

УДК 624.042.7

## ПІДВИЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ІСНУЮЧОЇ БУДІВЛІ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

АДИЛ ДЖАББАР АББАС <sup>1\*</sup>, *аспірант*  
НІКІФОРОВА Т. Д. <sup>2</sup>, *д.т.н., доцент*  
САВИЦЬКИЙ М. В. <sup>3</sup>, *д.т.н., проф.*  
КОЖАНОВ Ю. О. <sup>4</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [adil.adil249@yahoo.com](mailto:adil.adil249@yahoo.com)

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [nikiforova\\_t@pgasa.dp.ua](mailto:nikiforova_t@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>4</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [Gbk-km@ukr.net](mailto:Gbk-km@ukr.net)

**Анотація.** У статті представлені результати підвищення сейсмостійкості існуючої каркасної будівлі незавершеного будівництва на основі аналізу напружено деформованого стану елементів каркасу різних варіантів розрахункових моделей будівлі. **Мета.** Пошук раціонального та ефективного способу підвищення сейсмостійкості існуючих каркасних будівель. **Методика.** Моделювання напружено деформованого стану конструкцій каркасу при реконструкції будівлі методом скінчених елементів для нормальних умов експлуатації і при дії сейсмічного навантаження та порівняльний аналіз різних варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі. **Результати.** Досліджено напружено деформований стан елементів каркасу будівлі для різних варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі шляхом улаштування додаткових в'язевих панелей жорсткості та розроблені рекомендації щодо їх ефективного розташування. Для порівняння та вибору раціонального варіанту розташування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівель запропонована спрощена методика оцінки загальної ефективності їх влаштування та на її основі визначений найбільш раціональний варіант. **Наукова новизна.** Виявлені закономірності зміни напружено деформованого стану конструкцій каркасу існуючої будівлі при дії сейсмічного навантаження в залежності від місця розташування в'язевих панелей жорсткості в плані відносно центра ваги будівлі. **Практична значимість.** Можливість використання розроблених рекомендацій при розробці проектів підвищенні сейсмостійкості існуючих будівель із монолітним залізобетонним каркасом.

**Ключові слова:** сейсмічні навантаження, напружено деформований стан конструкцій, підвищення сейсмостійкості будівель, залізобетонний каркас, реконструкція, ефективність

## ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

АДИЛ ДЖАББАР АББАС <sup>1\*</sup>, *аспірант*  
НИКИФОРОВА Т. Д. <sup>2</sup>, *д.т.н., доцент*  
САВИЦКИЙ Н. В. <sup>3</sup>, *д.т.н., проф.*  
КОЖАНОВ Ю. А. <sup>4</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: [adil.adil249@yahoo.com](mailto:adil.adil249@yahoo.com)

<sup>2</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: [nikiforova\\_t@pgasa.dp.ua](mailto:nikiforova_t@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>4</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: [Gbk-km@ukr.net](mailto:Gbk-km@ukr.net)

**Аннотация.** В статье представлены результаты повышения сейсмостойкости существующего каркасного здания незавершенного строительства на основе анализа напряженно деформированного состояния элементов каркаса различных вариантов расчетных моделей здания. **Цель.** Поиск рационального и эффективного способа повышения сейсмостойкости существующих каркасных зданий. **Методика.** Моделирование напряженно деформированного состояния конструкций каркаса при реконструкции здания методом конечных элементов для нормальных условий эксплуатации и при воздействии сейсмических нагрузок и сравнительный анализ различных вариантов повышения сейсмостойкости здания. **Результаты.** Исследовано напряженно-деформированное состояние элементов каркаса здания для различных вариантов повышения сейсмостойкости здания путем устройства дополнительных связевых панелей жесткости и разработаны рекомендации по их эффективному расположению. Для сравнения и выбора рационального варианта расположения конструкций повышения сейсмостойкости зданий, предложена упрощенная методика оценки общей эффективности их устройства и на её основе определен наиболее рациональный вариант. **Научная новизна.** Выявлены закономерности изменения напряженно деформированного состояния конструкций каркаса существующего здания при действии сейсмических нагрузок в зависимости от места расположения связевых панелей жесткости в плане относительно центра тяжести здания. **Практическая значимость.** Возможность использования разработанных рекомендаций при разработке проектов повышения сейсмостойкости существующих зданий с монолитным железобетонным каркасом.

**Ключевые слова:** сейсмические нагрузки, напряженно-деформированное состояние конструкций, повышение сейсмостойкости зданий, железобетонный каркас, реконструкция, эффективность

## INCREASING THE SEISMIC RESISTANCE OF EXISTING BUILDING IN RECONSTRUCTION

ADIL JABBAR ABBAS <sup>1\*</sup>, *postgraduate student*  
NIKIFOROVA T. D. <sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Docent*  
SAVYTSKYI M. V. <sup>3</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*  
KOZHANOV Yu. O. <sup>4</sup>, *Ph. D. (Tech.), Docent*

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: [adil.adil249@yahoo.com](mailto:adil.adil249@yahoo.com)

<sup>2</sup> Department of Reinforce-Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: [nikiforova\\_t@pgasa.dp.ua](mailto:nikiforova_t@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>3</sup> Department of Reinforce-Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>4</sup> Department of Reinforce-Concrete and Masonry Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: [Gbk-km@ukr.net](mailto:Gbk-km@ukr.net)

**Annotation.** The article presents the results of increasing seismic resistance of an existing building unfinished construction on the basis of analysis the stress-strained state of the elements frame of various variants of the location the calculation models building. **Purpose.** Search for a rational and effective variant to increasing seismic resistance of existing frame buildings. **Methods.** Simulation of the stress-strained state of the frame structures during reconstruction of a building by a finite element method for normal operation conditions and under the influence of seismic loading and a comparative analysis of various variants of increase of seismic resistance of a building. **Results.** The stress-strained state the structural elements of the building for various variants of increasing seismic resistance of the building by arranging additional vertical steel diaphragms of rigidity have been explored and the recommendations for their effective location have been developed. For comparing and choosing a rational variant of increasing seismic resistance of the buildings, a simplified method for evaluating the overall efficiency of their location is proposed and on the basis of it the most rational variant is determined. **Scientific novelty.** The regularities of the change of the stress-strained state the elements frame of an existing building under the action of seismic loads depending on the location of the vertical steel diaphragms of rigidity in relation to the center of gravity of the building are revealed. **Practical value.** The developed recommendations can be used in developing projects to increase the seismic resistance of existing buildings from a monolithic reinforced concrete frame.

