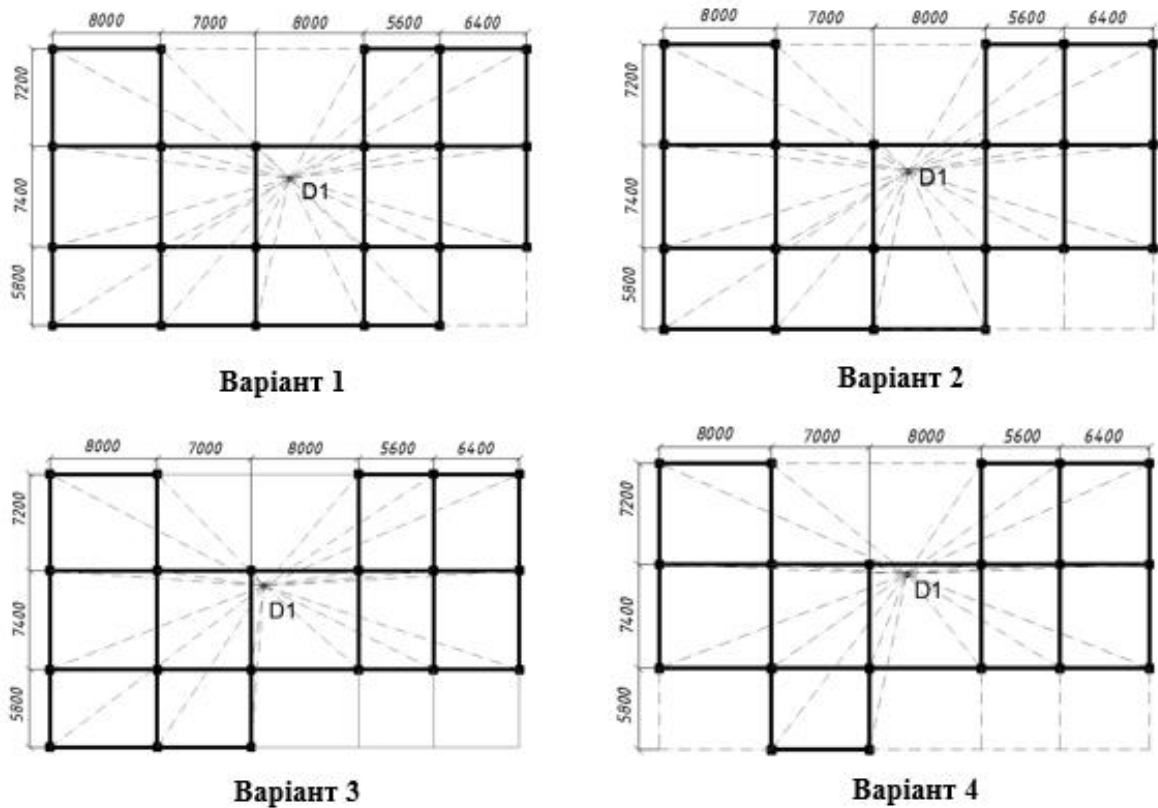


Рисунок 5 – Варіанти моделей будівлі з нерегулярною конструктивною схемою

При модальному спектральному аналізі розглянуто п'ять форм власних коливань моделі будівлі, яких було достатньо, щоб зафіксувати значення спектру реакції 90% від загальної маси.

На рис. 6 наведені результати, отримані за розрахунком лінійним спектральним методом та результати спектрів реакції при нелінійних статичних розрахунках варіантів моделей будівлі за п'ятою формою коливань, яка має найбільший модальний внесок. Для нелінійного статичного розрахунку наведені розрахункові значення ортогонального сейсмічного навантаження в напрямках осей X та Y для досліджуваних варіантів моделей будівлі.

При нелінійних статичних розрахунках варіантів моделей спектр врахований в кожному з ортогональних напрямків моделей будівлі: 100 % сейсмічного навантаження для одного напрямку та 30 % сейсмічного навантаження для перпендикулярного напрямку.

З рис. 6 видно, що у вихідній моделі сейсмічне навантаження в рівні основи в ортогональному напрямку осі X, розраховане за лінійним спектральним методом, складає 4298,85 кН. Сейсмічне навантаження в рівні основи в тому ж ортогональному напрямку, визначене нелінійним статичним розрахунком складає 3814,38 кН, що перевищує 85% сейсмічного навантаження, отриманого спектральним методом. Таким чином, вихідна розрахункова багатомасова модель відповідає вимогам. Аналіз результатів варіантів моделей 1, 2, 3, 4 показав аналогічну поведінку.

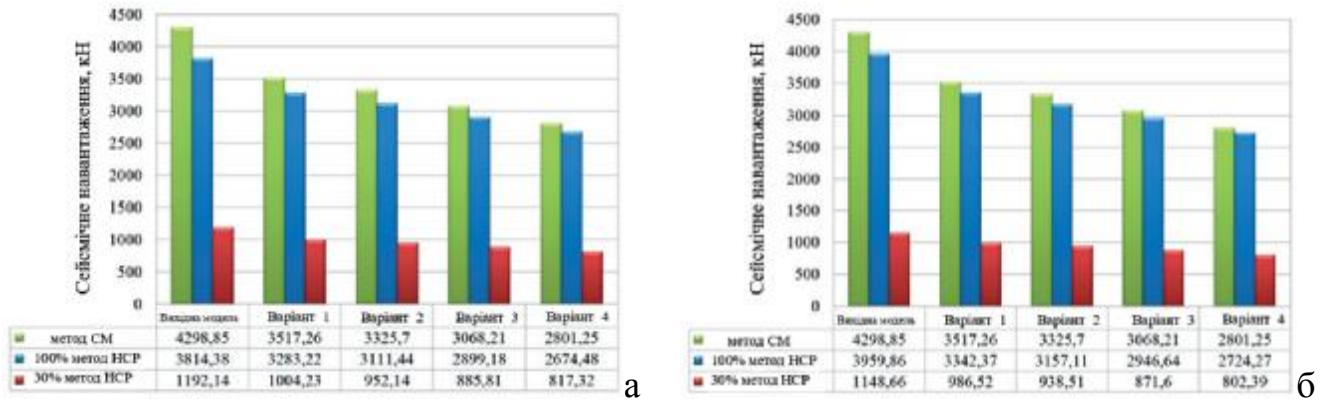


Рисунок 6 – Сейсмічне навантаження в рівні основи:
 а – в напрямку осі X; б – в напрямку осі Y

На кожному кроці нарощування сейсмічного навантаження розраховувалась нелінійна реакція БМС у вигляді переміщення верху будівлі. Усі отримані результати розрахунків для аналізу зміни напружено-деформованого стану варіантів будівлі нерегулярної конструктивної схеми порівнювались з результатами, отриманими для каркасної будівлі регулярної конструктивної схеми, класифікованої як еталонна або вихідна модель.

