

УДК 614.841.332

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.1>**Кайдаш М.Д.**

к.т.н., професор кафедри технологій зварювання і будівництва,
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
ORCID ID: 0000-0001-9378-4251

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ВЕЛИКИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ СТАТИЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. Мета статті – визначити оптимальні, економічно обґрунтовані рішення щодо забезпечення стійкості великогабаритних будівельних конструкцій в умовах статистичних і вібраційних навантажень. Фокус дослідження – розробка адаптивних до умов України рішень із підвищення сейсмостійкості будівельних об'єктів на етапі проектування і будівництва, що визначає новизну дослідження, оскільки аналогічні дослідні рішення сфокусовані на постфактумних заходах, що впроваджуються для реконструкції наявного будівельного фонду. Для моделювання використано український програмний продукт – ПК ЛІРА САПР. Моделювання проводиться для будівельного об'єкта масового будівництва житлового призначення, що зводиться на території сейсмоактивного регіону. Після моделювання будівельного об'єкта житлового призначення, який будується на території із сейсмічною активністю в 9 балів, розглянуто такі рішення для підвищення його сейсмостійкості: підсилення за допомогою інтеграції діафрагм та ядер жорсткості в каркас; підсилення за допомогою інтеграції металевих хрестових зв'язків у каркас; підсилення за допомогою інтеграції металевих порталних зв'язків у каркас; підсилення за допомогою комбінованого рішення. Під час моделювання сейсмічної дії на досліджуваній об'єкт встановлено, що без посилення будівельні конструкції переміщуються до 1 м. У разі посилення діафрагмами та ядрами жорсткості цей показник знизився до 375 мм із наступним загасанням до нуля. У разі посилення хрестовими металевими зв'язками зазначений параметр набув значення 393 мм, проте згасання сейсмічного впливу не було. При посиленні моделі, що моделюється, порталними металевими зв'язками показник абсолютного переміщення зменшився (проти схеми без посилення) до 178 мм із поступовим загасанням до 10-20 мм. Комбіноване рішення (діафрагми жорсткості й порталні зв'язки) знизили фокусний показник до 0 на першій хвилі сейсмічного обурення. Отже, щоб максимально захистити будівельний об'єкт, який будують на сейсмоактивних територіях України, доцільно використовувати посилення комбінованим методом.

Ключові слова: сейсμοзахист, сейсμοізоляція, віброізоляція, архітектурно-конструктивні рішення, комбіновані рішення.

Постановка проблеми. Серед вібраційних навантажень, що впливають на будівельні системи й конструкції, найбільш руйнівними є землетруси. У лютому 2023 року світову спільноту вразили наслідки турецько-сирійського землетрусу [1]: 06 лютого 2023 року на півдні Туреччини, неподалік північного кордону Сирії, стався землетрус магнітудою 7,8. За цим землетрусом, майже через дев'ять годин, був землетрус магнітудою 7,5 приблизно в 59 милях (95 км) на південний захід. Станом на 09 лютого зареєстровано щонайменше 1206 афтершоків. Цей землетрус був найбільш руйнівним за останні 20 років, як і землетрус 1939 року, найпотужніший із

зареєстрованих там. Загальна кількість загиблих у Туреччині й Сирії становила понад 41 000 осіб. У Туреччині внаслідок стихійного лиха загинуло щонайменше 35 400 людей. Міністерство охорони здоров'я сирійського уряду повідомило про 1414 смертельних випадків, а ООН повідомило про 4400 смертельних випадків на північному заході Сирії, який утримують повстанці. Оцінка збитків триває, проте, за даними державного інформаційного агентства Anadolu, у Туреччині зруйновано або серйозно пошкоджено щонайменше 41 791 будівлю. «Білі каски» заявили, що станом на 14 лютого на північному заході Сирії зруйновано понад 550 будівель, понад

1570 пошкоджено. На північному заході Сирії із 06 по 13 лютого після землетрусів зареєстровано понад 57 000 переміщень. Місцева влада на північному заході Сирії стверджує, що понад 11 000 сімей залишилися без даху над головою.

Більшість територій України розташовані в зоні із сейсмічністю в 5-6 балів [5]. Проте є території, що розташовані в зонах із високою сейсмічністю (8-9 балів): Закарпатська область, Одеська область та АР Крим [5–8]. Така ситуація склалася внаслідок того, що Україна межує із сейсмоактивною зоною Вранча (Румунія) [9–11]. Найсильніші землетруси, які були на території України [12, 13]: АР Крим, 1927, 8 балів; Закарпаття, 1979, 7 балів; Одещина, 1986, 7 балів.

Отже, доцільним є дослідження і розробка рішень із підвищення вібраційної сейсмічної стійкості будівельних конструкцій (особливо великогабаритних, як-от перекриття, покриття, стінові панелі тощо), що особливо актуальним в умовах збройної агресії російської федерації та подальшого післявоєнного відновлення України [14–16].

Аналіз останніх досліджень. З-поміж останніх досліджень щодо забезпечення сейсмічного й вібраційного захисту будівель і споруд (включно з великогабаритними будівельними конструкціями й системами) слід виокремити такі релевантні публікації: М. Wu et al. [17] «щодо використання як сейсмоізоляції гумопіщаної подушки», G. C. Magano, M. M. Rosso & J. Melchiorre [18] «щодо оптимізації використання демпферних систем сейсмо-вібраційного захисту будівельних конструкцій різних споруд», Т. Peng, J. Guan & Y. Wu [19] «щодо дослідження нового типу сейсмоізоляційного пристрою – двоступеневого маятникового підшипника тертя», М. Noori et al. [20] «щодо можливостей використання оптимізованих рішень з асейсмічної ізоляції архітектурного середовища», Q. Wang, Z. Zheng, H. Qiao, & D. De Domenico [21] «щодо використання як вібраційних абсорберів мультів'язких інертних демпферів» тощо.

Значну частину профільних публікацій у релевантному й актуальному наукометричному ландшафті присвячено дослідженню систем сейсмозахисту й сейсмоізоляції будівельних об'єктів, що зводяться на території сейсмоактивних районів, згідно з якими можливо виокремити такі основні класи: пасивні

(елеастомірні опори, еластомірні опори зі свинцевими сердечниками, опори фрикційно-рухомого типу з плоскими горизонтальними поверхнями ковзання, кінематичні системи з опорами, що коливаються, тощо) й активні (сейсмоізолюючі елементи, що потребують застосування активної системи стеження – тензодатчиків: фрикційно-рухливі опори зі сферичними поверхнями ковзання, трикомпонентна пружинно-демпферна система тощо) системи вібросейсмічного захисту.

Втім вищеперелічені рішення мають пострафактумний характер, тобто застосовуються як пасивні й активні елементи для сейсмоізоляції готових або наявних будівельних об'єктів. Водночас у фокусі цього дослідження – вивчення можливості розробки архітектурно-конструкційних рішень улаштування будівель і споруд, оптимізованих за параметром сейсмостійкості вже на початковій стадії будівництва, що є доцільним напрямам пошуків мають далекосяжні економічні наслідки та є найбільш прийнятним методом захисту будівель і споруд від землетрусів і підземних поштовхів в умовах будівельного виробництва України.

Мета роботи полягає в пошуку оптимальних, економічно виправданих архітектурно-конструктивних рішень з улаштування великогабаритних будівельних конструкцій і систем будівельних об'єктів, що зводяться в сейсмоактивних регіонах України.

Результати досліджень. Дослідження проводиться методом скінченно-елементного моделювання у вітчизняному програмному комплексі ЛІРА-САПР [22], що оптимізований до вимог розрахунку й проектування української нормативної бази.

Як скінченно-елементну модель визначено будівельний об'єкт – житловий будинок, що будують відповідно до положень [23] з урахуванням типової (фактичної) середньої поверховості [24] містобудівних [25] і сейсмонебезпечних обмежень [5] (рис. 1).

В основі будівельної системи проектного об'єкта капітального будівництва в сейсмоактивному районі – залізобетонний каркас, що виконують відповідно до вимог [26]. У міжповерховій комунікації будівельних об'ємів окремих поверхів є ліфтова шахта й залізобетонні сходи (рис. 2).