**Keywords:** seismic load, stress-strain state of the constructions, increase seismic resistance of the buildings, reinforced concrete frame, reconstruction, efficiency

### Загальний стан питання дослідження

Двадцять століття відзначається стрімкою урбанізацією територій більшості держав, зростанням міст і поселень, концентрацією промисловості, освоєнням нових районів, у тому числі розташованих в сейсмічних зонах. 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 частина схильна до землетрусів, які супроводжуються руйнуваннями будівель і споруд із недостатньою сейсмостійкістю, загибеллю людей та знищенням матеріальних і культурних цінностей, накопичених працею багатьох поколінь. У зонах епіцентрів катастрофічних землетрусів нерідко порушується функціонування промисловості, транспорту, інженерних комунікацій та інших систем призначених забезпечувати життя населення, що веде до значних матеріальних збитків.

За даними міжнародного геофізичного довідника, кожен рік в сейсмічно небезпечних районах земної кулі в середньому виникає близько 700 землетрусів з магнітудою не менше 5, близько 90 – з магнітудою не менше 6 і понад 12 з магнітудою 7 і більше. Сильні землетруси з магнітудою від 5 до 9 призводять до великих руйнувань та людських жертв. Землетруси утримують сумну першість серед усіх стихійних лих за економічними збитками до яких вони призводять, і одне з перших місць за кількістю людських жертв. За всю історію людства близько 80 млн. чоловік загинули від землетрусів і їх прямих наслідків – пожеж, цунамів, обвалів тощо.

Близько 25% території України відносяться до категорії сейсмонебезпечних. Сейсмічні регіони України включають більше 120 тис. кв. км території, а це приблизно 20 % загальної площі [1]. В них проявляються землетруси, що мають інтенсивність 6-9 балів за 12-ти бальною шкалою EMS-98 [2], що використовується в європейських країнах. На сейсмічно небезпечних територіях проживає 10,84 млн. людей (близько 22 % від усього населення країни), у тому числі: в зонах 6-ти бальної сейсмічної активності – 7,89 млн. людей (16%), 7-ми бальної – 2,16 млн. людей (4,4%), 8-9-ти бальної – 0,79 млн. людей (1,6%). В більшості випадків це курортні або туристичні території, які розташовані в приморських та гірських районах країни. Як відомо, такі зони користуються великим попитом серед забудовників, тому мають високу вартість й обмежені розміри будівельного майданчика. Через це виникає потреба збільшувати кількість поверхів й шукати максимально прийнятні конструктивні рішення.

З введенням в дію нових норм проектування «Будівництво в сейсмічних районах України» [3] значно розширилися сейсмонебезпечні території із загальним збільшенням їх розрахункової сейсмічності та відбулося включення до сейсмонебезпечних 6-ти бальних територій, тому

виникла проблема забезпечення або підвищення сейсмостійкості вже існуючих будівель.

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. Тому, в умовах гострого дефіциту землі міських територій та її подорожчання, такі об'єкти представляють також інтерес з точки зору підвищення їх поверховості при реконструкції.

Завдання забезпечення житлових будівель властивістю безупинно зберігати працездатність протягом усього терміну експлуатації є найголовнішим завданням будівництва. Це завдання надзвичайно складне, особливо в сейсмонебезпечних районах, так як рівень несучої здатності, як окремих конструкцій, так і будівель в цілому, при впливі на них сейсмічних навантажень, може змінюватися стрибкоподібно, миттєво, без будь-якої закономірності. Така зміна носить випадковий характер, а ступінь втрати несучої здатності залежить від характеру отриманих ушкоджень. Крім того, такі фактори, як фізичний знос конструкцій, накопичення ушкоджень, корозія арматури та ін., також сприяють зниженню рівня несучої здатності будівлі. У багатьох випадках до цього додаються несприятливі умови майданчика: погані ґрунти, близькість тектонічних розломів, складний рельєф і т.д. Відомі випадки, коли інтенсивність руйнівних землетрусів була вищою за прогнозовану. Недосконалість прогнозів пояснюється як недостатністю знань про процеси, так і техногенною діяльністю людини: створенням водосховищ, видобутком нафти, газу, твердих корисних копалин, закачуванням рідких промислових відходів тощо.

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. Тому завдання визначення раціонального рівня і способів забезпечення достатньої сейсмостійкості будівель є одним з перспективних напрямків у галузі досліджень з сейсмічної безпеки.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасні проблеми проектування, будівництва та реконструкції будівель і споруд у сейсмічно небезпечних районах України досліджуються багатьма відомими вченими та їх послідовниками [4 - 9].

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 сейсмозахисту будівель при їх реконструкції від зміни сейсмічності будівельного майданчика та класу надійності.

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 сейсмозахисту будівель.

### Мета та задачі досліджень

Метою досліджень є пошук найбільш раціонального та ефективного способу підвищення сейсмостійкості існуючих каркасних будівель.

Задачами дослідження є:

- аналіз методів підвищення сейсмостійкості будівель та оцінка можливості їх застосування при реконструкції існуючих будівель;
- вибір технологічного та універсального методу підвищення сейсмостійкості існуючих будівель;
- розробка розрахункових моделей будівлі з різними варіантами розташування конструкцій сейсмозахисту та аналіз їх ефективності на основі результатів статичних та динамічних розрахунків моделей будівлі;
- розробка методики порівняльного аналізу різних варіантів підвищення сейсмостійкості та оцінка її практичного використання.

Предметом досліджень є традиційні методи підвищення сейсмостійкості та методика вибору найбільш раціональних і ефективних конструктивних рішень зниження сейсмічної уразливості будівель.

Об'єкт дослідження – будівля незавершеного будівництва цивільного призначення з монолітного залізобетонного каркасу.

### Виклад основного матеріалу

Проектування та будівництво сейсмостійких будівель та споруд обов'язкове при освоєнні нових територій, де є ризик виникнення землетрусу. Проте, велика кількість об'єктів житлового фонду в сейсмонебезпечних регіонах не відповідають діючим нормам будівництва та вимогам безпеки у зв'язку зі збільшенням розрахункової сейсмічності та фізичним зносом. Тож, як вже зазначалося, сьогодні актуальним завданням для інженерів - будівельників являється реконструкція існуючої забудови з метою мінімізації ризику руйнування споруд під час землетрусів.