У якості критерію оцінки стану розрахункової моделі будівлі прийняті граничні перекося поверхів при досягненні яких нарощування сейсмічного навантаження припинялось (рис. 7). Максимальний перекося поверхів Δk не може перевищувати 3-х відсотків висоти поверху згідно з ДБН В.1.1-12:2014. У всіх моделях висота між поверхами становить 3,0 м; тому максимальний перекося не може перевищувати 90мм.

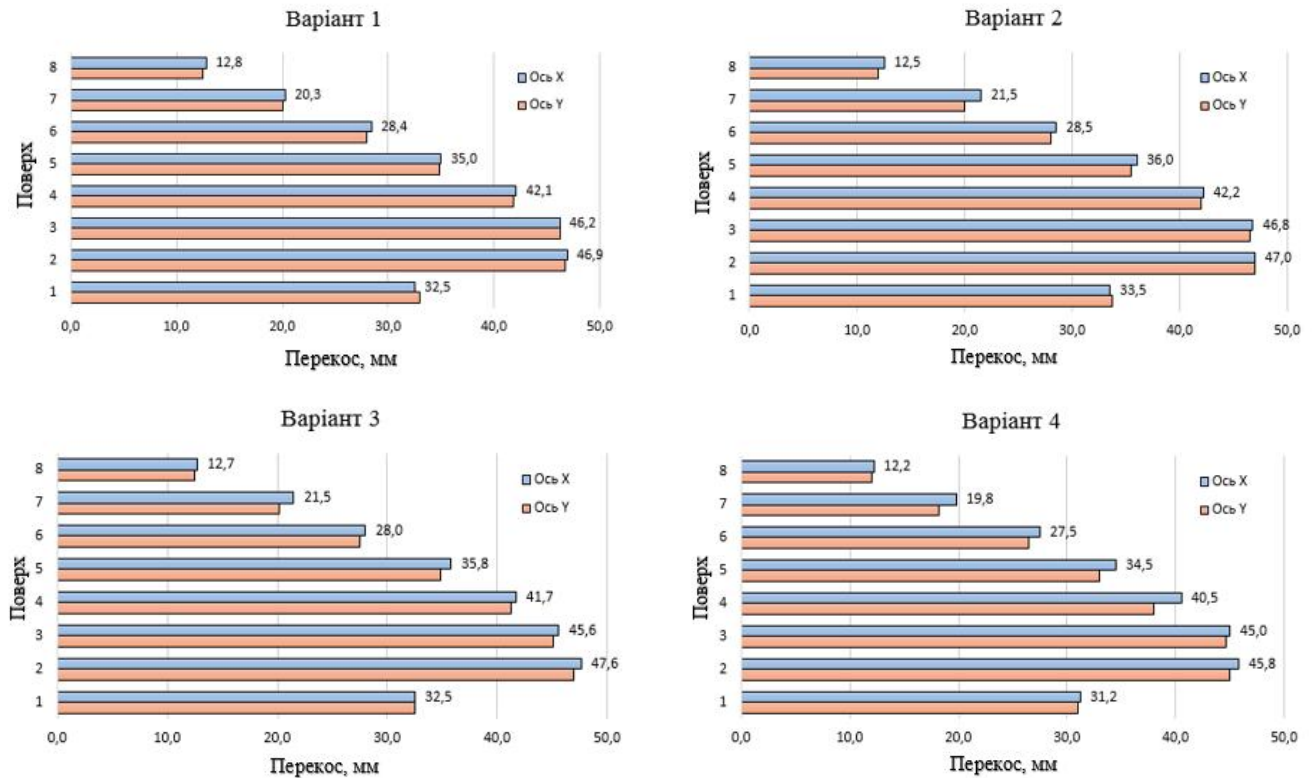


Рисунок 7 – Значення перекося поверхів для розглянутих моделей в ортогональному напрямку осі X та Y для п'ятої форми коливань

На рис. 7 видно, що максимальний перекося у п'яти моделях становив приблизно 48,0 мм в ортогональному напрямку осі X та 47,6 мм в ортогональному напрямку осі Y. В обох випадках перекося не перевищували максимального значення.

Результати нелінійного статичного розрахунку на сейсмічне навантаження вихідної моделі будівлі у вигляді білінійного графіку в координатах «горизонтальна сила $S_{осн}$ - переміщення S_d » наведені на рис. 8. Узагальнені графіки порівняння білінійних моделей досліджуваних моделей будівлі представлені на рис. 9. В табл. 1 наведені результати розрахунків переміщення податливості d_T та переміщення на останньому кроці d_m і значення коефіцієнту податливості μ .

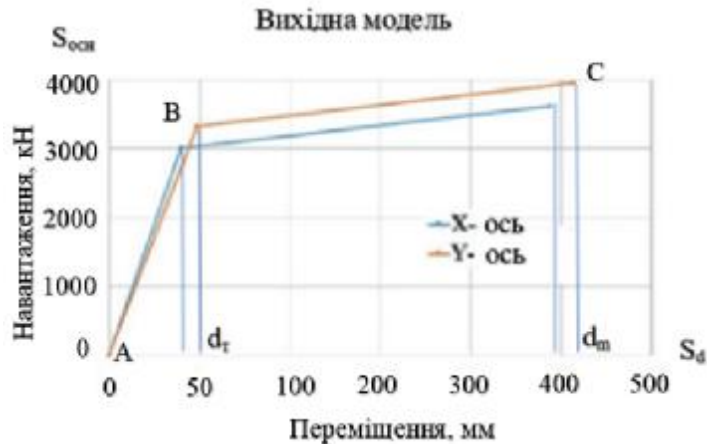
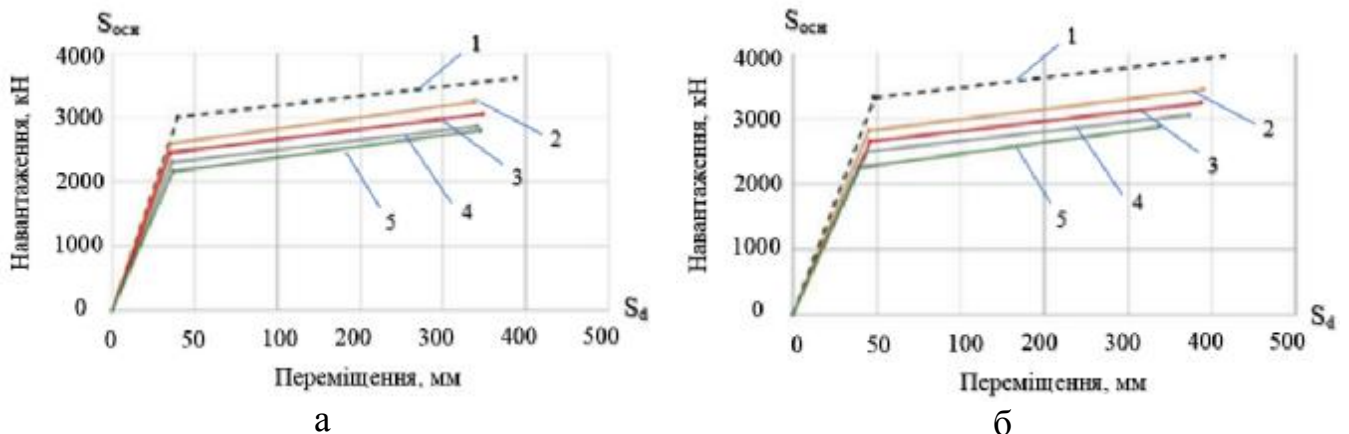


Рисунок 8 – Білінійний графік вихідної моделі будівлі

На рис. 8 лінія АВ представляє пружну поведінку конструкцій будівлі, де точка «В» позначає границю текучості. Нахил лінії ВС представляє деформаційне зміцнення або роботу елементів конструкцій будівлі у пластичній стадії. Точка «С» вказує номінальну міцність елементів конструкцій та кінцеву несучу здатність будівлі.