Отримана в програмно-цифровому середовищі утиліті САПФІР-3D модель проектного будівельного об'єкта житлового призначення переводиться в скінченно-елементну

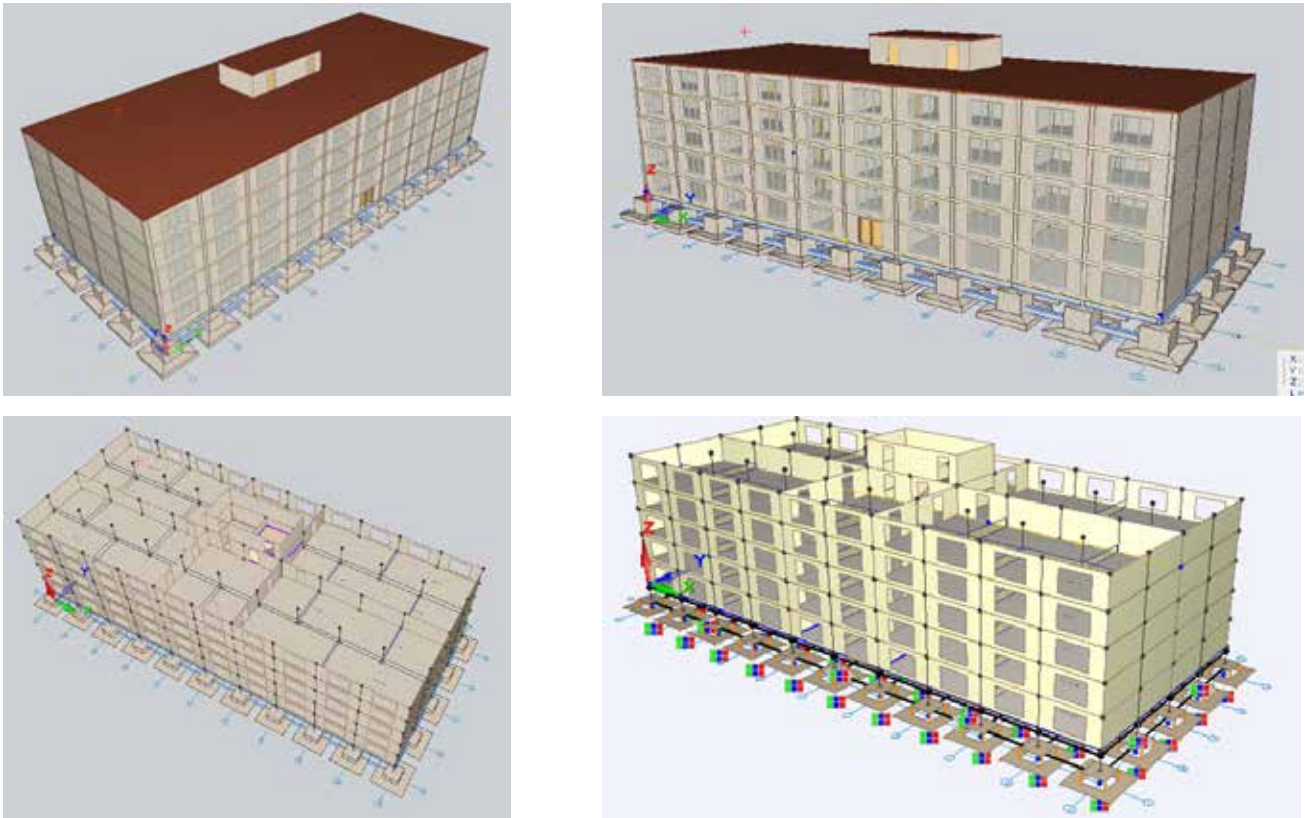


Рис. 1. Модель досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, виконана в ПК ЛІРА-САПР [22] (САПФІР-3D)

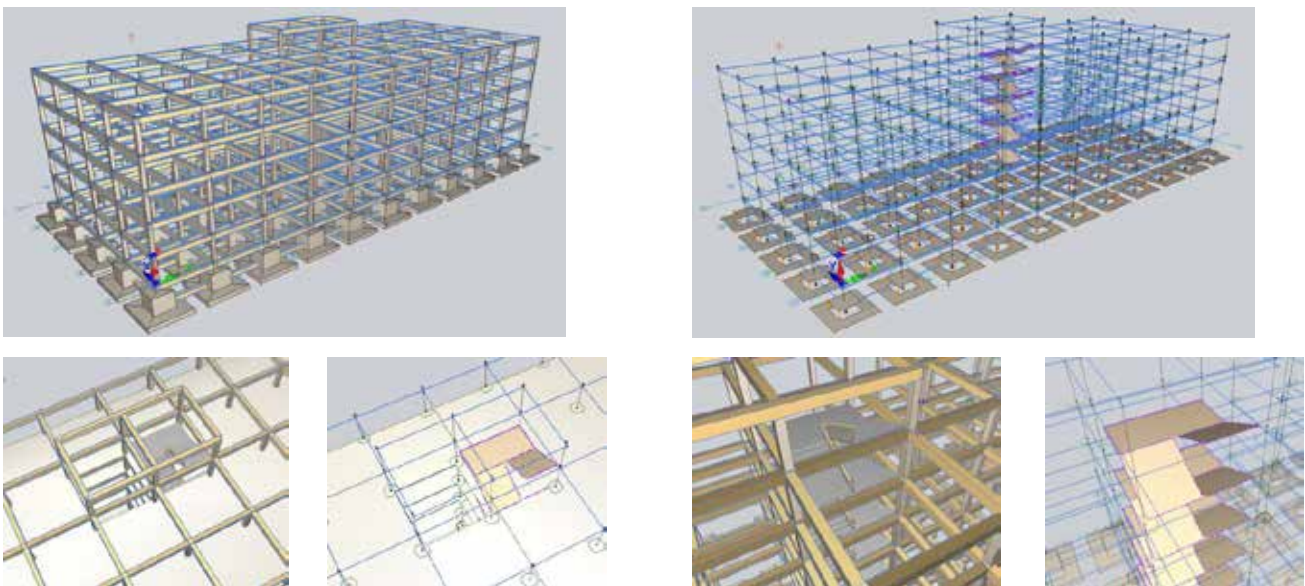


Рис. 2. Конструктивні рішення моделі будівельного об'єкта житлового призначення, виконаної в ПК ЛІРА-САПР [22] (САПФІР-3D)

модель для розрахунку в ПК ЛІРА-САПР [22] (рис. 3).

Подальше моделювання відбувається безпосередньо в програмно-цифровому середо-

вищі ЛІРА-САПР [22] із фокусом на динаміку залізобетонного каркаса.

Перший етап моделювання – дослідження стану будівельних конструкцій (особливо

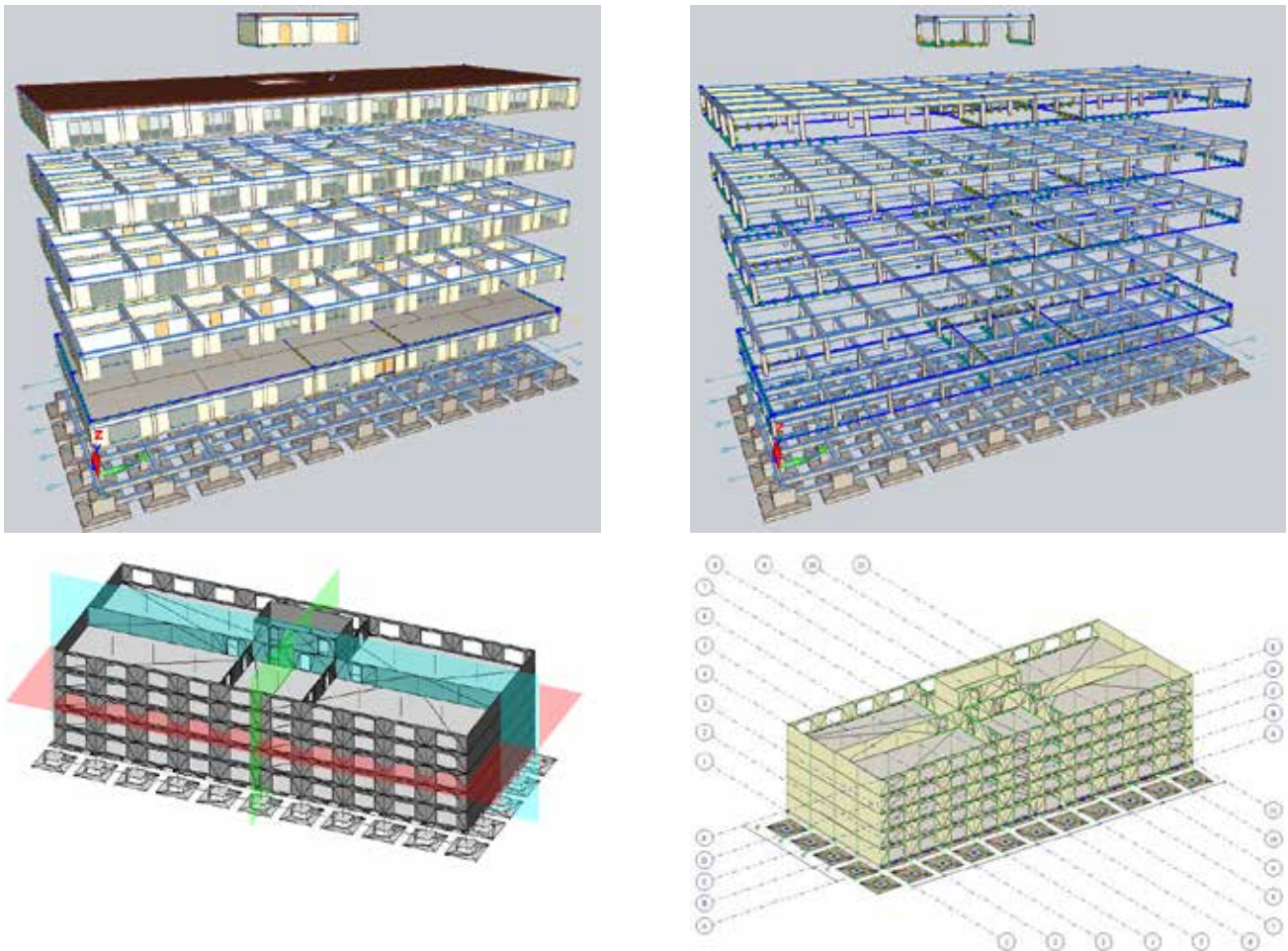


Рис. 3. Скінченно-елементна модель досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, виконана в ПК ЛІРА-САПР [22]

великогабаритних) під дією статичних і динамічних (сейсмічних) навантажень за типових рішень будівництва аналогічних об'єктів в умовах нормативної регуляції України ([5], [23], [25], [26]). Навантаження будівельних конструкцій і систем модельованого будівельного об'єкта виконують відповідно до положень [27], що містить: навантаження від власної ваги конструктивних елементів, постійні специфічні (технологічні) навантаження, снігові, зокрема від снігових карманів, вітрові й сейсмічні навантаження (вібраційна динамічна складова, для якої задають відповідну акселерограму, що відповідає вимогам [5] (рис. 4).