Згідно з [3] вимоги відновлення, підсилення та реконструкції поширюються на будівлі і споруди:

- а) які отримали пошкодження під час землетрусу;
- б) збудовані без відповідних антисейсмічних заходів або при їх недостатності, а також у випадках зміни розрахункової сейсмічності території;
- в) які реконструюються.

Відновлення, підсилення та реконструкція будівель або споруд виконується:

- а) для переобладнання з метою часткової або повної зміни об'ємно-планувального рішення або функціонального призначення;
- б) для підвищення сейсмостійкості або приведення у відповідність до вимог діючих норм;
- в) при підвищенні експлуатаційних навантажень на несучі елементи будівлі або споруди;
- г) при закінченні нормативного терміну експлуатації.

При виборі способів підсилення не сейсмостійких будівель необхідно керуватися загальними принципами проектування споруд для сейсмічних районів, викладених у [3]. Елементи будівлі з недостатньою несучою здатністю виявляються за розрахунком.

Відновлення, підсилення та реконструкція несучих конструкцій може мати наступні рівні:

- відновлення стану конструкцій до рівня, який передував пошкодженню;
- підвищення сейсмостійкості до рівня вище початкового;
- підсилення несучих конструкцій до рівня, відповідного вимогам чинних будівельних норм.

Рівень відновлення, підсилення та реконструкції призначається замовником залежно від відповідальності будівлі та її функціонального призначення, а також на підставі результатів обстеження і вказується в завданні на проектування.

Проект підвищення сейсмостійкості будівель і споруд слід розробляти на основі проектною документації та матеріалів детального натурального обстеження ґрунтової основи та конструктивних елементів будівлі.

Для підвищення сейсмостійкості будівель та споруд, як правило, використовують наступні технічні заходи:

- а) зміна об'ємно-планувальних рішень шляхом поділу будівель складних конструктивних схем на відсіки простої форми антисейсмічними швами, розбирання верхніх поверхів будівлі, влаштування додаткових елементів жорсткості для забезпечення симетричного розташування жорсткості у межах відсіку та зменшення відстані між ними;
- б) підсилення стін, рам, вертикальних в'язів для забезпечення сприйняття зусиль від статичних і розрахункових сейсмічних дій;
- в) збільшення жорсткості дисків перекриття та надійності з'єднання їх елементів, улаштування або підсилення антисейсмічних поясів;
- г) забезпечення надійних в'язів між стінами різних напрямків, між стінами та перекриттями;
- д) підсилення елементів з'єднання збірних конструкцій стін;

е) посилення конструктивної схеми будівлі, в тому числі шляхом введення системи додаткових конструктивних елементів;

ж) зменшення сейсмічних навантажень, у тому числі шляхом зниження маси будівлі;

з) використання гасників коливань, сейсмоізоляції та інших методів регулювання сейсмічної реакції;

і) зміну функціонального призначення (зниження рівня відповідальності).

Визначення несучої здатності конструкцій повинно здійснюватися за результатами їх обстеження та оцінки технічного стану шляхом виконання розрахунку будівлі на розрахункову сейсмічну дію з урахуванням даних інструментальних вимірів фактичної міцності матеріалів конструкції. При цьому розрахункове значення міцності матеріалів повинно визначатися на основі статистичного аналізу "розкиду" їх величин в межах поверху будівлі, як мінімальне значення в інтервалі нормального розподілу із забезпеченістю 0,95 [10, 11].

Підсилення конструкцій повинно призначатися на основі оцінки несучої здатності головних

конструктивних елементів, відповідальних за загальну стійкість будівлі або споруди.

При оцінці несучої здатності конструкцій слід враховувати:

- просторову роботу;

- дійсну роботу вузлів сполучення елементів, у тому числі каркасу та стінового заповнення;

- перерозподіл зусиль за рахунок розвитку пластичних деформацій, в тому числі тріщиноутворення;

- відповідність конструктивної та розрахункової схем;

- спільну роботу елементів каркаса та перекриття;

- податливість ґрунтової основи.

Узагальнення найбільш поширених способів відновлення, підсилення та реконструкції існуючих будівель наведено в табл. 1.

При реконструкції існуючих будівель, особливо у випадках прибудов і надбудов, прийняті технічні рішення повинні забезпечувати сейсмостійкість усієї будівлі в цілому.

Таблиця 1

### Способи відновлення, підсилення та реконструкції існуючих будівель / Methods of restoration, strengthening and reconstruction of existing buildings

Тип конструкцій	Спосіб реконструкції			
	Відновлення	Підсилення	Підвищення сейсмостійкості до нормативного рівня	Заміна, демонтаж
Основа	Ін'єктування	Ін'єктування	1. Додаткове ущільнення; 2. Водозниження	-
Фундаменти	1. Ін'єктування; 2. Улаштування гідроізоляції	1. Улаштування обойм для розвантажувальних конструкцій	1. Влаштування обойм для розвантажувальних конструкцій; 2. Зміна розрахункової схеми	Розширення підшви фундаментів
Стіни та каркаси	1. Ін'єктування; 2. Нанесення армооболонки, штукатурок	1. Покращення регулярності розподілу жорсткості; 2. Підсилення стін (оболонки, шпонки, скобки, стяжки), рам (обойми) 3. Підсилення в'язів між стінами	1. Покращення регулярності розподілу жорсткості; 2. Підсилення вертикальних в'язей жорсткості; 3. Вертикальний натяг; 4. Влаштування ядер жорсткості та розвантажувальних поясів; 5. Зміна конструктивної схеми	Демонтаж верхніх поверхів
Перекриття	Ін'єктування	1. Улаштування армованих стяжок 2. Збільшення перерізу	1. Збільшення жорсткості перекриття та анкерів їх у поясах стін; 2. Тяжі, затяжки, шпренгелі; 3. Зміна конструктивної схеми	Заміна перекриття
Покрівля	Відновлення окремих елементів	Збільшення перерізу конструкцій	Зміна конструктивної схеми	Заміна елементів конструкцій

### Аналіз методів підвищення сейсмостійкості будівель

На даний час існують традиційні та спеціальні методи підвищення сейсмостійкості будівель [12-14]. Аналіз світового та вітчизняного досвіду використання різних методів щодо підвищення сейсмостійкості існуючих будівель показав, що найбільш ефективними є традиційні методи (влаштування монолітних залізобетонних поясів, діафрагм жорсткості, залізобетонних та металевих обойм, додаткових в'язевих конструкцій тощо).