1 – вихідна модель; 2 – варіант 1; 3 – варіант 2; 4 – варіант 3; 5 – варіант 4

Рисунок 9 – Узагальнені графіки порівняння білінійних моделей досліджуваних моделей будівлі: а - напрямок X; б - напрямок Y

За допомогою накладання редукованого нормативного спектра реакцій несучої здатності на білінійні моделі визначені точки стану будівлі для досліджених варіантів. На рис. 10 наведений графік визначення спектра несучої здатності будівлі для варіантів 1 та 4.

Таблиця 1 – Значення переміщення податливості, переміщення на останньому кроці та коефіцієнту податливості білінійних моделей

Модель	осі X			осі Y		
	d_T , мм	d_m , мм	μ	d_T , мм	d_m , мм	μ
Вихідна	39,8	243,8	6,13	48,6	256,9	5,29
Варіант 1	35,1	219,6	6,26	45,3	244,9	5,41
Варіант 2	35,0	224,5	6,42	46,1	243,6	5,29
Варіант 3	36,0	221,0	6,13	44,3	236,5	5,34
Варіант 4	36,6	222,7	6,08	33,8	218,5	5,63

З рис. 9 видно, що введення в конструктивну схему еталонної моделі будівлі нерегулярностей призводить до зменшення опору горизонтальному навантаженню. Поперечна жорсткість 4-го варіанту моделі будівлі суттєво відрізняється у порівнянні з еталонною моделлю в двох ортогональних напрямках, зі зменшенням межі текучості та межі руйнування до 28% в ортогональному напрямку осі X та до 38% в ортогональному напрямку осі Y.

Аналіз спектрів несучої здатності моделей будівлі нерегулярної конструктивної схеми (рис. 10) показав, що максимальні нелінійні переміщення досліджених варіантів моделей будівлі від дії сейсмічного навантаження в двох ортогональних напрямках не перевищують 50 мм, а також менші за відповідне переміщення податливості d_T (табл. 1). Це вказує на те, що всі досліджені моделі будівлі мають лінійну пружну поведінку при сейсмічному впливі. Для будівель із нерегулярною конструктивною схемою, як і слід було очікувати, спостерігається зміщення точки стану будівлі до межі текучості. При переході лінійного переміщення за межу текучості відбувається руйнування першої конструктивної складової (формування першого пластичного шарніру). Норми з сейсмічного проектування рекомендують, щоб перший пластичний шарнір формувався в балках, а не колонах. При досягненні нелінійних переміщень значень d_m , що відповідає номінальній міцності елементів конструкції, відбувається руйнування будівлі.

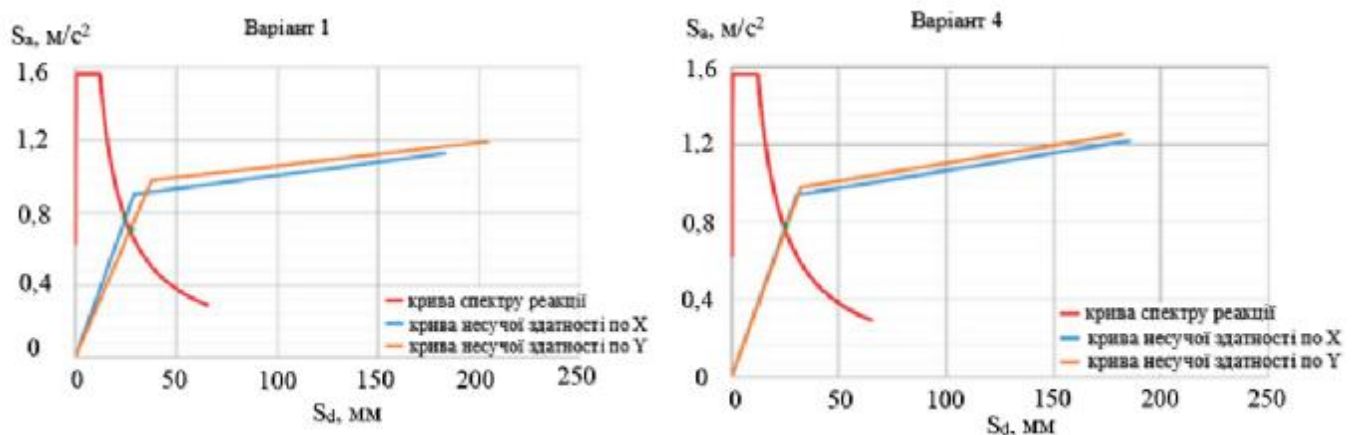


Рисунок 10 – Графік спектру несучої здатності моделі будівлі нерегулярної конструктивної схеми

В четвертому розділі наведені результати впливу реконструкції на напружено-деформований стан об'єкту та пошук найбільш раціонального і ефективного способу підвищення сейсмостійкості будівлі незавершеного будівництва та розробка методики порівняльного аналізу різних варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі та оцінка її практичного використання.

Дослідження сейсмостійкості виконані на прикладі будівлі незавершеного будівництва, розташованої в м. Севастополь. Проектом передбачається надбудова мансардного поверху з влаштуванням басейну.

Досліджувався напружено-деформований стан конструкцій будівлі до та після її реконструкції для нормальних умов експлуатації та при дії сейсмічного навантаження з урахуванням додаткового навантаження на конструкції каркасу від надбудови та від басейну. Розрахунки на статичні та динамічні навантаження виконувались за допомогою програмного комплексу SCAD Office. Розрахункова модель будівлі (рис. 11, а) представляє собою монолітний каркас, з розмірами в плані 32 м і 11,6 м, чотири поверхами висотою 3,3 м кожен із загальною висотою будівлі 13,2 м. Навантаження та впливи на конструкції будівлі приймалися згідно норм.