Розрахунок слід виконувати відповідно до положень [5], [26], [27]. Зовнішні огороження переводяться з відповідними значеннями в постійні навантаження від ваги стін. Кліматогеографічні показники, які варто враховувати під час статичних і динамічних навантажень (розрахункова сейсмічна магні-

туда – 9 балів), визначаються відповідно до положень [5] і [27], для локації – АР Крим.

Результуючі навантаження, а також коефіцієнти поєднання розрахункових навантажень (РПН) на конструкції моделі будівельного об'єкта житлового призначення, формуються з урахуванням положень [5], [27–29]. Результати розрахунку в програмно-цифровому середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] інтерпретуються в графічному вигляді. Перша частина результатів моделювання – графічні ілюстрації від статичних навантажень при їх максимальному (небезпечному) поєднанні за нормативним РПН, установленим на підставі положень [27–29] (рис. 5). Для розрахунку наступних варіантів посилення проектної конструкції цей розділ розрахунків не приводиться, оскільки фокус цього дослідження – на сейсмічно-вібраційному впливі (рис. 6).

Згідно з результатами моделювання (рис. 6) у програмно-цифровому середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] установлено, що

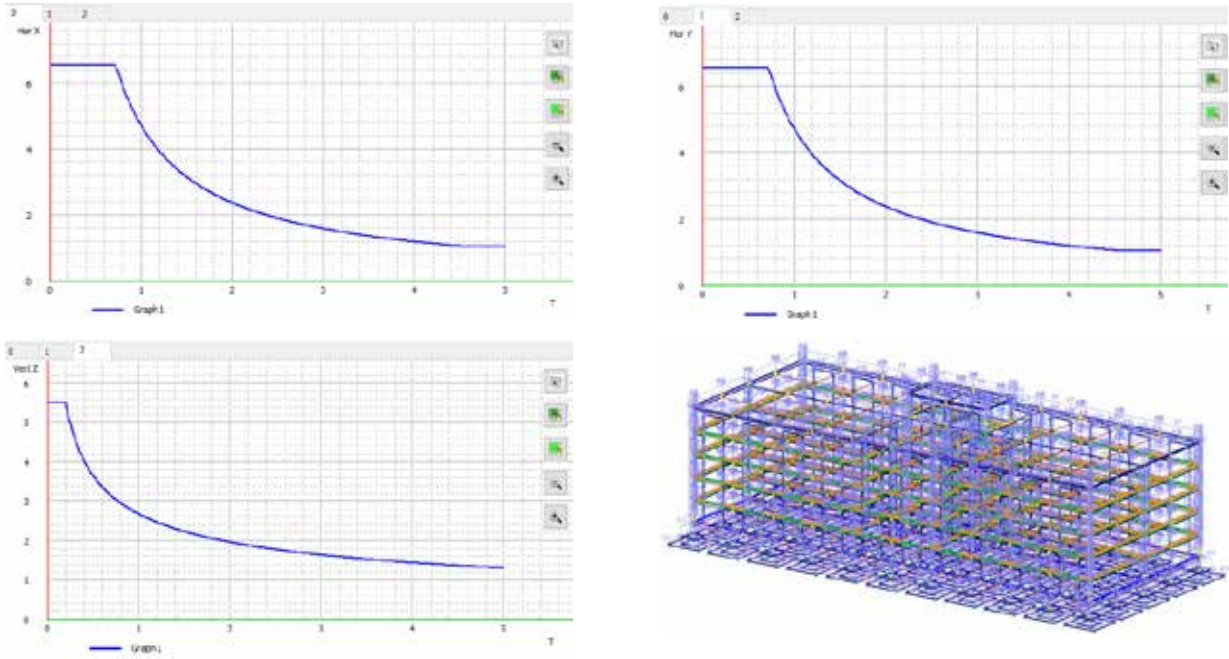


Рис. 4. Завантаження будівельних конструкцій модельованого будівельного об'єкта з урахуванням положень [5] і [27] (ПК ЛІРА-САПР [22])

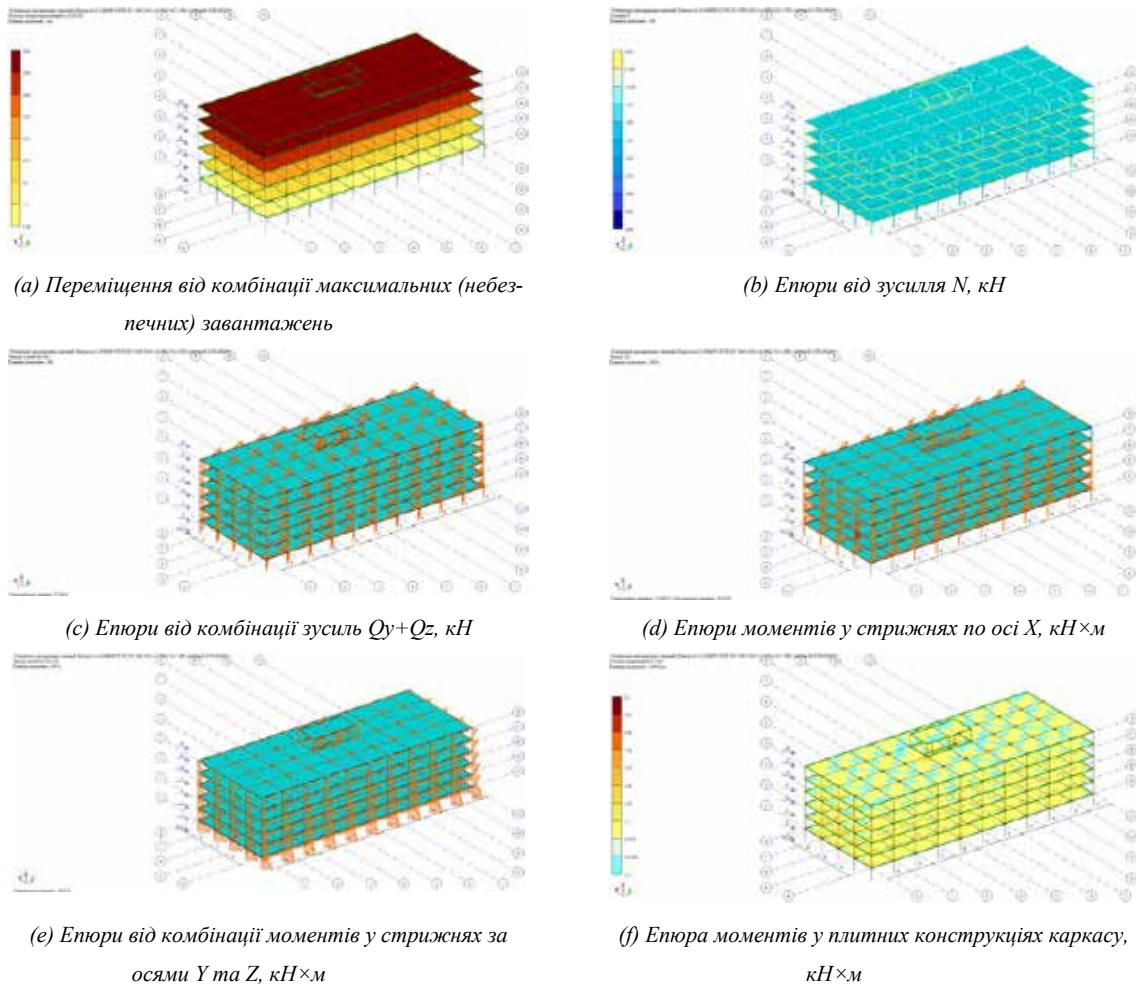


Рис. 5. Розрахункові епюри (ПК ЛІРА-САПР [22])