Традиційні методи підвищення сейсмостійкості будівель, за деякими оцінками, можуть бути не такими ефективними як спеціальні методи (активні та пасивні), однак традиційні методи сейсмосахисту будівель є більш вивченим, простим та технологічними при реконструкції існуючих будівель.

Загальним недоліком практично для всіх спеціальних методів захисту від коливань є їх недостатнє вивчення та складність прогнозування поведінки при дії сейсмічних навантажень. Багатьом спеціальним методам також характерні складність





та питомою вагою матеріалів за результатами обстеження будівлі. Розрахунки виконані з дотриманням вимог норм [2, 3, 10, 11, 16-18].

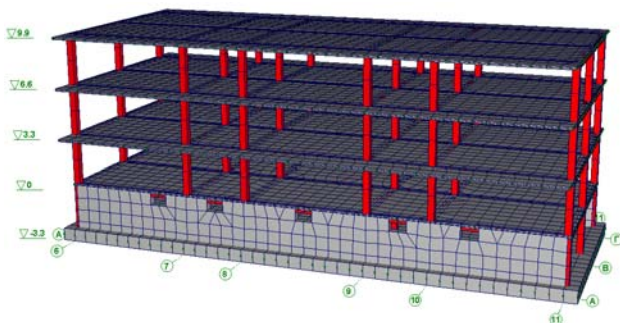


Рис. 3. Розрахункова модель будівлі / Calculation building model

Для аналізу впливу реконструкції на напружено деформований стан конструкцій існуючої будівлі виконані розрахунки, в яких до вихідної розрахункової моделі, додавались зусилля від ваги басейну та конструкцій мансардного поверху. Для розрахунків на динамічні навантаження проаналізовано 68 форм власних коливань каркасу будівлі (рис. 4) з періодами коливань 0,75 сек. - 0,072 сек. та виявленні найбільш впливові на напружено деформований стан конструкцій.

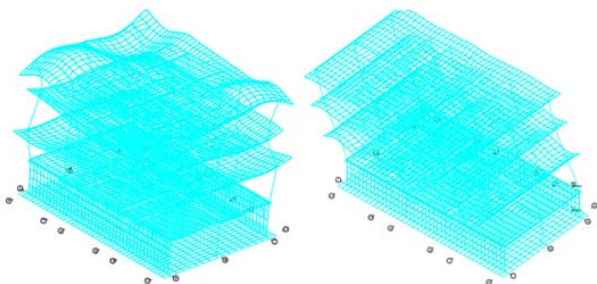


Рис. 4. Окремі приклади власних форм коливання будівлі / Some examples of their own forms of oscillations building

#### Аналіз результатів розрахунку

В результаті аналізу напружено деформованого стану конструкцій будівлі порівнювались прогини і переміщення елементів конструкцій і будівлі в цілому, напруження і зусилля в перерізах елементів отримані при розрахунку на статичні та динамічні навантаження з їх граничними значеннями допустимими нормами проектування. Аналіз отриманих результатів показав, що:

##### при статичному розрахунку:

- переміщення вузлів рам знаходяться в межах допустимих нормами значень, як для існуючої будівлі, так і за умови її надбудови;
- прогини елементів перекриття не перевищують нормативні значення, як для існуючої будівлі, так і за умови її надбудови за виключенням перекриття третього поверху будівлі - прогини на 18,5% більші

за допустимі нормами на ділянці дії додаткового навантаження від басейну;

- зусилля в перерізах колон каркасу вищі за несучу здатність перерізів, фактичне армування колон існуючої будівлі на 3% менше за розрахункове значення, а за умови надбудови мансардного поверху з басейном армування на 33% менше за розрахункове значення;

##### при динамічному розрахунку:

- просторові деформації каркасу будівлі знаходяться у межах допустимих значень, як для існуючої будівлі, так і за умови її надбудови;
- зусилля в перерізах колон каркасу вищі за несучу здатність перерізів, фактичне армування колон існуючої будівлі на 63% менше за розрахункове значення, а за умови надбудови мансардного поверху з басейном - армування на 72% менше за розрахункове значення;

Отримані результати аналізу напружено деформованого стану конструкцій будівлі свідчать про необхідність підсилення колон каркасу будівлі в місцях додаткового навантаження від надбудови мансардного поверху і перекриття третього поверху на ділянці улаштування басейну з одночасним виконанням заходів з підвищення сейсмостійкості будівлі в цілому.

#### Підвищення сейсмостійкості існуючої будівлі

Розподіл жорсткостей в плані існуючої будівлі носить нерегулярний характер. Для визначення ефективного варіанту підвищення сейсмостійкості будівлі при її реконструкції досліджувався напружено деформований стан елементів каркасу на динамічні навантаження для нерегулярної і регулярної схем розташування колон в плані будівлі. Регулярна схема отримана шляхом введення додаткових колон (рис. 5) у досліджувану модель будівлі (рис. 3).

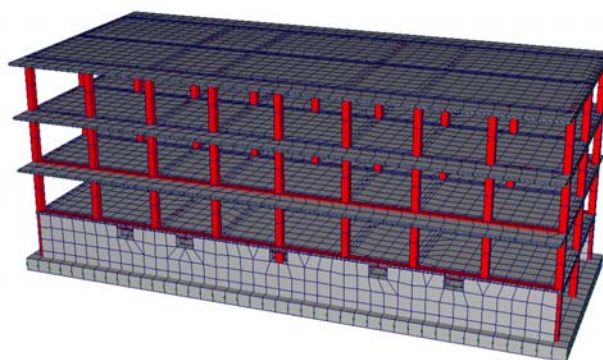


Рис. 5. Розрахункова модель будівлі з регулярною сіткою колон / Calculation model of a building with a regular grid of columns

Для підвищення сейсмостійкості існуючої будівлі з монолітного залізобетонного каркасу в якості додаткових елементів жорсткості, прийняті вертикальні в'язеві панелі. В'язеві панелі виконані з квадратної труби 100x8 мм за ДСТУ 8639-82 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 і регулярна схеми 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. 6.