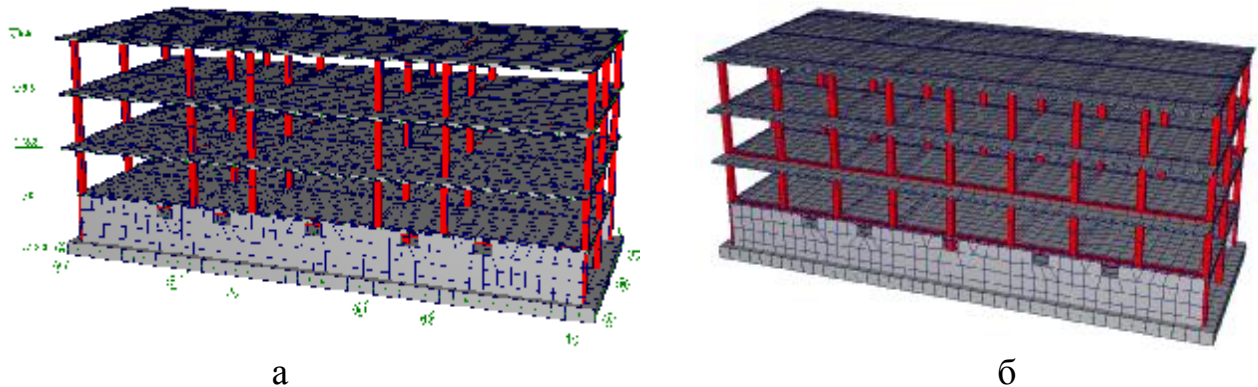


Рисунок 11 – Розрахункові моделі будівлі:
а - вихідна модель; б - модель будівлі з регулярною сіткою колон

Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівлі до та після її реконструкції при дії сейсмічного навантаження виконувався спектральним методом. Загалом, при розрахунках на сейсмічне навантаження проаналізовано 68 форм власних коливань каркасу будівлі з періодами коливань 0,75 с - 0,072 с та виявленні найбільш впливові коливання на напружено-деформований стан конструкцій.

Аналіз напружено-деформованого стану конструкцій будівлі при статичному і динамічному розрахунках показав необхідність посилення колон каркасу будівлі в місцях додаткового навантаження від надбудови мансардного поверху та перекриття третього поверху на ділянці улаштування басейну з одночасним виконанням заходів щодо підвищення сейсмостійкості будівлі в цілому.

Для підвищення сейсмостійкості існуючої будівлі з монолітного залізобетонного каркасу в якості додаткових елементів жорсткості, прийняті вертикальні в'язеві панелі. В'язеві панелі виконані з металопрокату і жорстко зв'язані з елементами каркасу приварюванням тяжів до сталевих траверс закріплених на колонах. Додаткові в'язеві панелі встановлюються безперервно по всій висоті будівлі між суміжними колонами та розташовані симетрично від центра ваги будівлі.

Для порівняльного аналізу ефективності підвищення сейсмостійкості будівлі однотипними конструкціями (в'язевими панелями) досліджувались розрахункові моделі (нерегулярна (рис. 11, а) і регулярна схеми (рис. 11, б) розташування колон в плані будівлі) з різним варіантами розташування в'язевих панелей, розташованих попарно на різних відстанях від центра ваги будівлі в поздовжньому, поперечному або в обох напрямках. Загалом досліджено 52 розрахункових моделей будівлі, окремі варіанти наведені на рис. 12.

Для порівняння та вибору раціонального варіанту розташування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівель запропонована спрощена методика оцінки загального ефекту від їх влаштування на основі оцінки коефіцієнту ефективності.

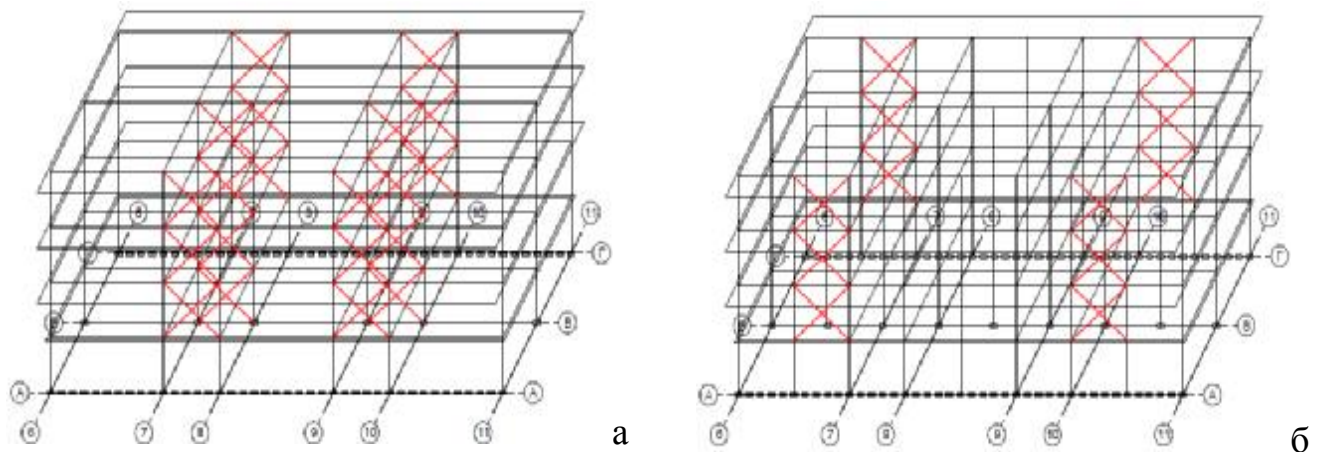


Рисунок 12 – Розташування в'язевих панелей:

а – по осях А, В і Г в нерегулярній схемі; б – по осях А і Г в регулярній схемі

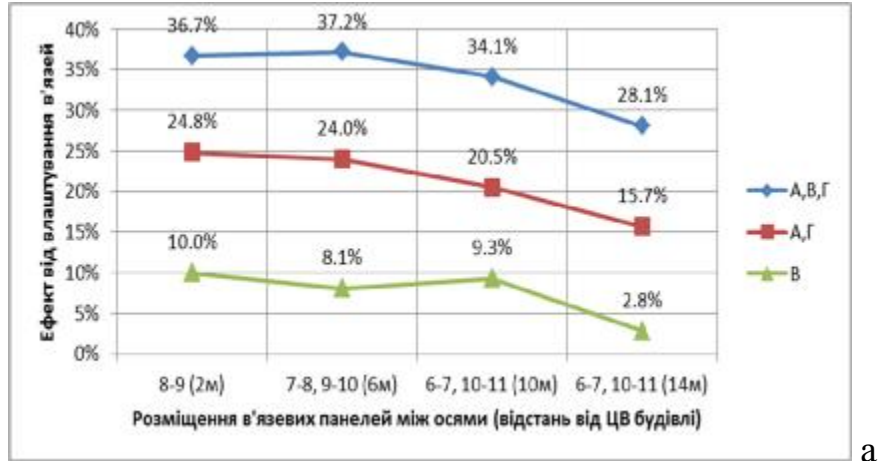
Коефіцієнт ефективності показує наскільки порівнюваний ефект більше (позитивне значення) або менше (від'ємне значення) значення, прийнятого за базу порівняння. Виражається у частках, розраховується як відношення ефекту влаштування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівлі для окремого варіанту до абсолютного рівня, прийнятого за базу. За базу приймається ефект від влаштування в'язевих панелей, розташованих найближче до центру ваги будівлі.