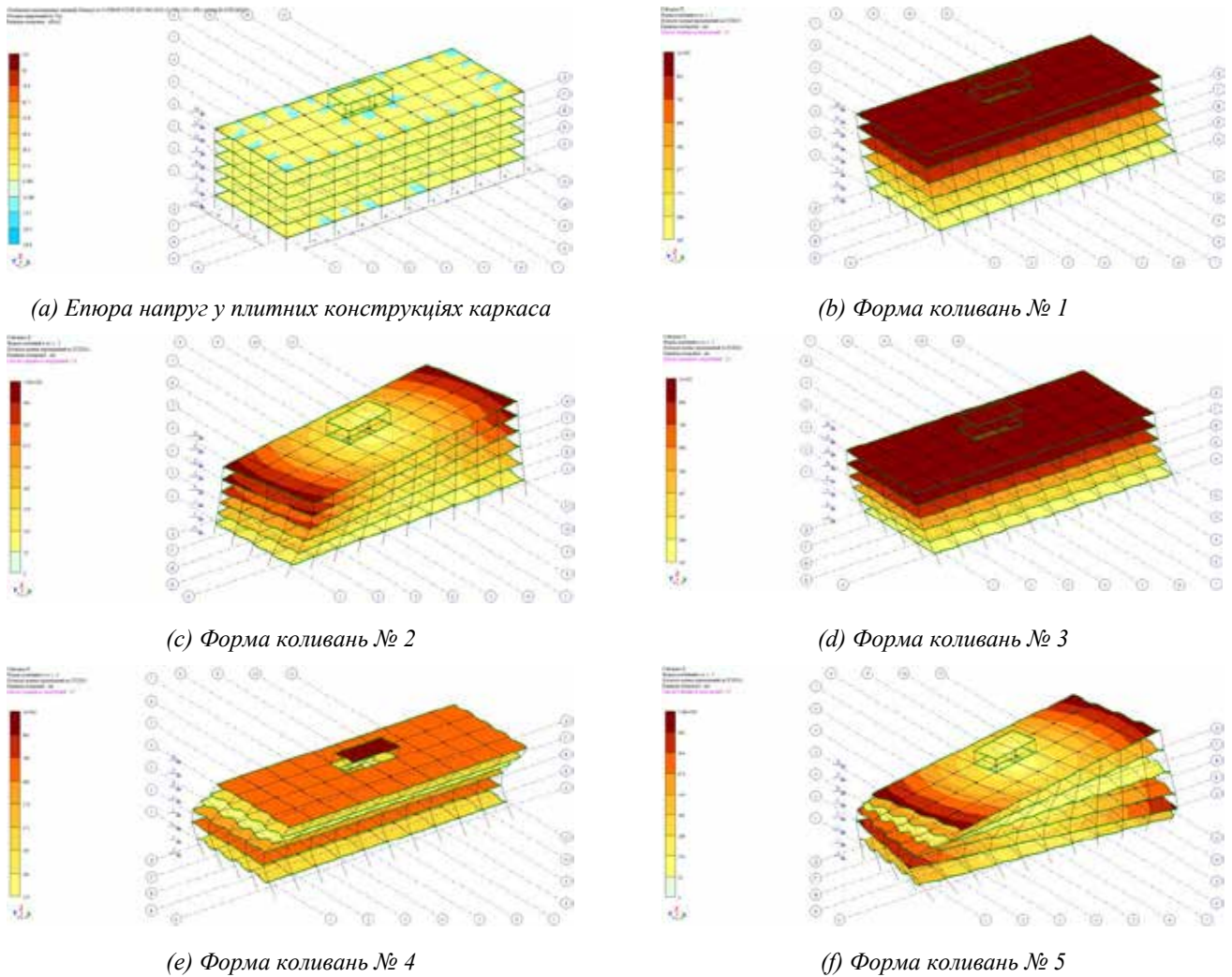


Рис. 6. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проектну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта (ПК ЛІРА-САПР [22])

каркасні конструкції досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення під сейсмічним впливом 9 балів зазнають переміщення конструктивних елементів до 1 м.

Далі проаналізуємо цю інформацію відповідно до положень [26, 30, 31] армування для такого розрахункового варіанта (рис. 7).

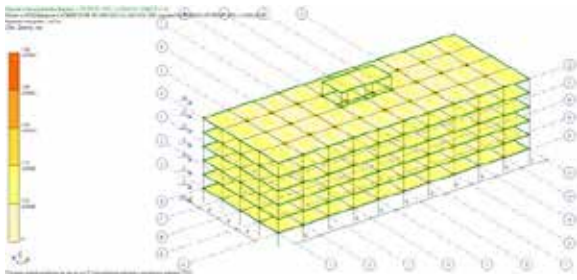
Отже, для вихідної конструкції досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри:

- абсолютне переміщення будівельних конструкцій – до 1 м;
- максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 10×200; Y – Ø12×200; поздовжня – Ø16×200×200;

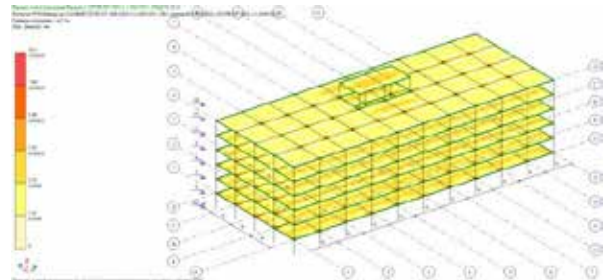
- максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2Ø4×200; балки: поперечна вертикальна 2Ø10×200, поперечна горизонтальна – 2Ø10×200.

Надалі, з урахуванням мети дослідження щодо пошуку оптимальних, економічно виправданих архітектурно-конструктивних рішень з улаштування великогабаритних будівельних конструкцій і систем будівельних об'єктів, що зводяться в сейсмоактивних регіонах України, для отриманого базового варіанта виконаємо варіативне моделювання (рис. 8).

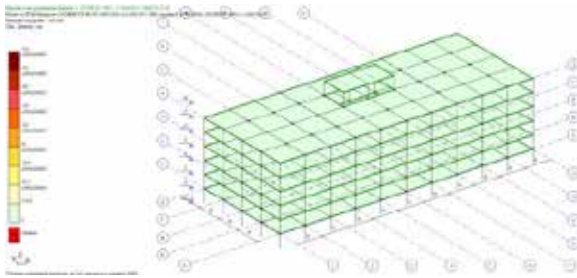
Розглянемо характеристику архітектурно-конструктивних рішень щодо підвищення вібраційної і сейсмічної стійкості великогабаритних будівельних конструкцій модельова-



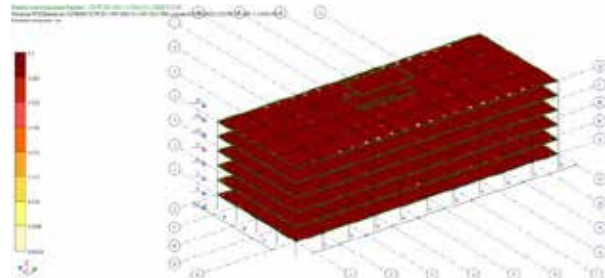
(a) Ізополя максимальної площі армування верх/низ по X



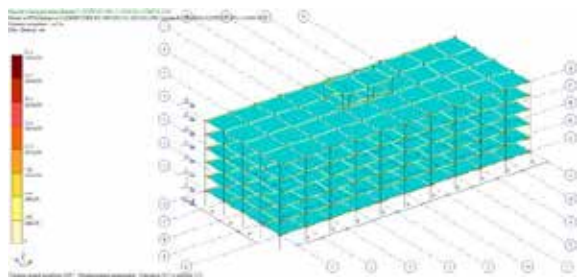
(b) Ізополя максимальної площі армування верх/низ по Y



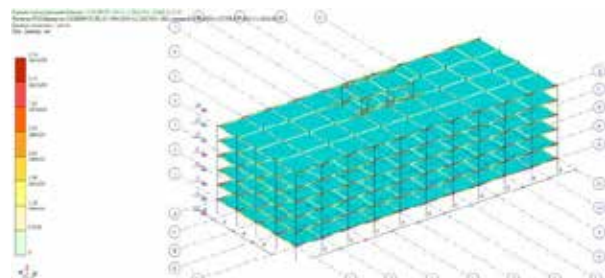
(c) Ізополя максимальної площі поперечного армування



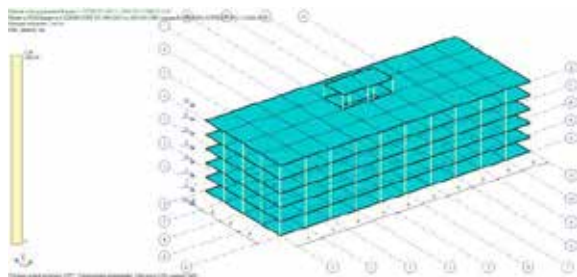
(d) Ізополя тривалого розкриття тріщин у плитних конструкціях каркаса



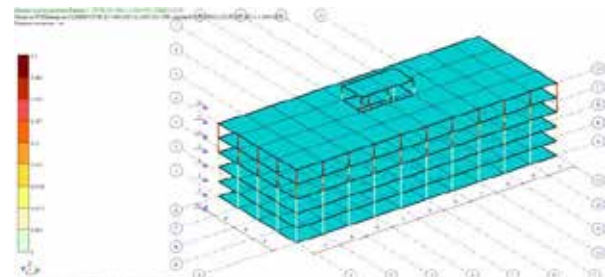
(e) Ізополя максимального поперечного вертикального армування балок



(f) Ізополя максимального поперечного горизонтального армування балок



(g) Ізополя максимального армування колон



(h) Ізополя тривалого розкриття тріщин у стержневих конструкціях каркаса

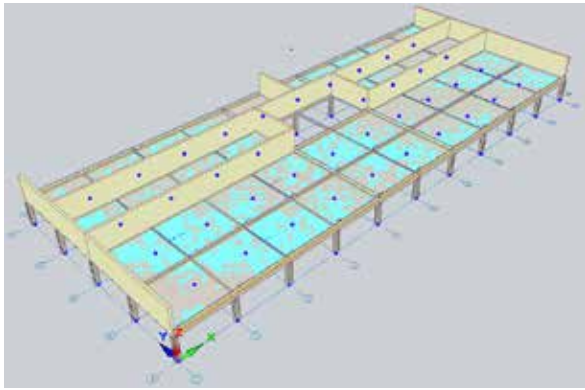
Рис. 7. Ізополя армування конструкцій будівельного об'єкта (ПК ЛІРА-САПР [22])

ного будівельного об'єкта житлового призначення (рис. 8):