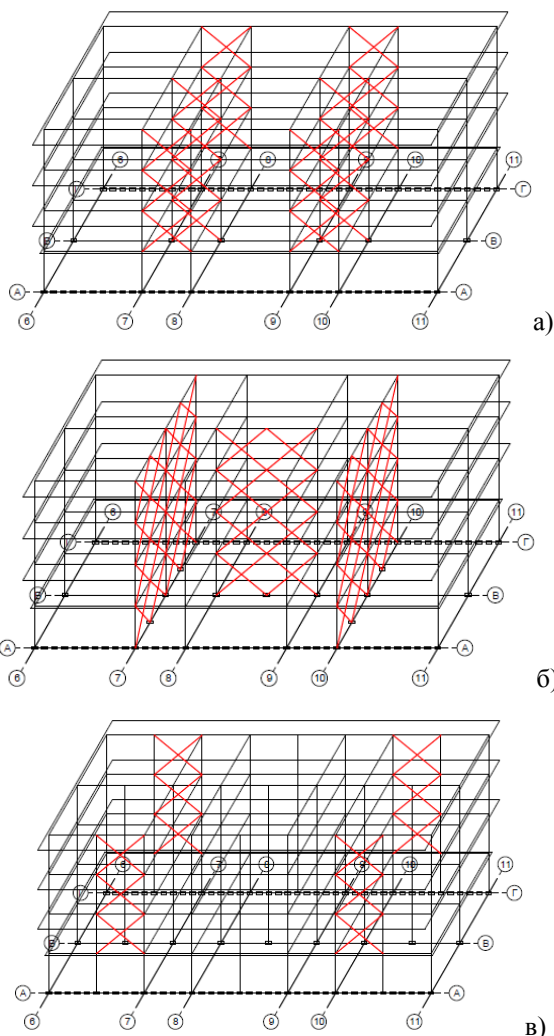


Рис. 6. Розташування в'язевих панелей / The location of the vertical steel diaphragms of rigidity:

- а) по осях А, В і Г в нерегулярній схемі / in the axes A, B and H in the irregular scheme;  
 б) у поздовжньому та поперечному напрямках в нерегулярній схемі / in the longitudinal and transverse directions in the irregular scheme;  
 в) по осях А і Г в регулярній схемі / on the axes A and H in the regular scheme

### Методика порівняльного аналізу варіантів підвищення сейсмостійкості будівель

Для порівняння варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі в'язевими панелями жорсткості в подальшому використовуються такі поняття як: *абсолютний ефект, ефект, ефективність, теоретичний ефект.*

*Абсолютний ефект* – різниця між масою сталі, необхідною для армування колон каркасу вихідної розрахункової моделі та масою сталі, необхідної для армування колон моделі з конструкціями підвищення сейсмостійкості будівлі. Розраховується за формулою:

$$E_a = m_e - m_p, \text{ кг} \quad (1)$$

*Ефект* – відношення абсолютного ефекту до маси сталі, необхідної для армування колон каркасу вихідної моделі. Розраховується за формулою:

$$E = \frac{E_a}{m_e} = \frac{m_e - m_p}{m_e} \cdot 100, \% \quad (2)$$

*Ефективність* – відношення абсолютного ефекту до маси сталі, необхідної на влаштування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівлі. Розраховується за формулою:

$$E_\phi = \frac{E_a}{m_n} = \frac{m_e - m_p}{m_n} \cdot 100, \% \quad (3)$$

У формулах (1...3):

$m_e$  – маса сталі необхідної для армування колон каркасу вихідної розрахункової моделі;  
 $m_p$  – маса сталі необхідної для армування колон каркасу моделі з конструкціями підвищення сейсмостійкості будівлі;  
 $m_n$  – маса сталі, необхідної на влаштування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівлі.

*Загальний ефект* – відношення абсолютного ефекту до маси сталі необхідної для армування всіх конструктивних елементів будівлі вихідної розрахункової моделі. Розраховується аналогічно показнику ефекту.

*Теоретичний ефект* – ефект від влаштування в'язевих панелей у двох напрямках, знаходиться як середнє арифметичне між ефектами в поздовжньому та поперечному напрямках осей:

$$E_m = \frac{E_x + E_y}{2} \cdot 100, \% \quad (4)$$

де  $E_x$  – ефект влаштування в'язевих панелей в поздовжньому напрямку;

$E_y$  – ефект влаштування в'язевих панелей в поперечному напрямку.

*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. Розраховується за формулою:

$$k = \frac{E}{E_{об}} \quad (5)$$

де  $E$  – ефект підсилення  $i$ -го варіанту розташування в'язевих панелей;  $E_{об}$  – 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 отриманими значеннями побудовані графіки, що показують залежність величини ефекту підвищення сейсмостійкості будівлі в'язевими панелями від їх місця розташування в плані відносно центру ваги будівлі (рис. 7, рис. 8).

Підвищення сейсмостійкості будівлі в цілому забезпечується улаштуванням додаткових елементів жорсткості в поздовжньому і поперечному напрямках одночасно, що ускладнює завдання вибору раціонального варіанту розміщення елементів підвищення сейсмостійкості в плані будівлі, оскільки потрібно врахувати нерівномірність розподілу жорсткостей відразу в двох напрямках одночасно.

Сейсмічне навантаження розглядається як сума сейсмічних дій у поздовжньому і поперечному напрямку будівлі, тож логічно припустити, що ефект застосування певної комбінації розміщення в'язевих панелей в плані будівлі буде залежати від ефективності їх розташування для кожного окремо взятого напрямку (спрощений розрахунок).

Для обґрунтування цієї гіпотези на основі аналізу результатів напружено деформованого стану елементів каркасу з різними комбінаціями розташування в'язевих панелей в поздовжньому та поперечному напрямках в плані будівлі (досліджено 10 варіантів) визначений ефект від їх улаштування і виконано порівняння з теоретичним значенням ефекту. Знайдений сумарний ефект відповідає середньому арифметичному ефектів у поздовжньому та поперечному напрямках з максимальною абсолютною похибкою відносно теоретичного 16%.

Загальний ефект та ефективність варіантів влаштування в'язевих панелей одночасно в поздовжньому та поперечному напрямку осей будівлі наведені в табл. 2.