Для розглянутих варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі виконаний аналіз напружено-деформованого стану перерізів елементів каркасу будівлі, визначене необхідне армування конструкцій каркасу для забезпечення нормативних вимог сейсмозахисту будівлі та виконаний аналіз ефективності варіантів у порівнянні з вихідною розрахунковою моделлю будівлі.

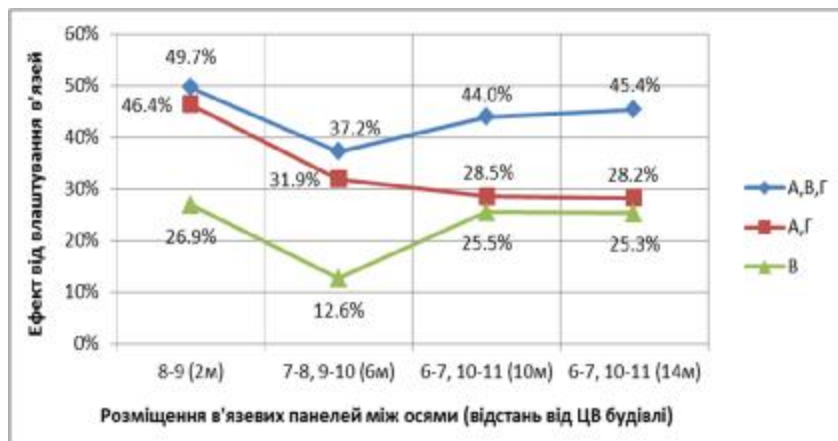
За результатами розрахунків отримані залежності величини ефекту підвищення сейсмостійкості будівлі в'язевими панелями від їх місця розташування в плані відносно центру ваги будівлі (рис. 13).

Аналіз ефекту варіантів розміщення в'язевих панелей в плані будівлі вздовж поздовжніх осей для регулярної (рис. 13, а) та нерегулярної (рис. 13, б) конструктивних схем показує, що для розглянутих варіантів спостерігається тенденція зменшення ефективності від влаштування в'язевих панелей по мірі віддалення в'язевих панелей від центра ваги будівлі. При цьому різниця ефекту між крайніми положеннями в'язевих панелей для будівлі з регулярною схемою колон

значно більша (в середньому 8,3%) ніж для будівлі з нерегулярною схемою (в середньому 3%) за виключенням варіанту розташування в'язевих панелей по крайнім повздовжнім осям (вісі А і Г) на відстані 6 м від центру ваги будівлі (між осями 7-8 та 9-10). Зниження ефекту складає 14,3%, при коефіцієнті ефективності (-0,532), що обумовлено нерівномірним розподілом жорсткостей в плані будівлі.



а



б

Рисунок 13 – Графіки ефективності влаштування в'язевих панелей в повздовжньому напрямі по одній, двом і трьом осям:

- а - для регулярної схеми колон в плані будівлі;
- б - для нерегулярної схеми колон в плані будівлі

Аналіз розміщення в'язевих панелей вздовж поперечних осей будівлі, показав зниження ефекту в залежності від їх кількості в межах одного кроку колон. В більшості варіантів розташування в'язевих панелей відносно до центра ваги будівлі, як для будівлі з регулярною схемою, так і для будівлі з нерегулярною схемою спостерігається характер збільшення ефекту із збільшенням кількості в'язей у поперечному перерізі будівлі та його зменшення по мірі віддалення в'язевих панелей від центру ваги будівлі. Коефіцієнти ефективності для однієї, двох і трьох пар в'язевих панелей у поперечному напрямі зі збільшенням відстані від центру ваги будівлі відповідно мають значення: -0,720; -0,367; і -0,234 – для регулярної схеми і -0,059; -0,069; -0,087 – для нерегулярної схеми, що свідчить про зниження ефекту їх влаштування у поперечному перерізі будівлі по мірі віддалення від центру ваги будівлі (від'ємне значення).

З цього виходить, що при розробці проектів підвищення сейсмостійкості існуючих будівель необхідно прагнути до розташування додаткових елементів жорсткості ближче до центра ваги будівлі і уникати їх крайніх положень та при можливості, вживати заходів з покращення регулярності конструктивної схеми.

У п'ятому розділі наведені результати розробки методики врахування впливу зміни розрахункової сейсмичності будівельного майданчику на конструктивні та техніко-економічні характеристики будівлі.

Дослідження зміни конструктивних характеристик будівлі (зміна конструктивної схеми, перерізів елементів, армування) в залежності від зміни розрахункової сейсмичності будівельного майданчику дасть змогу отримати економічні показники для будівель, які мають однакову конструктивну надійність в різних сейсмичних умовах.

У якості об'єкта дослідження прийнята 12-ти поверхова будівля розмірами в плані $25,6 \times 40,35$ м з підземним паркінгом висотою 2,8 м та технічним поверхом висотою 3,5 м, висота житлових поверхів складає 3,15 м. Будівля має два ядра жорсткості. Монолітний залізобетонний каркас складається з колон, перекриття і діафрагм жорсткості. Крок колон прийнято нерегулярним. Просторова жорсткість забезпечується за рахунок жорсткого з'єднання колон з фундаментом, жорсткими дисками міжповерхового перекриття та діафрагм жорсткості (стіни, ліфтова шахта).

Клас наслідків будівлі – СС2.

Конструктивна схема будівлі змінювалась в залежності від інтенсивності сейсмичного впливу згідно конструктивних вимог державних будівельних норм ДБН В.1.1-12:2014 (рис. 14). На рис. 15, а наведена вихідна модель (варіант 1) будівлі.