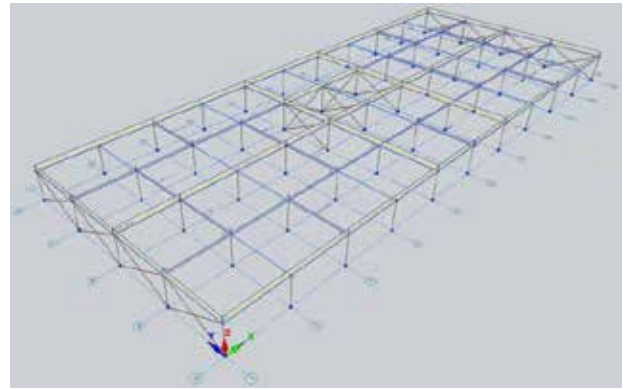
- рішення вертикальних діафрагм жорсткості: зважаючи на те, що в цьому конструктивному рішенні досліджуваного будівельного об'єкта вже присутні діафрагми

- жорсткості в горизонтальній площині (переkritтя і покриття), як додаткові заходи вживаємо вертикальні діафрагми несучих стін і ядро навколо ліфтово-сходової шахти;

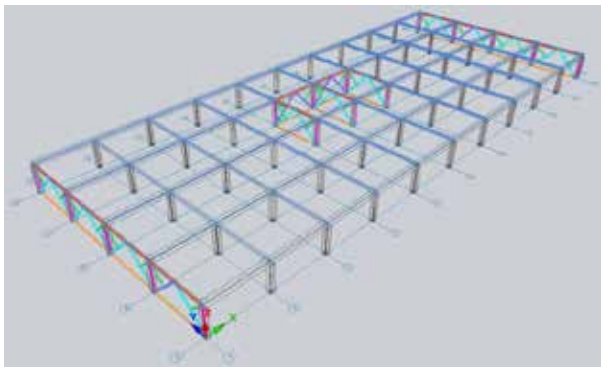
- рішення металевих хрестових зв'язків: хрестові металеві зв'язки зазвичай установлю-



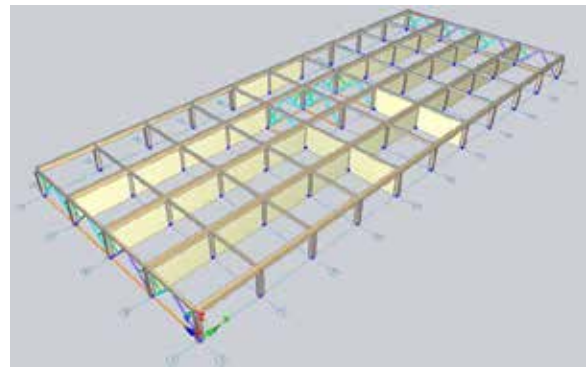
(a) Рішення вертикальних діафрагм жорсткості



(b) Рішення металевих хрестових зв'язків



(c) Рішення порталних металевих зв'язків



(d) Рішення комбінованої системи сейсмозміцнення

Рис. 8. Варіанти архітектурно-конструктивних рішень щодо підвищення вібраційної та сейсмічної стійкості великогабаритних будівельних конструкцій (ПК ЛІРА-САПР [22])

ються між стінами або колонами будівлі, щоб посилити зв'язок між ними й збільшити їхню спільну жорсткість. Ці зв'язки зазвичай складаються з хрестовин, які кріпляться до стін або колон за допомогою болтів або зварювання. Рішення має задовольнити вимоги [32];

– рішення порталних металевих зв'язків: порталні металеві зв'язки – це елементи конструкції будівлі, які складаються з колон і балок, з'єднаних один з одним у кутах будівлі, утворюючи раму чи портал. Ці зв'язки можна використовувати для підвищення сейсмічної стійкості будівель. Під час використання порталних металевих зв'язків колони й балки утворюють жорстку раму, яка здатна витримувати хвильові навантаження. Крім того, така конструкція має гарну деформаційну здатність, що дає змогу будівлі поглинати енергію землетрусу й запобігати його руйнуванню. Рішення має задовольнити вимоги [32];

– рішення комбінованої системи сейсмозміцнення: найбільш доцільно провести комбінацію конструктивних рішень із пристроєм для досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що зводиться на тери-

торії із сейсмічністю 9 балів, що базується на підставі діафрагм жорсткості й металевих порталних зв'язків.

Результати розрахунку статичних навантажень пропустимо. Також пропустимо й візуалізацію автоматичного визначення оптимального армування. Результати моделювання сейсмічно-вібраційних впливів виконуємо в програмному середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] для кожного з варіантів архітектурно-конструктивного рішення (рис. 8):

– рішення вертикальних діафрагм жорсткості (рис. 9);

– рішення металевих хрестових зв'язків (рис. 10);

– рішення порталних металевих зв'язків (рис. 11);

– рішення комбінованої системи сейсмозміцнення (рис. 12).

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією діафрагм жорсткості в каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 9):

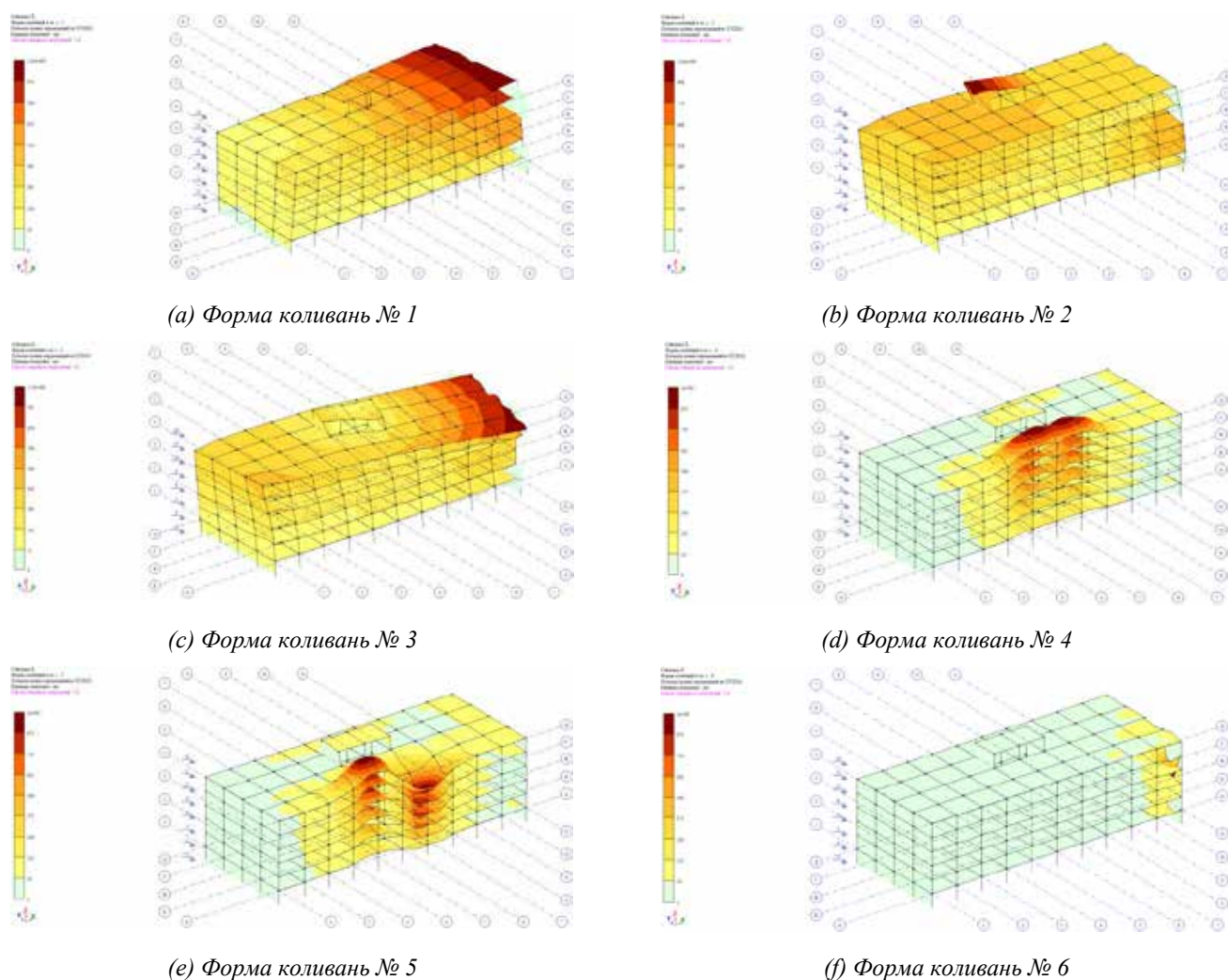


Рис. 9. Форми коливань при впливі сейсмічних навантажень на проектну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення вертикальних діафрагм жорсткості (ПК ЛІРА-САПР [22])

– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 375 мм (з урахуванням описаних аспектів);

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: Х – 14×200; Y – Ø14×200; поздовжня – Ø16×200×200;

– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2Ø5×200; балки: поперечна вертикальна 2Ø12×200, поперечна горизонтальна – 2Ø12×200.

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією металевих хрестових зв'язків у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 10):

– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 393 мм (з урахуванням описаних аспектів);

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркасу з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: Х – 10×200; Y – Ø10×200; поздовжня – Ø16×200×200;

– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2Ø4×200; балки: поперечна вертикальна 2Ø12×200, поперечна горизонтальна – 2Ø12×200;

– запропонований переріз металевих хрестових зв'язків – двотавр 70Б зі сталі С245 [32].