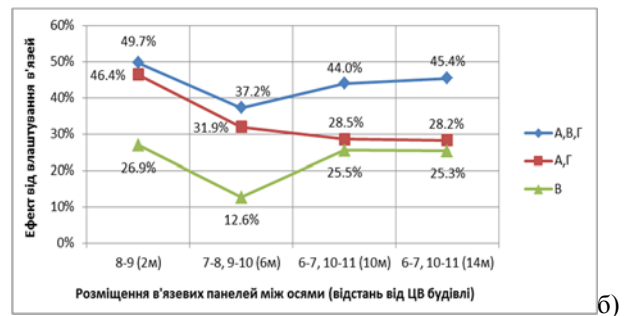
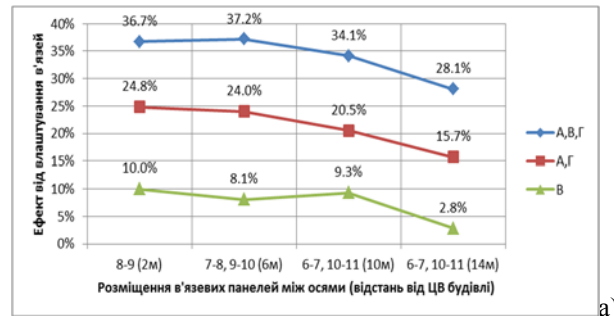


Рис. 7. Графік ефективності влаштування в'язевих панелей в поздовжньому напрямку по одній, двом і трьом осям / Graph of the efficiency of the installation of the vertical steel diaphragms of rigidity in the longitudinal direction on one, two and three axes:

а) для регулярної схеми колон в плані будівлі / for a regular scheme of column in the plan of the building;

б) для нерегулярної схеми колон в плані будівлі / for a irregular scheme of column in the plan of the building

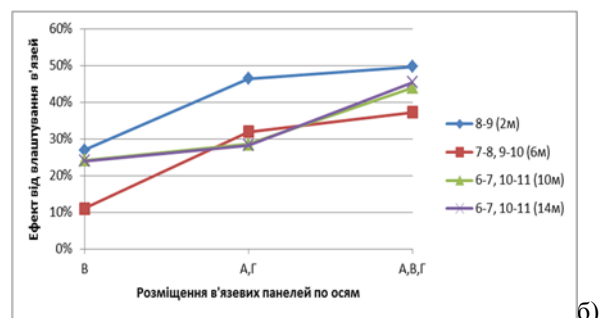
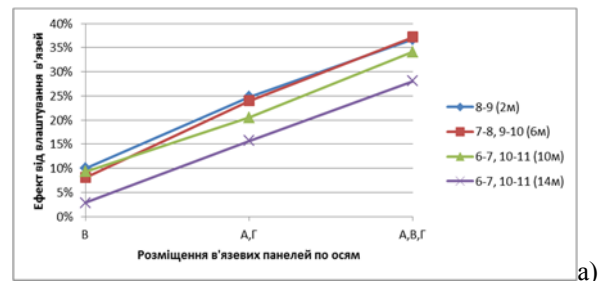


Рис. 8. Графік ефективності влаштування в'язевих панелей від їх кількості в поперечному перерізі будівлі / Graph of the efficiency of the installation of vertical steel diaphragms of rigidity from their number in the cross section of the building:

а) для регулярної схеми колон в плані будівлі / for a regular scheme of column in the plan of the building;

б) для нерегулярної схеми колон в плані будівлі / for a irregular scheme of column in the plan of the building

Таблиця 2

**Загальний ефект від влаштування в'язевих панелей в поздовжньому та поперечному напрямку осей будівлі / The general effect of the arrangement of vertical steel diaphragms of rigidity in the longitudinal and transverse directions of the building axes**

Розм. в'язей	Стан	Колони		Балки		Перек-тя	Всього	$E_m$	$\Pi$	$m_0, \text{кг}$	$E_f$
		$m_{c, \text{кг}}$	$m_{sw, \text{кг}}$	$m_{c, \text{кг}}$	$m_{sw, \text{кг}}$	$m, \text{кг}$					
7.10 (8м)/А.Г. (8-9)/(2м)	вихідний	3936	638	7138	3413	12958	28083	45.8%	-3.2%	9030	132.2%
	рекон-ія	1600	248	4310	1934	8053	16145				
	різниця	2336	390	2828	1479	4905	11938				
	Ефект (E)	59.3%	61.2%	39.6%	43.3%	37.9%	42.5%				
		59.6%		40.8%		37.9%					
7.10 (8м) / А.В.Г. (7-8, 9-10)/(6м)	вихідний	3936	638	7138	3413	12958	28083	41.2%	0.0%	10874	106.4%
	рекон-ія	1892	267	4454	1779	8124	16516				
	різниця	2045	371	2684	1634	4834	11567				
	Ефект (E)	51.9%	58.1%	37.6%	47.9%	37.3%	41.2%				
		52.8%		40.9%		37.3%					
7.10 (8м) / В. (8-9)/(2м)	вихідний	3936	638	7138	3413	12958	28083	36.0%	-0.6%	8109	122.6%
	рекон-ія	2110	303	4777	1963	8988	18142				
	різниця	1826	335	2361	1450	3970	9941				
	Ефект (E)	46.4%	52.5%	33.1%	42.5%	30.6%	35.4%				
		47.2%		36.1%		30.6%					
6.11 (16м)/А.Г. (6-7, 10-11)/(4м)	вихідний	3936	638	7138	3413	12958	28083	31.2%	-6.4%	9030	81.1%
	рекон-ія	2127	328	5206	2509	10408	20579				
	різниця	1809	310	1931	904	2549	7503				
	Ефект (E)	46.0%	48.6%	27.1%	26.5%	19.7%	26.7%				
		46.3%		26.9%		19.7%					

Примітка: розм. в'язей – розміщення в'язевих панелей;  $m_s$  – маса сталі необхідна для поздовжнього армування конструкції;  $m_w$  – маса сталі необхідна для поперечного армування конструкції;  $m$  – маса сталі необхідна для армування перекриття;  $E_m$  – теоретичний ефект від влаштування в'язей;  $\Pi$  – похибка,  $\Pi = E - E_m$ ;  $m_0$  – маса в'язей;  $E_f$  – ефективність.

### Аналіз результатів розрахунку ефективності варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі

Аналіз ефекту варіантів розміщення в'язевих панелей в плані будівлі вздовж поздовжніх осей для регулярної (рис. 7 а) та нерегулярної (рис. 7 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 поздовжнім 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.

Розміщення в'язевих панелей вздовж поперечних осей будівлі (рис. 8 а, б), показує 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, -0,392, -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.