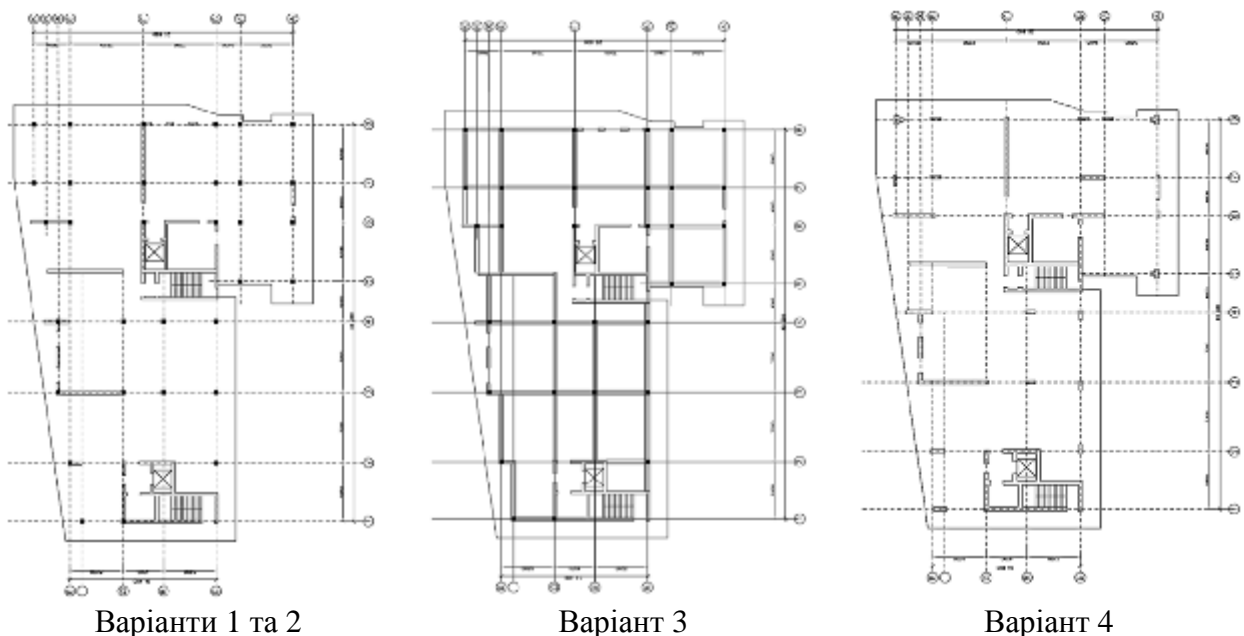


Рисунок 14 – Схеми перекриття типового поверху для варіантів конструктивних схем

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівлі з різними конструктивними схемами при зміні сейсмичного навантаження виконувалися спектральним методом з урахуванням, крім поступальних, крутильних

сейсмічних впливів (сейсмічного моменту, нерівномірного поля коливань ґрунту) із застосуванням синтезованих акселерограм (в програмному комплексі SCAD Office). Розрахункова модель для 4 варіанту конструктивної схеми будівлі і періоди власних і вимушених коливань для розглянутих варіантів конструктивних схем будівлі і сейсмічності будівельного майданчика наведені на рис. 15, б.

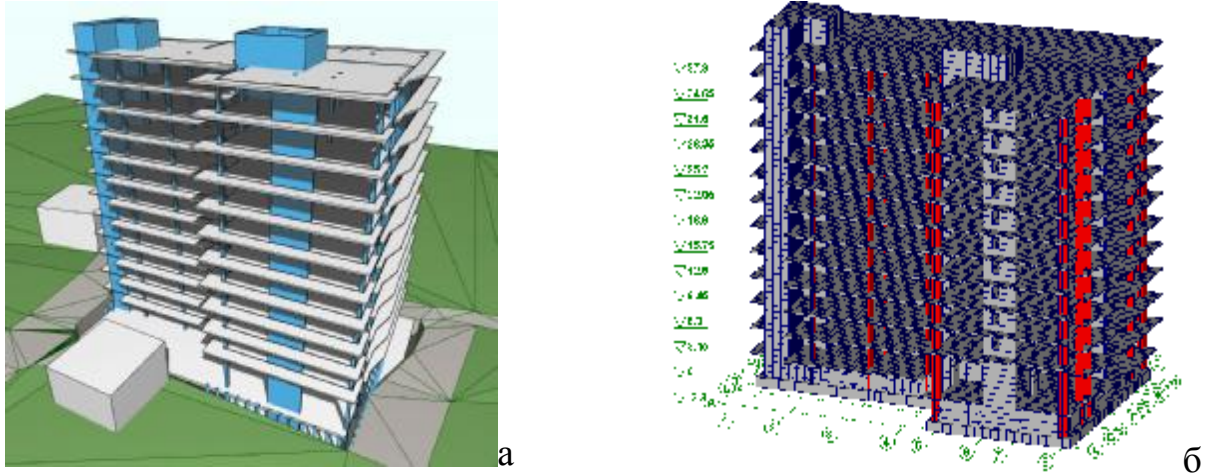


Рисунок 15 – Вихідна модель будівлі (а) та розрахункова модель будівлі (б) для сейсмічності будівельного майданчика 9 балів

Виконано розрахунки для 5 варіантів розрахункових схем (без урахування сейсмічного впливу, інтенсивність 6 балів, 7 балів, 8 балів і 9 балів), кожна з яких відповідає критеріям надійності, несучої здатності та сейсмічної стійкості будівлі в умовах різних величин сейсмічного навантаження.

В результаті виконаних розрахунків напружено-деформованого стану варіантів будівлі з урахуванням сейсмічного впливу визначені загальні витрати бетону та арматури при різних рівнях розрахункової сейсмічності майданчику. На рис. 16 показана залежність витрат арматури та бетону на конструктивні елементи будівлі.

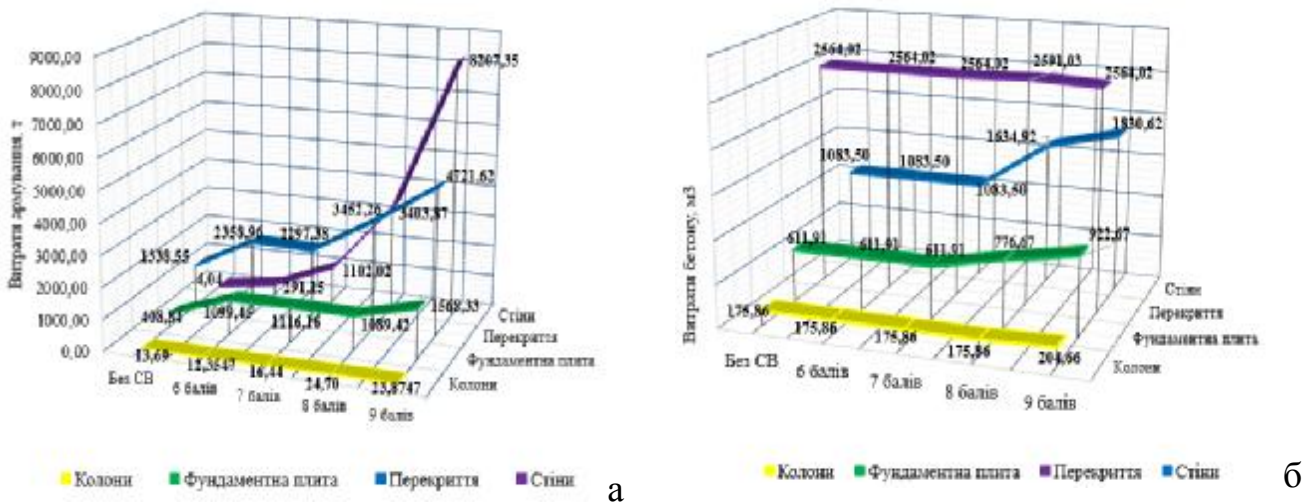


Рисунок 16 – Графіки залежності витрат арматури та бетону на конструктивні елементи від рівня сейсмічності:

а – витрати арматури, т; б – витрати бетону, м³

За результатами розрахунків встановлено, що у порівнянні в вихідною схемою витрати арматури збільшуються на 113% для сейсмічності будівельного майданчика 6 балів і на 157%, 352% та 723%, відповідно, для сейсмічності будівельного майданчика 7, 8 та 9 балів, а також на розрахункове армування впливає прийнята конструктивна схема будівлі.