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією металевих порталних зв'язків у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під

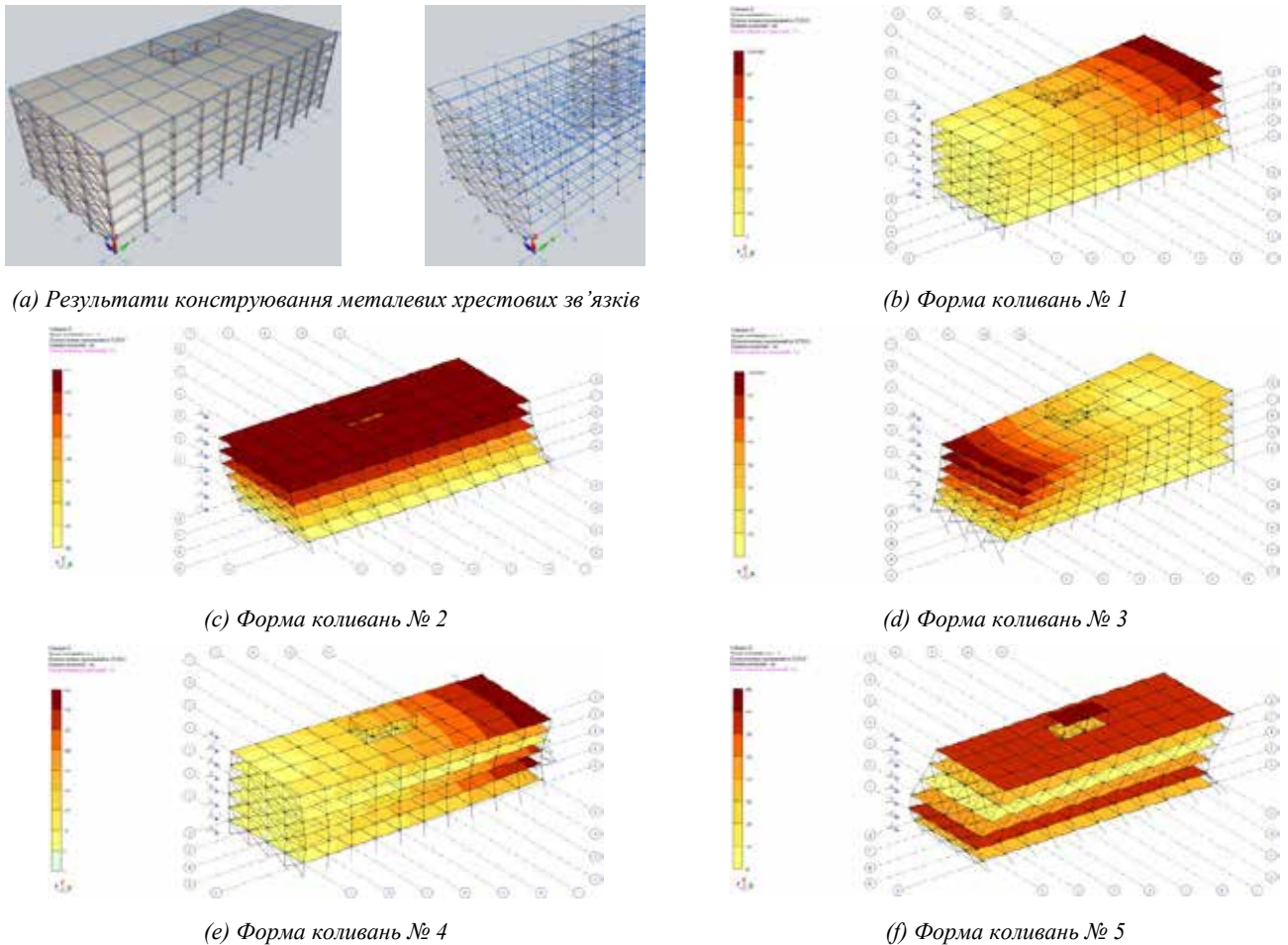


Рис. 10. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проектну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення металевих хрестових зв'язків (ПК ЛІРА-САПР [22])

впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 11):

- абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 178 мм;

- максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 10×200 ; Y – $\text{Ø}12 \times 200$; поздовжня – $\text{Ø}16 \times 200 \times 200$;

- максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – $2\text{Ø}4 \times 200$; балки: поперечна вертикальна $2\text{Ø}10 \times 200$, поперечна горизонтальна – $2\text{Ø}10 \times 200$;

- запропонований переріз металевих порталних зв'язків – прямокутний трубний профіль Гн. $230 \times 100 \times 8$ зі сталі С245 [32].

Відповідно до прийнятих конструкційних рішень щодо посилення сейсмічної стійкості досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, слід уважати, що інтеграція в каркас комбінованого рішення на підставі

діафрагм жорсткості й порталних металевих зв'язків дозволяє зменшити короткочасне сейсмічне навантаження до нульових значень, однак, тривалі сейсмічні дії можуть призвести до абсолютного медіанного переміщення будівельних конструкцій у 120 мм.

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією комбінованих рішень (діафрагми жорсткості + металеві порталні зв'язки) у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 12):

- абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 10–0 мм (уже не першої хвилі сейсмічного обурення);

- максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 8×200 ; Y – $\text{Ø}8 \times 200$; поздовжня – $\text{Ø}12 \times 200 \times 200$;

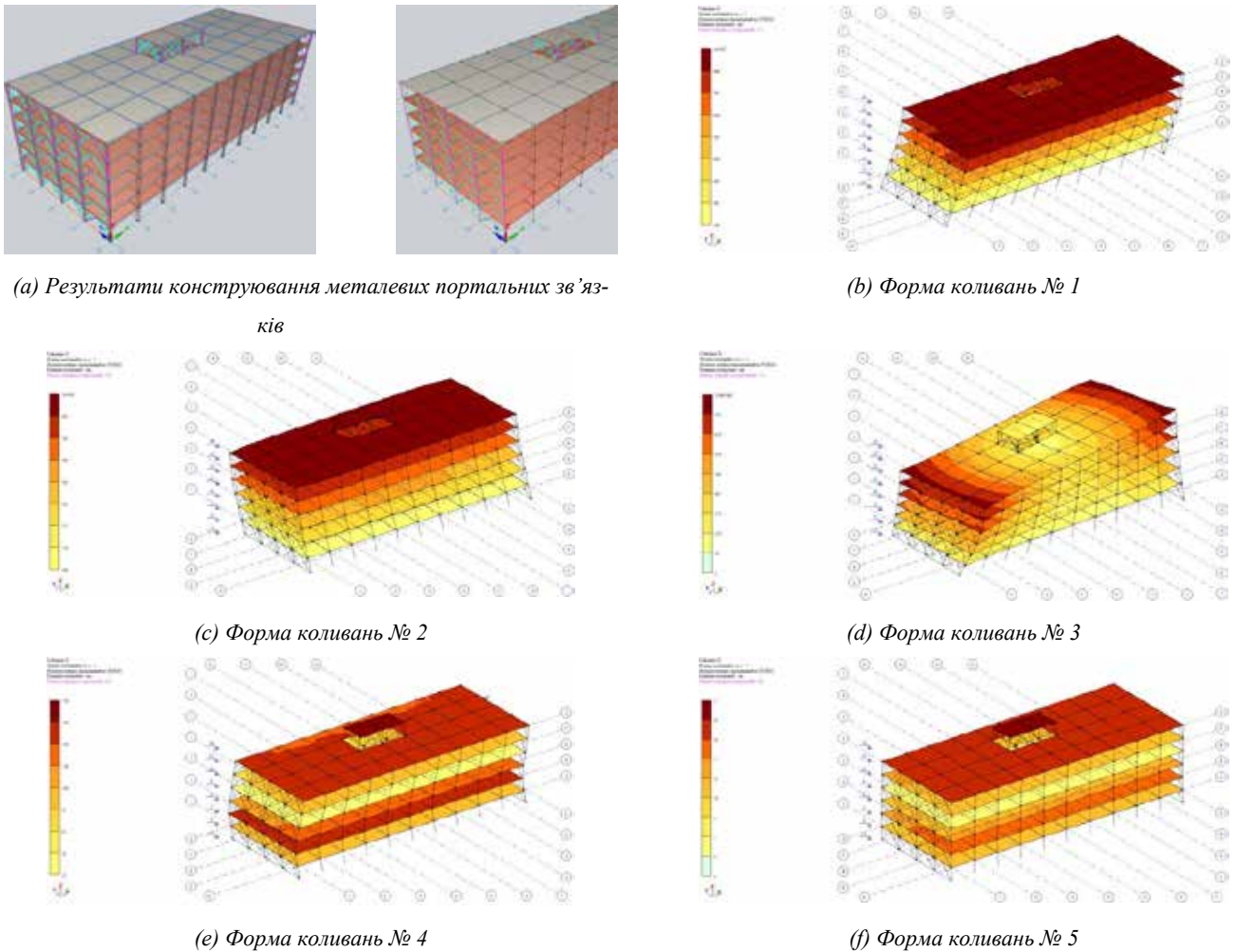


Рис. 11. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проектну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення металевих порталних зв'язків (ПК ЛІРА-САПР [22])

– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – $2\text{Ø}4\times 200$; балки: поперечна вертикальна $2\text{Ø}8\times 200$, поперечна горизонтальна – $2\text{Ø}8\times 200$;

– запропонований переріз металевих порталних зв'язків – прямокутний трубний профіль Гн. $230\times 100\times 8$ зі сталі С245 [32].

Висновки. За результатами моделювання досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що зводиться на території із сейсмічною активністю 9 балів, було запропоновано такі рішення підвищення сейсмічної стійкості:

- посилення, інтеграцією в каркас діафрагм і ядер жорсткості;
- посилення, інтеграцією в каркас металевих хрестових зв'язків;
- посилення, інтеграцією в каркас металевих порталних зв'язків;

– посилення, інтеграцією в каркас комбінованого рішення.