Як можна бачити з табл. 2, максимальна величина похибки визначення загального ефекту за спрощеною методикою і за результатами розрахунків моделі будівлі при варіантах розташування в'язевих панелей вдвох напрямках одночасно, становить 6,4%, що, можливо вважати допустимим для використання запропонованої методики порівняння та вибору варіантів підвищення сейсмостійкості каркасних будівель з монолітного залізобетону. Тобто, загальний ефект влаштування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівель може бути визначений за спрощеною методикою як середнє арифметичне між ефектами від влаштування додаткових елементів жорсткості окремо в поздовжньому та в поперечному напрямках осей будівлі.

Для обраної, в якості об'єкта дослідження, будівлі найбільш раціональним варіантом є варіант з розташуванням в'язевих панелей у поперечному напрямку на відстані 8 м від центру ваги будівлі (осі 7 і 10) та на відстані 2 м (між осями 8 і 9) – у поздовжньому напрямі по крайнім осям колон каркасу (А і Г). Загальний ефект від їх влаштування має максимальне значення і становить 132,3%.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Для підвищення сейсмостійкості існуючих будівель при їх реконструкції найбільш вивченим, простим та технологічними є традиційні методи.

Для об'єкта дослідження встановлено, що в порівнянні зі статичним розрахунком, при розрахунку на сейсмічні навантаження 63% колон каркасу не відповідають вимогам міцності для існуючої каркасу і на 72% - за умови збільшення навантаження при реконструкції.

Досліджено напружено деформований стан елементів каркасу будівлі для різних варіантів підвищення сейсмостійкості будівлі шляхом влаштування додаткових в'язевих панелей жорсткості.

За результатами досліджень виявлені закономірності зміни напружено деформованого

стану конструкцій каркасу існуючої будівлі при дії сейсмічного навантаження в залежності від місця розташування в'язевих панелей жорсткості в плані відносно центра ваги будівлі, визначене необхідне армування конструкцій каркасу для забезпечення нормативних вимог сейсмозахисту будівлі та виконаний аналіз ефективності варіантів у порівнянні з вихідною розрахунковою моделлю будівлі.

Аналіз ефективності варіантів розміщення в'язевих панелей в плані будівлі показав, 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.

Для порівняння та вибору раціонального варіанту розташування конструкцій підвищення сейсмостійкості будівель запропонована спрощена методика оцінки загального ефекту від їх влаштування та на її основі визначений найбільш раціональний варіант для існуючої будівлі, що досліджувалась.

Метою подальших досліджень є дослідження та аналіз напружено деформованого стану конструкцій багатопверхової житлової будівлі з різними конструктивними схемами при зміні сейсмічного навантаження та оцінка впливу зміни сейсмічності майданчику на конструктивні та економічні параметри заходів сейсмозахисту будівлі.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сейсмічність і сейсмічна безпека України: постанова Національної Академії наук України від 08.10.2008 N 244 [Електронний ресурс] / Б. С. Патон, А. П. Шпак. – Режим доступу: [http://zakon.nau.ua/doc/?doc\\_id=294579](http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=294579).
2. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності: ДСТУ Б В.1.1-28:2010/Мінрегіонбуд України. – Укрархбудінформ. – Київ, 2011. – 79 с.
3. Будівництво в сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014 / Мінрегіонбуд України. – Укрархбудінформ. – Київ, 2014. – 110 с.
4. Немчинов Ю. И. Проблемы проектирования и строительства в сейсмоопасных районах Украины и основные направления развития норм по сейсмостойкому строительству. – К: НИИСК. – Режим доступа: [http://www.seism.org.ua/seism06-02\\_r.html](http://www.seism.org.ua/seism06-02_r.html).
5. Егулов К. В. Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений / К. В. Егулов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 1. – С.23-29.
6. Банах А. В. Анализ напряжённо-деформированного состояния конструкций недостроенного сооружения класса ответственности СС2 / А. В. Банах // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – Вип. 48. – С. 29-36. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2013\\_48\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2013_48_7).
7. Мар'єнков М. Г. Оцінка напружено-деформованого стану конструкцій будівлі при дії сейсмічних навантажень / М. Г. Мар'єнков, Д. В. Богдан, В. О. Сахаров // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2015. – № 96. – С. 3-22. Режим доступу: [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-96/01-96\\_marie\\_bogd\\_saha.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-96/01-96_marie_bogd_saha.pdf).
8. Седин В. Л. Натурная оценка взаимодействия основания и сооружения при ударном воздействии на грунт / В. Л. Седин, Е. А. Бауск, В. А. Загильский // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – 2015. – Вып. 85. – С.62-67. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit\\_2015\\_85\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2015_85_12).
9. Яновський О. О. Перспективний напрям підвищення сейсмостійкості існуючих кам'яних будівель з використанням прибудови та вбудови каркасу / О. О. Яновський // Будівельні конструкції. – 2015. – Вип. 82. – С. 444-449. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2015\\_82\\_50](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2015_82_50).
10. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009 /Мінрегіонбуд України. – Укрархбудінформ. – Київ, 2009. – 30 с.
11. Система надійності та безпеки у будівництві. Настава. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDN): ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 / Мінрегіонбуд України – Укрархбудінформ. – Київ, 2009. – 81 с.
12. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях / Ю. И. Немчинов // Киев. – 2008. – 408 с.
13. Поляков С. В. Современные методы сейсмозащиты зданий / С. В. Поляков, Л. Ш. Килимник, А. В. Черкашин. – М.: Стройиздат, 1989. – 320 с.
14. Повышение сейсмостойкости зданий: Серия 0.00 – 2.96с. / [Айзенберг Я.М., Чигрин С.И., Черкашин А.В., Минаков С. А.]. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1996. – Выпуск 0-0: Общие материалы для проектирования. – 13 с.
15. Науково-технічний звіт: «Висновки за результатами інструментального обстеження будівельних конструкцій каркасного будинку торговельного комплексу по вул. Льва Толстого, 64 у м. Севастополь, АР Крим перед реконструкцією», виконаний ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпропетровськ, 2012 р.
16. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2006 / Мінрегіонбуд України. – Укрархбудінформ. – Київ, 2006. – 78 с.
17. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009 / Мінрегіонбуд України. – Укрархбудінформ. – Київ, 2011. – 71 с.
18. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В 2.6-156:2010 / Мінрегіонбуд України – Укрархбудінформ. – Київ, 2011. – 118 с.

## REFERENCES

1. *Postanova Natsional'noyi Akademiyi nauk Ukrayiny vid 08.10.2008 N 244* [Decree of the National Academy of Sciences of Ukraine from 08.10.2008 N 244]. *Seismichnist' i seismichna nebezpeka Ukrayiny* [Seismic and seismic danger of Ukraine] [Electronic resource] / B. Ye. Paton, A. P. Shpak. Available at: [http://zakon.nau.ua/doc/?doc\\_id=294579](http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=294579).
2. Minrehionbud Ukrainy. *Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi. Shkala seismichnoyi intensyvnosti: DSTU B V.1.1-28:2010*. [National standard of Ukraine B V.1.1-28:2010. Protection against dangerous geological processes, harmful operational influences, against fire. Scale of seismic intensity]. Kyiv, 2011. 79 p.
3. Minrehionbud Ukrainy. *Budivnytstvo v seismichnykh rayonakh Ukrayiny: DBN V.1.1-12:2014* [State Building Codes V.1.1-12:2014. Construction in seismic areas of Ukraine]. Kyiv, 2014. 110 p.
4. Nemchinov Yu. I. *Problemy proektirovaniya i stroitelstva v seysmoopasnykh rayonakh Ukrainy i osnovnye napravleniya razvitiya norm po seysmostoykomu stroitelstvu* [The problems of design and construction in seismically dangerous regions of Ukraine and the main directions of the development of norms for earthquake-resistant construction.]. Kyiv, NIISK. Available at: [http://www.seism.org.ua/seism06-02\\_r.html](http://www.seism.org.ua/seism06-02_r.html).
5. Egupov K. V. *Problemy proektirovaniya na seysmostoykost protyazhennykh i nesimmetrichnykh sooruzheniy* [Design problems for seismic resistance of extended and asymmetric structures]. *Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* [Seismic resistant construction. Security of buildings]. 2000, no. 1, pp. 23-29. (in Ukrainian).
6. Banah A. V. *Analiz napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktsiy nedostroennogo sooruzheniya klasa otvetsvennosti SS2* [Analysis of the stress-strain state of the constructions of the unfinished construction of the CC2 class of responsibility]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Urban planning and territorial planning]. 2013, no. 48, pp. 29-36. (in Ukrainian). Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2013\\_48\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2013_48_7).
7. Mar"yankov M. H., Bohdan D. V. and Sakharov V. O. *Otsinka napruzhenno-deformovanoho stanu konstruktsiy budivli pry diyi seysmichnykh navantazhen'* [Estimation of stress-deformed state of building structures under the influence of seismic loads]. *Opir materialiv i teoriya sporud* [The resistance of materials and the theory of structures]. 2015, no. 96, pp. 3-22. (in Ukrainian). Available at: [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-96/01-96\\_marie\\_bogd\\_saha.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-96/01-96_marie_bogd_saha.pdf).
8. Sedin V. L., Bausk E. A. and Zagilskiy V. A. *Naturnaya otsenka vzaimodeystviya osnovaniya i sooruzheniya pri udarnom vozdeystvii na grunt* [Full-scale assessment of the soil structure interaction under force impact on soil]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* – [Construction, materials science, mechanical engineering]. 2015, no. 85, pp. 62-67. (in Ukrainian). Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit\\_2015\\_85\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2015_85_12).
9. Yanovs'kyy O. O. *Perspektyvnyy napryam pidvyshchennya seysmostiystosti isnuyuchykh kam"yanykh budivel' z vykorystannyam prybudovy ta vbudovy karkasu / O. O. Yanovs'kyy // Budivel'ni konstruktsiyi*
10. Minrehionbud Ukrainy. *Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob"yektiv. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel', sporud, budivel'nykh konstruktsiy ta osnov: DBN V.1.2-14:2009*. [State Building Codes V.1.2-14:2009. System of reliability and safety of construction objects. General principles of maintenance of reliability and constructive safety of buildings, structures, building constructions and bases]. Kyiv, 2009. 30 p.
11. Minrehionbud Ukrainy. *Systema nadiynosti ta bezpeky u budivnytstvi. Nastanova. Osnovy proektuvannya konstruktsiy (EN 1990:2002, IDN): DSTU-N B V.1.2-13:2008* [National standard of Ukraine B V.1.2-13:2008. System of reliability and safety in construction. Design guide. Basics of Design of Structures]. Kyiv, 2009. 81 p.
12. Nemchinov Yu. I. *Seysmostoykost zdaniy i sooruzheniy. V dvuh chastyah* [Seismic stability of buildings and structures. In two parts]. Kiev, 2008. 480 p.
13. Polyakov S. V. *Sovremennyye metody seysmozaschity zdaniy* [Modern methods of seismic protection of buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 320 p. (in Russia).
14. Ajzenberg Ja. M., Chigrin S.I., Cherkashin A.V. and Minakov S.A. *Povyishenie seysmostoykosti zdaniy: Seriya 0.00 – 2.96s*. [Increasing seismic stability of buildings: Series 0.00 - 2.96s.]. *Vyipusk 0-0: Obschie materialy dlya proektirovaniya* [Issue 0-0: General materials for design]. Moscow: CNIISK n. Kucherenko, 1996. 13 p. (in Russia).
15. Naukovo-tekhnichnyy zvit: «Vysnovky za rezul'tatamy instrumental'noho obstezhennya budivel'nykh konstruktsiy karkasnoho budynku torhivelnoho kompleksu po vul. L'va Tolstoho, 64 u m. Sevastopol', AR Krym pered rekonstruktsiyeyu» [16. Scientific and technical report: "Conclusions on the results of the instrumental survey of building structures of the frame house of the trading complex on the street. Leo Tolstoy, 64 in Sevastopol, Crimea before reconstruction]. Dnipropetrovs'k: DVNZ PDABA, 2012.
16. Minrehionbud Ukrainy. *Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob"yektiv. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya: DBN V.1.2-2:2006*. [State Building Codes V.1.2-2:2006. System of reliability and safety of construction objects. Load and impact. Design standards]. Kyiv, 2006. 78 p.
17. Minrehionbud Ukrainy. *Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya proektuvannya: DBN V.2.6-98:2009*. [State Building Codes V.2.6-98:2009. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete constructions. Basic of design]. Kyiv, 2011. 71 p.
18. Minrehionbud Ukrainy. *Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannya: DSTU B V 2.6-156:2010* [Structures of buildings and structures. Concrete and concrete constructions made of heavy concrete. Design rules]. Kyiv, 2011. 118 p.

Стаття рекомендована до друку д-ром. техн. наук, проф. Савицьким М.В. (Україна);  
Поступила в редколегію 20.08.2017