Для порівняльного аналізу техніко-економічних показників розглянутих варіантів конструктивних схем будівлі при зміні розрахункової сейсмічності будівельного майданчика на рис. 17 наведена загальна вартість конструктивних матеріалів (бетону класу С20/25 та арматури класу А500С) в цінах 2019, 2015 та 2012 років.

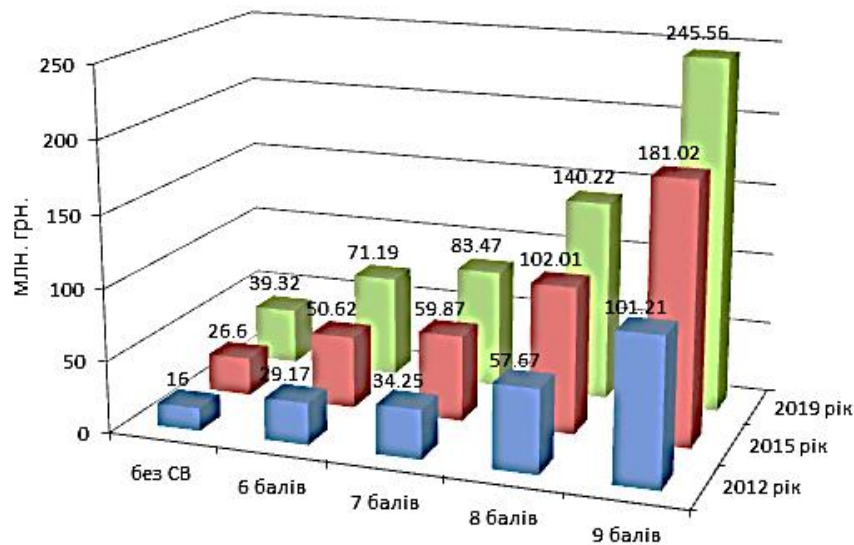


Рисунок 17 – Діаграма сумарних витрат на конструктивні матеріали

Як показують розрахунки зміна розрахункової сейсмічності будівельного майданчика на один бал підвищує вартість витрат на конструктивні матеріали майже у 2 рази (за виключенням переходу території із 6-ти бальної до 7 бальної).

Сумарні витрати на конструктивні матеріали в залежності від сейсмічності майданчика будівництва показують, що в період з 2012 до 2015 року, з урахуванням зміни економічної ситуації в Україні, витрати коштів на конструктивні матеріали збільшилися на 66 – 79 відсотків. У порівнянні 2012 із 2019 роком, сумарні витрати коштів на арматуру і бетон збільшилися на 143 – 146 відсотків.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, яка полягає в дослідженні сейсмічної поведінки багатопверхових будівель при підвищенні сейсмостійкості існуючих будівель, зміні сейсмічності будівельного майданчика, нерегулярності конструктивної схеми та розробці науково обґрунтованих положень та методів їх розрахунку.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації полягають у наступному:

1. На основі аналізу сучасного стану забезпечення сейсмічної стійкості будівель та методів розрахунку будівель при сейсмічних впливах обґрунтований метод

нелінійного статичного розрахунку сейсмічної стійкості багатоповерхових будівель із нерегулярною конструктивною схемою для дослідження їх поведінки при сейсмічних впливах.

2. Вперше розроблений алгоритм та методологія визначення сейсмостійкості будівель із нерегулярною конструктивною схемою при дії сейсмічного навантаження на основі методу нелінійного статичного розрахунку. Метод пов'язує несучу здатність будівлі, представлену як залежність переміщення верху будівлі від зсувної сили в основі, з сейсмічним впливом, представленим у вигляді спектру реакції.

3. На основі розробленої методики вперше отримані криві спектрів несучої здатності моделей багатоповерхових каркасних будівель із нерегулярною конструктивною схемою при сейсмічному впливі та отримані уявлення про закономірності зміни спектрів несучої здатності будівлі з урахуванням нелінійної поведінки ґрунтів основи та фізичної нелінійності матеріалів конструкцій.

4. Отримали подальшого розвитку уявлення про закономірності зміни напружено-деформованого стану конструкцій каркасу існуючої будівлі незавершеного будівництва при дії сейсмічного навантаження в залежності від місця розташування в'язевих панелей жорсткості в плані відносно центра ваги будівлі при підвищенні її сейсмостійкості, визначене необхідне армування конструкцій каркасу для забезпечення нормативних вимог сейсмозахисту будівлі та виконаний аналіз ефективності варіантів у порівнянні з вихідною розрахунковою моделлю будівлі.

5. Дістала подальшого розвитку методика врахування впливу зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчику на конструктивні та техніко-економічні характеристики будівлі та на її основі встановлено, що при переході будівельного майданчика з несейсмічної зони до б-ти бальної, вартість витрат на матеріали (бетон та арматура) конструктивних елементів збільшується майже в 2 рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Bilyk S. I., Natheer Aied Athaab Al-Taie, Adil Jabbar Abbas. Temperatures affected on two hinged steel arch bridge. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*. July 2016. Vol.5, Issue 4, P. 21–29. URL:https://www.ijesit.com/Volume%205/Issue%204/IJESIT201604_04.pdf. (Іноземне видання, входить до міжнародних наукометричних баз).

2. Bilyk S. I., Natheer Aied Athaab Al-Taie, Adil Jabbar Abbas. Fabrication of Plate Girders and Cover-Plate Beams. *Науковий вісник будівництва*. Київ, 2016. Вип. (3) 85. С. 87–92. (Фахове видання, входить до міжнародних наукометричних баз).

3. Bilyk S. I., Natheer Aied Athaab Al-Taie, Adil Jabbar Abbas. Field Welding of Steel Girders for Bridges. *Будівельні вироби та матеріали*. Київ, 2016. Вип. (2–3) 92. С. 72–74. (Фахове видання).

4. Аббас А. Дж., Нікіфорова Т. Д., Савицький М. В. Підвищення сейсмостійкості існуючої будівлі при реконструкції. *Строительство, материаловедение, машиностроение : Сб. науч. трудов*. Дніпро, 2017. Вып. 100. С. 13–24. (Фахове видання).

5. Аббас А. Дж., Нікіфорова Т. Д., Шляхов К. В., Сопільняк А. М. Вплив сейсмічності будівельного майданчика на матеріалоемність багатоповерхової будівлі. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. Дніпро, 2019. №6 (259-260). С.10–17. URL:<http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/2511>. (Фахове видання, включене до міжнародної бази Index Copernicus).

6. Shekhorkina S.Yev., Adil Jabbar Abbas, Nikiforova T. D. Investigation of the stress-strain state of hybrid timber-reinforced concrete multi-storey buildings. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. Дніпро, 2020. № 5. С. 176–181. (Фахове видання, включене до міжнародної бази Index Copernicus).