Комбіноване рішення визначено з найбільш адекватної поставленої задачі комбінації: діафрагми жорсткості й порталні металеві зв'язки.

Під час моделювання сейсмічної дії на досліджуваний об'єкт встановлено, що без посилення будівельні конструкції переміщуються до 1 м. У разі посилення діафрагмами та ядрами жорсткості цей показник знизився до 375 мм із наступним загасанням до нуля. Під час посилення моделі хрестовими металевими зв'язками зазначений параметр набув значення 393 мм, проте згасання сейсмічного впливу не було. У разі посилення моделі порталними металевими зв'язками показник абсолютного переміщення знизився (проти схеми без посилення) до 178 мм із поступовим загасанням до 10-20 мм. Комбіноване

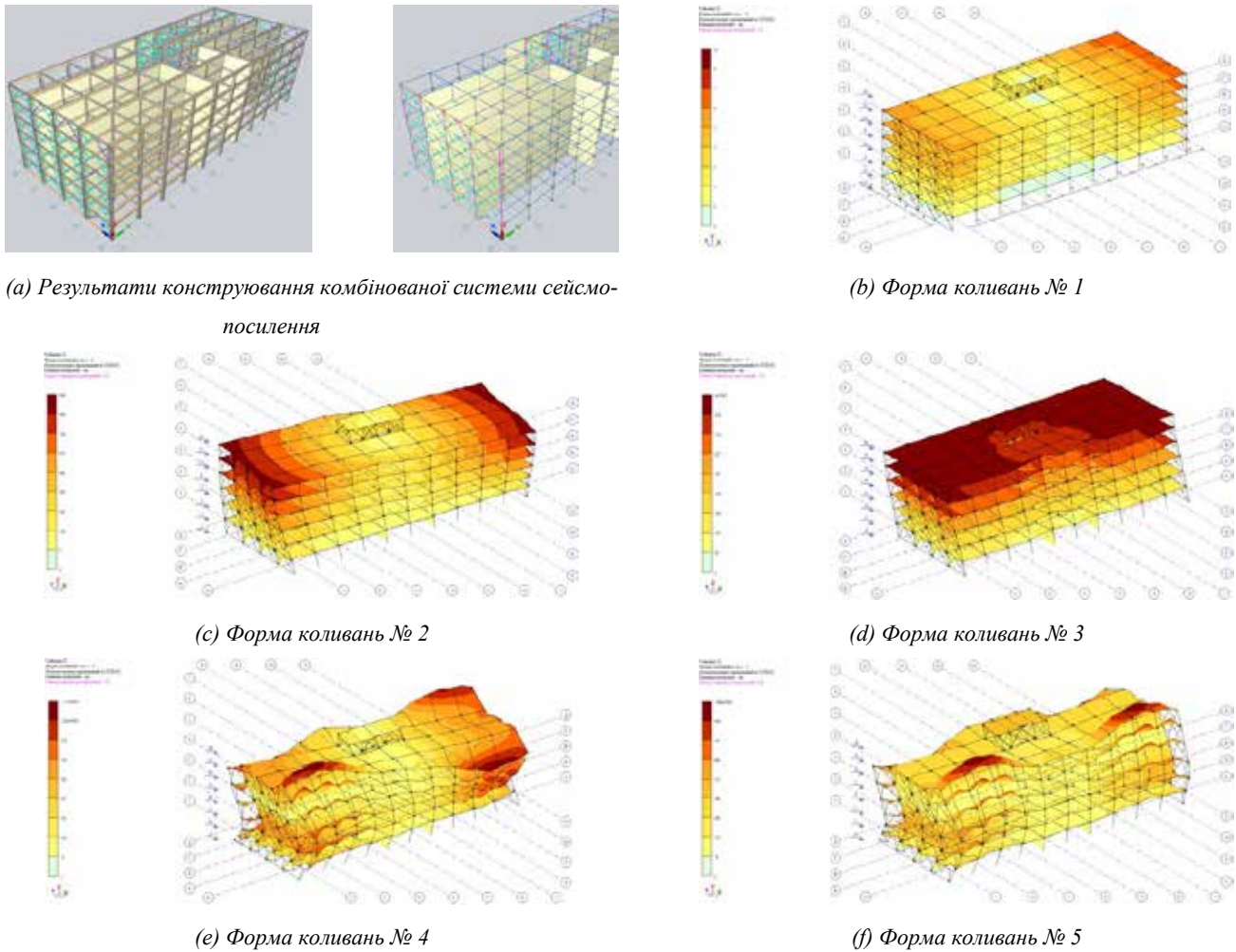


Рис. 12. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення комбінованої системи сейсмозміцнення (ПК ЛІРА-САПР [22])

рішення (діафрагми жорсткості й порталні зв'язки) знизили фокусний показник до значення 10 – 0 вже на першій хвилі сейсмічного впливу.

Отже, для цілей максимального захисту будівельного об'єкта, який зводиться на сейсмоактивних територіях України, доцільно використовувати посилення комбінованим методом.

Література

1. Naddaf, M. Turkey-Syria earthquake: what scientists know. *Nature*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00364-y> (date of access: 05.05.2023).
2. 2023 Turkey-Syria Earthquake. *Center for Disaster Philanthropy*. 2023. URL: <https://cutt.ly/S3MM30I> (date of access: 05.05.2023).
3. Ghosh, P. Turkey earthquake: Where did it hit and why was it so deadly?. *The BBC*. 2023. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696> (date of access: 05.05.2023).
4. Sariyuce, I. [et al.]. Turkey halts most rescue efforts for earthquake survivors. *Cable News Network*. 2023. URL: <https://edition.cnn.com/2023/02/19/europe/turkey-stop-earthquake-rescue-intl/index.html> (date of access: 05.05.2023).
5. ДБН В.1.1-12:2014 *Будівництво в сейсмічних районах України*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58628 (дата звернення: 05.05.2023).
6. Janik, T., Starostenko, V., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., ... & Chulkov, S. *The SHIELD'21 deep seismic experiment, Ukraine*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-2387. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2387> (date of access: 05.05.2023).
7. Amashukeli, T., Malatesta, L., Farfaliak, L., Ganiev, O., & Petrenko, K. *Current situation and challenges for the Ukrainian seismic network*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-3590. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-3590> (date of access: 05.05.2023).

8. Andrushchenko, Y., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Ganiev, O., Amashukeli, T., & Osadchyi, V. (2022, November). Ukrainian National Seismological Bulletin 2021. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. EAGE Publications BV. 2022. Vol. 2022, No. 1. P. 1-5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580178> (date of access: 05.05.2023).
9. Micu, M., Micu, D., & Havenith, H. B. Earthquake-induced landslide hazard assessment in the Vrancea Seismic Region (Eastern Carpathians, Romania): Constraints and perspectives. *Geomorphology*. 2023. 108635. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108635> (date of access: 05.05.2023).
10. Aldea, A., Vacareanu, R., Lungu, D., Pavel, F., & Arion, C. GMPEs for Romania's Vrancea Intermediate Depth Seismic Source. In *Progresses in European Earthquake Engineering and Seismology: Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – Bucharest, 2022*. Cham: Springer International Publishing. 2022. P. 90-108. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15104-0_6 (date of access: 05.05.2023).
11. Craiu, A., Craiu, M., Mihai, M., Manea, E. F., & Marmureanu, A. Vrancea intermediate-depth focal mechanism catalog: a useful instrument for local and regional stress field estimation. *Acta Geophysica*. 2023. Vol. 71. No. 1. P. 29-52. URL: <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-4> (date of access: 05.05.2023).
12. *Геофізичний моніторинг*. Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України. 2023. URL: <http://www.igph.kiev.ua/ukr/geomon.html> (дата звернення: 05.05.2023).
13. *Сейсмічний моніторинг*. Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України. 2023. URL: <https://gcsk.gov.ua/seismicnij-monitoring/> (дата звернення: 05.05.2023).
14. Dando, B., Goertz-Allmann, B., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. Exposing military attacks in the 2022 Russia-Ukraine conflict using seismic array data. *Research Square*. 2023. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2613796/v1> (date of access: 05.05.2023).
15. Fridman, O., & Michlin-Shapir, V. The Seismic Effects of the War in Ukraine. *The Jerusalem Strategic Tribune. King's College London*. 2022. URL: <https://jstribune.com/michlin-shapir-fridman-the-seismic-effects-of-the-war-in-ukraine/> (date of access: 05.05.2023).
16. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. *Real-time monitoring of the Russia-Ukraine conflict using seismic and infrasound array data*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-11829. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11829> (date of access: 05.05.2023).
17. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Vol. 166. No. 107738. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107738> (date of access: 05.05.2023).
18. Marano, G. C., Rosso, M. M., & Melchiorre, J. Optimization as a Tool for Seismic Protection of Structures. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 100-113. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_8 (date of access: 05.05.2023).
19. Peng, T., Guan, J., & Wu, Y. Numerical and Experimental Investigation of the Seismic Effect of a Two-Stage Seismic Isolation Method. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 6. P. 4883. URL: <https://doi.org/10.3390/su15064883> (date of access: 05.05.2023).
20. Noori, M., Zhang, J., Elghandour, E., Cardone, D., & Narjabadifam, P. Versatile Aseismic Isolation Based on Practical Applications of Advanced Materials for Sustainable Resilience Against Earthquakes. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 611-622. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_51 (date of access: 05.05.2023).
21. Wang, Q., Zheng, Z., Qiao, H., & De Domenico, D. Seismic protection of reinforced concrete continuous girder bridges with inerter-based vibration absorbers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Vol. 164. P. 107526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107526> (date of access: 05.05.2023).
22. *Багатофункціональний програмний комплекс ЛІРА-САІР*. LIRALAND Group. 2023. URL: <https://www.liraland.ua/lira/> (дата звернення: 05.05.2023).
23. ДБН В.2.2-15:2019 *Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. З Поправкою*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59627 (дата звернення: 05.05.2023).
24. *Скільки поверхів у будинках мого мікрорайону?*. ЛУН Місто. 2023. URL: <https://misto.lun.ua/poverhovist> (дата звернення: 05.05.2023).
25. ДБН Б.2.2-12:2019 *Планування та забудова територій*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211 (дата звернення: 05.05.2023).
26. ДБН В.2.6-98:2009 *Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (дата звернення: 05.05.2023).
27. ДБН В.1.2-2:2006 *Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89760 (дата звернення: 05.05.2023).
28. ДБН В.1.2-14:2018 *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683 (дата звернення: 05.05.2023).
29. ДСТУ 8855:2019 *Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності)*. ДП «УкрНДНЦ». 2022. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83254 (дата звернення: 05.05.2023).
30. ДСТУ 3760:2019 *Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82146 (дата звернення: 05.05.2023).
31. ДСТУ 8539:2015 *Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64876 (дата звернення: 05.05.2023).