7. Adil Jabbar Abbas, Nikiforova Tetiana. Influence of the seismicity of the construction site on structural parameters of the buildings. *Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects*. Dnipro – Bratislava, 2018. P.11–20. (Іноземне видання).

8. Зезюков Д. М., Никифорова Т. Д., Адил Джаббар Аббас. Оптимальные параметры колонн при проектировании каркасных систем со сборно-монолитным перекрытием. *Dynamics of the development of world science. Perfect Publishing*. Vancouver, Canada, 2019. P. 744–750. URL:<https://sci-conf.com.ua>. (Іноземне видання).

АНОТАЦІЯ

Аділ Джаббар Аббас. Сейсмостійкість багатоповерхових будівель в залежності від конструктивних схем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» (19 – Архітектура та будівництво). – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, яка полягає в дослідженні сейсмічної поведінки багатоповерхових будівель при підвищенні сейсмостійкості існуючих будівель, зміні сейсмічності будівельного майданчика, нерегулярності конструктивної схеми та розробці науково обґрунтованих положень та методів їх розрахунку.

Наведені результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану конструкцій багатоповерхових будівель та методики їх розрахунку на основі яких отримані уявлення про закономірності зміни спектрів несучої здатності будівлі з урахуванням нелінійної поведінки ґрунтів основи та фізичної нелінійності матеріалів конструкцій, уявлення про закономірності зміни напружено-деформованого стану конструкцій існуючої будівлі незавершеного будівництва при дії сейсмічного навантаження в залежності від місця розташування в'язевих панелей жорсткості в плані відносно центра ваги будівлі при підвищенні її сейсмостійкості та закономірності впливу зміни розрахункової сейсмічності будівельного майданчика на конструктивні та техніко-економічні характеристики заходів сейсмосахисту будівель.

Ключові слова: сейсмічний вплив, напружено-деформований стан, сейсмічна стійкість, спектр несучої здатності, будівлі, реконструкція.

SUMMARY

Adil Jabbar Abbas. Earthquake resistance of multi-storey buildings depending on design layouts. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Qualifying Scientific Paper as a Manuscript.

Thesis for a PhD Degree in Engineering, Major 05.23.01 «Building Designs, Buildings and Structures» (19 - Architecture and Civil Engineering). – Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The Thesis is devoted to solving the actual scientific and practical problem of ensuring earthquake resistance of multi-storey buildings depending on design layouts and changes in earthquake activity of the construction site.

The urgency of the scientific problem is substantiated, as well as the purpose and objectives of studies are formulated. The author characterized the scientific novelty and practical value of the paper, having presented its general description and links to scientific programs and topics.

The Thesis Paper provides a brief overview of research to ensure reliability and design safety of buildings being engineered in earthquake areas. The general design requirements of ensuring earthquake resistance of buildings were considered, and the ways to increase earthquake resistance of buildings, and methods to proportionate buildings for seismic impacts were analyzed.

The analysis of modern regulatory documents of different countries, results of theoretical research and cited literature showed that the work to improve methods of the building design calculation for seismic loads and to increase earthquake resistance of buildings is currently performed in active mode.

Earthquake-resistant engineering of buildings is based on force calculation and earthquake accounting by static equivalent forces, which are calculated using the elastic reaction spectra (linear-spectral method) that link the law of soil motion to the absolute acceleration of the model in the form of a nonlinear oscillator.

Design calculation with due account for the plastic and nonlinear behavior and even with an eye towards destruction of individual design elements of the building requires the use of more complex mechanical and mathematical models and theories. It is necessary to take into account the redistribution of forces along the design associated with the appearance of zones of plastic deformation in it. However, in all cases, the criterion for assessing the load-bearing capacity of the design is the principle of comparing external and internal forces.

In existing studies, there is a near-zero information about the dependence of the cost of seismic protection measures in existing buildings on changes in earthquake activity of the construction site; not many papers have been done to study the behavior of buildings with the irregular distribution of weight, stiffness or resistance to seismic loads.

Therefore, the scientific interest in solving problems to ensure earthquake resistance of multi-storey buildings are the tasks for choosing a rational and effective way to increase their earthquake resistance during the reconstruction and dependence of the cost of seismic protection measures in existing buildings on changes in earthquake activity of the construction site; for studying influence of irregularity of the building design layout on

earthquake resistance.

The technique and algorithm of numerical modeling of buildings with the irregular design layout at seismic impact calculations were developed on the basis of the method of the static nonlinear calculation realized in the ETABS software package (Nonlinear v8.08). The technique is based on the determination of nonlinear displacements of the building with the use of the bearing capacity spectrum of the building. Numerical modeling and analysis of the seismic behavior of five options of models of the building with the irregular design layout were performed.

Analysis of the bearing capacity spectra of models of the building with the irregular design layout showed that buildings with the irregular design layout in the plan have a lower ability to withstand transverse loads compared to the regular design layout. It was also found that frame buildings with the irregular design layout under seismic impacts could operate in the elastic stage; this depends on the location of irregularity in the building plan, as well as the plastic properties of design materials of the building.

In the paper, there have been given the results of influence of the reconstruction on the stress-strain state of the facility and search for the most rational and effective way to increase earthquake resistance of the building in progress and develop methods for the comparative analysis of different options for increasing earthquake resistance of the building, as well as estimation of its practical use.

According to the research results, the patterns of change in the stress-strain state of the existing building frame designs were revealed under seismic loads depending on the location of braced rigidity panels in the plan relative to the center of gravity of the building; therefore, the required reinforcement of designs of the frame was determined to ensure the regulatory requirements of seismic protection of the building, and the analysis of efficiency of options in comparison with the initial design model of the building was conducted.

Since the introduction of the new design standards Civil Engineering in Earthquake Areas of Ukraine, earthquake endangered areas with a general increase in their calculated earthquake activity have been significantly expanded, and the 6-point territories have been included in the list of earthquake zones.

The results of changing the stress-strain state of designs of the multi-storey building and the technique of taking into account influence of changes in the calculated earthquake activity of the construction site on design, technical and economic characteristics of the building are presented.

The obtained relations of changing the stress-strain state of designs of the multi-storey building, in dependence to changes in the calculated earthquake activity of the construction site, allow obtaining economic indicators for buildings that have the same design reliability in different seismic conditions.

The Thesis Paper solves an important scientific and practical problem, which is to study the seismic behavior of multi-storey buildings while increasing earthquake resistance of existing buildings, to change earthquake activity of the construction site and irregular design layout, and to develop scientifically sound provisions and methods for their calculation.

Key words: seismic impact, stress-strain state, earthquake resistance, bearing capacity spectrum, buildings, reconstruction.

Підписано до друку 05.04.2021 р. Формат 60x84 1/16
Цифровий друк. Папір офсетний.
Умовно-друкарських аркушів 1.51. Тираж 100 примірників
Замовлення № 20.
Фізична особа підприємець Скрипець О.М.
Вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро 49600.
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»