32. ДБН В.2.6-198:2014 *Сталеві конструкції. Норми проектування*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58106 (дата звернення: 05.05.2023).

References

1. Naddaf, M. Turkey-Syria earthquake: what scientists know. *Nature*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00364-y> (date of access: 05.05.2023).
2. 2023 Turkey-Syria Earthquake. *Center for Disaster Philanthropy*. 2023. URL: <https://cutt.ly/S3MM30I> (date of access: 05.05.2023).
3. Ghosh, P. Turkey earthquake: Where did it hit and why was it so deadly?. *The BBC*. 2023. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696> (date of access: 05.05.2023).
4. Sariyuce, I. [et al.]. Turkey halts most rescue efforts for earthquake survivors. *Cable News Network*. 2023. URL: <https://edition.cnn.com/2023/02/19/europe/turkey-stop-earthquake-rescue-intl/index.html> (date of access: 05.05.2023).
5. ДБН В.1.1-12:2014 *Construction in seismic areas of Ukraine*. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58628 (date of access: 05.05.2023).
6. Janik, T., Starostenko, V., Ćzuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., ... & Chulkov, S. *The SHIELD'21 deep seismic experiment, Ukraine*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-2387. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2387> (date of access: 05.05.2023).
7. Amashukeli, T., Malatesta, L., Farfuliak, L., Ganiev, O., & Petrenko, K. *Current situation and challenges for the Ukrainian seismic network*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-3590. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-3590> (date of access: 05.05.2023).
8. Andrushchenko, Y., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Ganiev, O., Amashukeli, T., & Osadchyi, V. (2022, November). Ukrainian National Seismological Bulletin 2021. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. EAGE Publications BV. 2022. Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580178> (date of access: 05.05.2023).
9. Micu, M., Micu, D., & Havenith, H. B. Earthquake-induced landslide hazard assessment in the Vrancea Seismic Region (Eastern Carpathians, Romania): Constraints and perspectives. *Geomorphology*. 2023. 108635. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108635> (date of access: 05.05.2023).
10. Aldea, A., Vacareanu, R., Lungu, D., Pavel, F., & Arion, C. GMPEs for Romania's Vrancea Intermediate Depth Seismic Source. In *Progresses in European Earthquake Engineering and Seismology: Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – Bucharest, 2022*. Cham: Springer International Publishing. 2022. pp. 90-108. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15104-0_6 (date of access: 05.05.2023).
11. Craiu, A., Craiu, M., Mihai, M., Manea, E. F., & Marmureanu, A. Vrancea intermediate-depth focal mechanism catalog: a useful instrument for local and regional stress field estimation. *Acta Geophysica*. 2023. Vol. 71. No. 1. pp. 29-52. URL: <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-4> (date of access: 05.05.2023).
12. *Geophysical monitoring*. S. I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine. 2023. URL: <http://www.igph.kiev.ua/ukr/geomon.html> (date of access: 05.05.2023).
13. *Seismic monitoring*. Main Special Control Center (SCSC) of the State Space Agency of Ukraine. 2023. URL: <https://gcsk.gov.ua/seismichnij-monitoring/> (date of access: 05.05.2023).
14. Dando, B., Goertz-Allmann, B., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kväerna, T. Exposing military attacks in the 2022 Russia-Ukraine conflict using seismic array data. *Research Square*. 2023. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2613796/v1> (date of access: 05.05.2023).
15. Fridman, O., & Michlin-Shapir, V. The Seismic Effects of the War in Ukraine. *The Jerusalem Strategic Tribune. King's College London*. 2022. URL: <https://jstribune.com/michlin-shapir-fridman-the-seismic-effects-of-the-war-in-ukraine/> (date of access: 05.05.2023).
16. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kväerna, T. *Real-time monitoring of the Russia-Ukraine conflict using seismic and infrasound array data*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-11829. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11829> (date of access: 05.05.2023).
17. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Vol. 166. No. 107738. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107738> (date of access: 05.05.2023).
18. Marano, G. C., Rosso, M. M., & Melchiorre, J. Optimization as a Tool for Seismic Protection of Structures. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. pp. 100-113. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_8 (date of access: 05.05.2023).
19. Peng, T., Guan, J., & Wu, Y. Numerical and Experimental Investigation of the Seismic Effect of a Two-Stage Seismic Isolation Method. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 6. pp. 4883. URL: <https://doi.org/10.3390/su15064883> (date of access: 05.05.2023).
20. Noori, M., Zhang, J., Elghandour, E., Cardone, D., & Narjabadifam, P. Versatile Aseismic Isolation Based on Practical Applications of Advanced Materials for Sustainable Resilience Against Earthquakes. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. pp. 611-622. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_51 (date of access: 05.05.2023).
21. Wang, Q., Zheng, Z., Qiao, H., & De Domenico, D. Seismic protection of reinforced concrete continuous girder bridges with inertial-based vibration absorbers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Vol. 164. pp. 107526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107526> (date of access: 05.05.2023).
22. *Multifunctional software complex LIRA-SAPR*. LIRALAND Group. 2023. URL: <https://www.liraland.ua/lira/> (date of access: 05.05.2023).

23. DBN V.2.2-15:2019 Buildings and structures. Residential buildings. Substantive provisions. With Amendment. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59627 (date of access: 05.05.2023).
24. *How many floors are there in the houses of my neighborhood?* LUN City. 2023. URL: <https://misto.lun.ua/poverhovist> (date of access: 05.05.2023).
25. DBN B.2.2-12:2019 Planning and development of territories. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211 (date of access: 05.05.2023).
26. DBN V.2.6-98:2009 Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (date of access: 05.05.2023).
27. DBN V.1.2-2:2006 Loads and impacts. Design standards. With changes. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89760 (date of access: 05.05.2023).
28. DBN V.1.2-14:2018 System for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683 (date of access: 05.05.2023).
29. DSTU 8855:2019 Buildings and structures. Determination of the class of consequences (responsibility). SE «UkrNDNC». 2022. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83254 (date of access: 05.05.2023).
30. DSTU 3760:2019 Reinforcement rolling for reinforced concrete structures. General technical conditions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82146 (date of access: 05.05.2023).
31. DSTU 8539:2015 Rolls for building steel structures. General technical conditions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64876 (date of access: 05.05.2023).
32. DBN V.2.6-198:2014 Steel structures. Design standards. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58106 (date of access: 05.05.2023).

ENSURING THE STABILITY OF LARGE BUILDING STRUCTURES UNDER CONDITIONS OF STATIC AND VIBRATION LOADS

Abstract. *The purpose of the article is to determine optimal, economically justified solutions for ensuring the stability of large-scale building structures under statistical and vibrational loads. The focus of the research is the development of solutions that are adaptive to the conditions of Ukraine to increase the seismic resistance of building objects at the design and construction stage, which determines the novelty of the research, since similar research solutions are focused on post-factum measures implemented for the reconstruction of the existing building stock. The Ukrainian software product PC LIRA CAD was used for modeling. Modeling is carried out for a construction object of mass residential construction, which is being built in the territory of a seismically active region. After modeling a residential construction object, which is being built in an area with a seismic activity of 9 points, the following solutions were studied to increase its seismic resistance: reinforcement by integrating diaphragms and stiffening cores into the frame; strengthening by integrating metal cross links into the frame; reinforcement by integrating metal portal connections into the frame; reinforcement using a combined solution. When modeling the seismic action on the research object, it was established that without reinforcement, building structures move up to 1 m. When reinforced with diaphragms and stiffening cores, this indicator decreased to 375 mm, with subsequent attenuation to zero. When reinforced with cross metal ties, the indicated parameter took on a value of 393 mm, but no attenuation of the seismic impact was observed. When strengthening the simulated model with portal metal ties, the absolute displacement index decreased (compared to the scheme without strengthening) to 178 mm with a gradual attenuation to 10 – 20 mm. The combined solution (diaphragms of rigidity and portal connections) reduced the focal index to a value of 0 at the first wave of seismic disturbance. Thus, for the purposes of maximum protection of the building object, which is erected in the seismically active territories of Ukraine, it is advisable to use reinforcement by a combined method.*

Key words: *seismic protection, seismic isolation, vibration isolation, architectural and structural solutions, combined solutions.*

Kaidash M.D.

Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Welding and Construction Technologies,
Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv