

УДК 692

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2026.1.2.37>

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Хархаліс М. Р. – кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри міського будівництва та господарства
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0001-6044-0612

Полянський К. В. – доктор філософії, доцент,
доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0002-2615-3975

Савельєв Д. І. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерно-технічних заходів цивільного захисту
Навчально-наукового інституту інженерної та спеціальної підготовки
Національного університету цивільного захисту України
ORCID ID: 0000-0002-4310-0437

Актуальність даного дослідження полягає в постійній необхідності врахування поведінки споруд та окремих будівельних матеріалів під циклічними сейсмічними навантаженнями. Вибір об'єкта аналізу обумовлений широким використанням залізобетонних каркасних систем у житлових, громадських та комерційних спорудах в Україні, особливо в сейсмічно активних регіонах. Сейсмостійкості залізобетону можна досягнути за рахунок розробки відповідної методології аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції будівель.

Мета статті. Метою даної статті є створення системи оцінки впливу сейсмічних навантажень на українські будівлі із залізобетонними каркасами.

Результати. Згідно з визначенням дослідження, «залізобетонні каркасні конструкції» – це просторові системи, що складаються як з вертикальних, так і з горизонтальних компонентів. Основною є вимога до правильного встановлення кріплень, постійних укосів, армованих балок та вузлів, що з'єднують їх з колонами. Було виявлено, що географічний розподіл сейсмічної активності в Україні включає значні землетруси на території Кримського півострова та незначні коливання в західному регіоні країни. Також було визначено нормативну базу щодо проектування основ споруд. Після ретельного вивчення вищезазначених змінних було запропоновано метод дослідження впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні системи будівель.

Висновки. Основою запропонованого аналітичного підходу є поступове формування обчислювальної динамічної моделі будівлі як багатомасової системи зі зосередженими масами та пружними зв'язками між перекриттями. Тому встановлена методологія може бути використана в інженерних розрахунках та дослідженнях, пов'язаних з підвищенням сейсмостійкості будівельних конструкцій у сейсмічно небезпечних районах України. Запропонований метод застосовний як для інженерних розрахунків, так і як основа для дослідження потенційного підвищення сейсмостійкості будівельних конструкцій у сейсмічно небезпечних регіонах України.

Ключові слова: сейсмічні навантаження, сейсмічні зони, сейсмостійкості конструкції, каркасні залізобетонні конструкції, модель поведінки будівлі під дією сейсмічного навантаження.

© Хархаліс М. Р., Полянський К. В., Савельєв Д. І., 2026



Стаття поширюється на умовах
відкритої ліцензії CC BY 4.0

Kharkhalis M. R., Polianskyi K. V., Saveliev D. I. Analysis of the impact of seismic loads on building structures

The significance of this study lies in the constant need to take into account the behavior of structures and individual building materials under cyclic seismic loads. The choice of the object of analysis is due to the widespread use of reinforced concrete frame systems in residential, public and commercial buildings in Ukraine, especially in seismically active regions. The seismic resistance of reinforced concrete can be achieved by developing an appropriate methodology for analyzing the impact of seismic loads on reinforced concrete frame structures of buildings.

The purpose of the article. This article's purpose is to create a system for evaluating how seismic loads affect Ukrainian buildings with reinforced concrete frames.

Results. According to the study, "reinforced concrete frame structures" are spatial systems consisting of both vertical and horizontal components. The main requirement is the correct installation of fasteners, permanent slopes, reinforced beams and joints connecting them to columns. It was found that the geographical distribution of seismic activity in Ukraine includes significant earthquakes on the Crimean Peninsula and minor tremors in the western region of the country. The regulatory framework for this study. After a thorough study of the above variables, a method was proposed for investigating the impact of seismic loads on reinforced concrete frame systems of buildings.

Conclusions. The proposed analytical approach is gradually established since a computational dynamic model of a building as a multi-mass system with concentrated masses and elastic linkages between floors. It follows that the established methodology can be used in engineering calculations and studies to increase the seismic resistance of building structures in seismically hazardous areas of Ukraine. The proposed method is applicable both for engineering calculations and as a basis for researching potential improvements in the seismic resistance of building structures in seismically hazardous regions of Ukraine.

Key words: seismic loads, seismic zones, seismic resistance of structures, reinforced concrete frame structures, model of building behavior under seismic loading.

Вступ. Залізобетонні конструкції є одним з найпоширеніших конструктивних рішень в українському будівництві завдяки поєднанню високої міцності бетону на стиск та пластичності арматури на розтяг. Залізобетоном називають комбінований матеріал, у якому бетон і арматура завдяки їх надійному залученню, працюють під навантаженням спільно як єдине монолітне тіло. Цей комбінований матеріал здатний ефективно сприймати статичні та динамічні навантаження завдяки своїй внутрішній структурі та механічним властивостям [8]. У контексті сейсмічних навантажень каркасні залізобетонні конструкції являють собою просторові системи, що складаються з вертикальних (колони) і горизонтальних (балки, перекриття) елементів. Така конструкція має значну жорсткість і здатність перерозподіляти сили, що виникають при сейсмічних впливах. Тому вони є переважним вибором для багатопверхових житлових і громадських будівель, зокрема в сейсмічно активних районах України. У науково-методичних джерелах [1; 3; 7; 8] наголошується, що проєктування залізобетонних каркасів має враховувати передусім нормативні навантаження (статичні, снігові, вітрові), а також динамічні впливи землетрусів, оскільки саме вони визначають поведінку конструкції в екстремальних умовах. Такий підхід передбачає комплексну оцінку фізико-механічних властивостей матеріалів, характеристики вузлів та взаємодії елементів каркаса. Проте реальна ефективність таких конструкцій значною мірою залежить від точності моделювання поведінки залізобетону під циклічними сейсмічними навантаженнями, що є предметом нашого подальшого аналізу, що і обумовлює актуальність дослідження впливу сейсмічних навантажень на подібні будівельні конструкції.

Мета статті – здійснити комплексний аналіз впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції будівель з урахуванням особливостей монтажу залізобетонного каркаса, географічних особливості регіонів України та нормативно-правового забезпечення щодо проєктування основ та фундаментів споруд. Стаття спрямована на розробку методики аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції будівель в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням технологічного розвитку процедур зведення каркасних, зокрема і залізобетонних, будівель було присвячено праці І. В. Журавльов [1; 2] і О. Г. Хоменко [8]. Вплив сейсмічної активності на каркасні залізобетонні конструкції досліджувалися у праці В. Колякової, І. Фурсовича [3]. Додатково питання нормативно-правового забезпечення були окреслені у роботі Ю. Слюсаренко, В. Титаренко, Ю. Мелашенко, В. Шумінського [7]. Синтез вищевказаної наукової літератури дозволив виявити прогалину у комплексному підході до аналізу сейсмічної дії на каркасні залізобетонні будівлі з урахуванням сучасних розрахункових підходів.

Виклад основного матеріалу. Каркасні залізобетонні конструкції є просторовими несучими системами будівель, у яких основну несучу функцію виконують взаємопов'язані колони (вертикальні елементи) і балки/ригелі (горизонтальні елементи), виготовлені із залізобетону, що є композитним матеріалом, що складається з бетону та сталеві арматури [8]. Висока міцність бетону на стиск та міцність арматури на розтяг дозволяють залізобетону підтримувати складні напружені стани, включаючи динамічні, такі як сейсмічні напружені стани, у цих типах конструкцій. Коли сталь і бетон діють як єдине монолітне ціле, несуча здатність каркасних елементів збільшується, і вони стають більш стійкими до деформацій, спричинених зовнішніми силами.

В Україні як і в багатьох інших країнах залізобетонна каркасна система широко використовується в житлових, громадських та комерційних будівлях завдяки забезпеченню великих внутрішніх просторів, гнучкої конфігурації приміщень, високій міцності, тривалому терміну служби та відносно невеликій витраті матеріалів [1]. Це є безумовною перевагою для цих типів конструкцій у сейсмічних регіонах України завдяки тому, що вони мають просторову жорсткість та здатні перерозподіляти сили. Однак, доречність цього затухання залежить від точного проектування, точних розрахунків та точного монтажу.

Зважаючи на це, монтаж залізобетонного каркаса є технологічно складним етапом будівництва, що вимагає чіткого порядку робіт і дотримання технологічних стандартів [3]. По перше, під час монтажу каркасів особливу увагу приділяють забезпеченню просторової стійкості конструкції. Для цього використовуються тимчасові та постійні розкоси, які запобігають втраті стійкості колон і перекосам каркаса на ранніх етапах будівництва. Правильне розміщення таких елементів забезпечує точність геометрії каркаса та рівномірний розподіл навантажень між його складовими (Рис. 1).

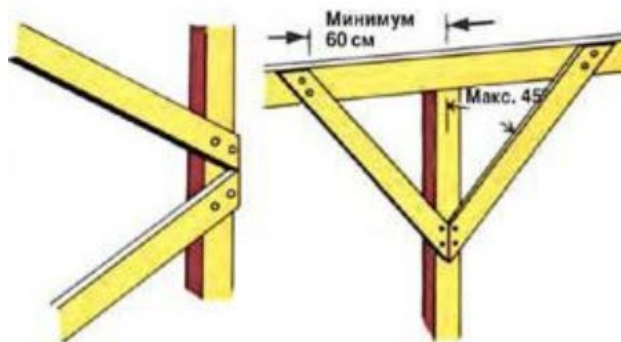


Рис. 1. Правильне встановлення розкосів

Джерело: [2].

Окрім тимчасових елементів, у каркасних системах широко застосовуються постійні укоси, які формують жорсткі просторові діафрагми та значно підвищують опір будівлі горизонтальним навантаженням, зокрема сейсмічним. Такі укоси зменшують переміщення та деформації каркаса під дією динамічних впливів і сприяють перерозподілу зусиль між колонами і балками (Рис. 2).

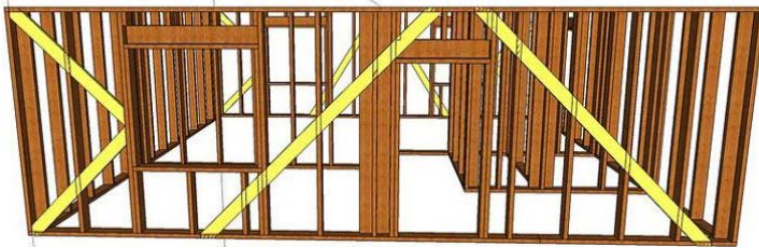


Рис. 2. Укоси каркаса

Джерело: [2].

В умовах сейсмічних навантажень найбільш уразливими елементами каркасних залізобетонних конструкцій є балки та вузли їх з'єднання з колонами, оскільки саме в цих зонах виникають максимальні згинальні моменти та зсувні зусилля. За перевищення граничних навантажень у балках формуються тріщини, відбувається пластичне деформування арматури, що може призводити до втрати несучої здатності елемента (Рис. 3). Так, механізми з'єднання одночасно і забезпечують просторову жорсткість, спільну дію та роботу конструктивних елементів (які є характеристиками експлуатаційної придатності елемента), і можуть спричинити появу тріщин, вузлових деформацій або концентрацій напружень при неякісному складанні (які своєю чергою знижують сейсмічні характеристики залізобетонного каркаса).

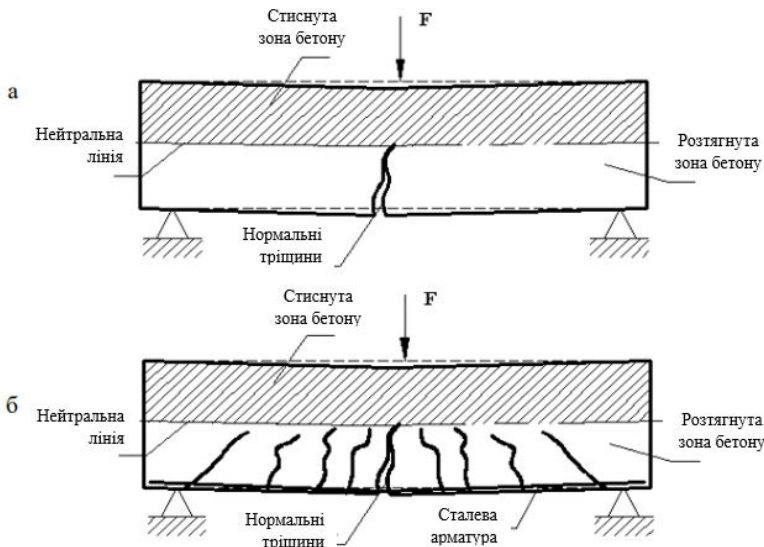


Рис. 3. Схема руйнування балки під навантаженням

Джерело: [8].

Значні динамічні навантаження від сейсмічної активності створюють додаткове навантаження на залізобетонні конструкції, такі як перекриття, стіни та колони. Щоб гарантувати стійкість будівель під час землетрусу, важливо враховувати як статичні, так і динамічні впливи, адже при цьому всі компоненти піддаються силам інерції, оскільки вона (тобто будівля або споруда) зазнає вертикальних та горизонтальних прискорень. Тому у залізобетонних компонентах, таких як перекриття, стіни та колони, можуть виникати значні сили, які можуть бути більшими за їхню типову міцність. Це може призвести до руйнування або деформації будівлі під час землетрусу. Магнітуда, яка є числом, пропорційним енергії, що вивільняється в епіцентрі землетрусу, і дорівнює десятковому логарифму амплітуди найбільшого коливання ґрунту відносно деякого стандартного коливання, є мірою інтенсивності сейсмічного навантаження, зокрема землетрусу. К. Ріхтер створив шкалу магнітуди, яка має визначений діапазон від 0 до 8,7 балів.

Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України (ДКАУ) відповідає за національний сейсмічний моніторинг в Україні. Він веде облік сейсмічних подій у режимі реального часу як всередині країни, так і за кордоном. Дані ГЦСК, наведені на Рис. 4, демонструють як локальні слабкі події (наприклад, магнітуди $\sim 1,5\text{--}3,0$ у Чернівецькій та Закарпатській областях), так і віддалені, але впливові землетруси в навколишніх сейсмічних зонах (наприклад, поблизу тимчасово окупованого Криму).

Нормативно-правове забезпечення, що стосується проектування основ та фундаментів споруд в Україні, основним документом визначається ДБН В.2.1-10:2018 [5],

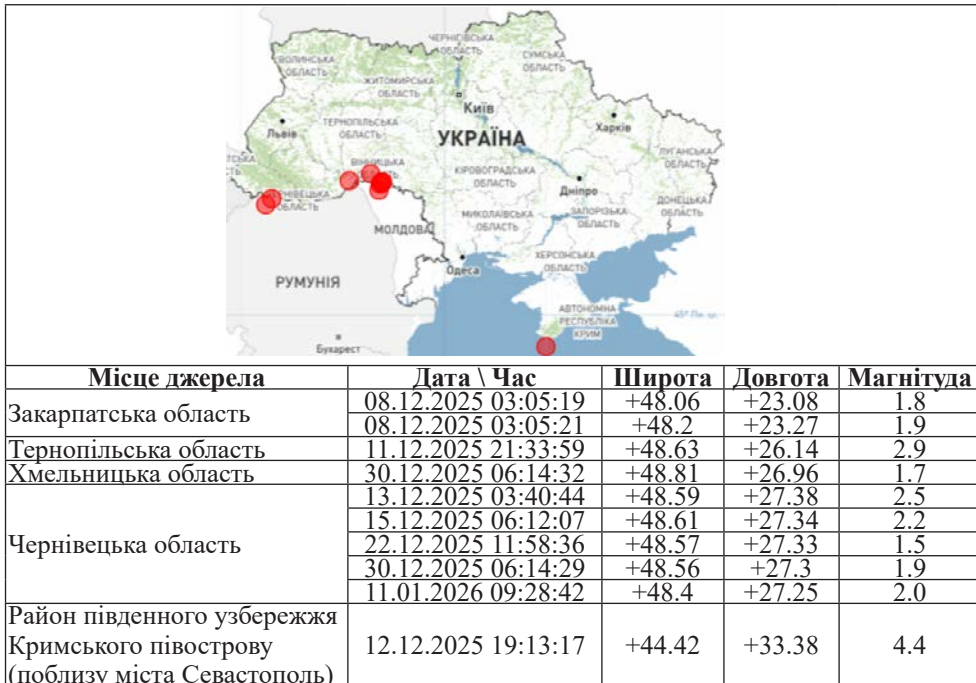


Рис. 4. Сейсмічний моніторинг України

Джерело: [6].

що був введений від 1 січня 2019 року на заміну ДБН В.2.1-10:2009 [4], положення якого розкриваються в низці національних стандартів щодо інженерної підготовки ґрунтової основи споруд; науково-технічного моніторингу; проєктування котлованів та підпірних стін. Структура комплексу нормативно-правових актів і стандартів щодо проєктування основ і фундаментів споруд представлена на Рис. 5.

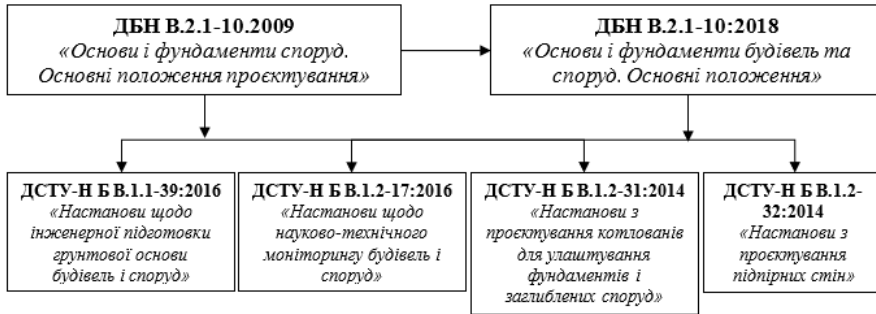


Рис. 5. Структура комплексу нормативно-правових актів і стандартів щодо проєктування основ і фундаментів споруд

Джерело: [7].

Варто відзначити, що вплив сейсмічних навантажень на залізобетонні каркаси пов'язаний із динамічними реакціями матеріалів і вузлів, що стають суттєвими у випадках землетрусів середньої і високої інтенсивності. Це потребує включення у розрахунки динамічних спектральних методів та визначення параметрів, що описують поведінку конструкції у частотній області.

Першим етапом аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції є визначення сейсмічних і ґрунтових параметрів майданчика:

I. Сейсмічний вплив задається через розрахункове пікове прискорення ґрунту (a_g), яке визначається з карт сейсмічного районування за ДБН В.1.1-12:2014.

$$a_g = a_0 * \gamma I \quad (1)$$

де a_0 – нормативне відносне прискорення ґрунту для даної сейсмічної зони. Згідно з картами ДБН В.1.1-12:2014 типовими значеннями для України є: 6 балів = 0,05g, 7 балів = 0,10g, 8 балів = 0,20g, 9 балів = 0,40g;

γI – коефіцієнт відповідальності споруди.

Після проведення відповідного розрахунку пікового прискорення ґрунту (a_g) очікується його використання у якості вхідного параметра для подальшого визначення сейсмічних навантажень на залізобетонну конструкцію.

II. Урахування впливу інженерно-геологічних умов майданчика на інтенсивність сейсмічного впливу відбувається шляхом використання формули для обчислення скоригованого розрахункового прискорення ґрунту ($a_{g,s}$), оскільки різні типи ґрунтів по-різному підсилюють або послаблюють коливання ґрунту під час землетрусу. Розрахункове прискорення ґрунту ($a_{g,s}$) обчислюється наступним чином:

$$a_{g,s} = a_g * S \quad (2)$$

де S – коефіцієнт ґрунту, який залежить від класу ґрунту (що визначений у ДБН В.1.1-12:2014): скельні (A) = 1,0; щільні піски, глини (B) = 1,2; середні ґрунти (C) = 1,5; м'які, водонасичені (D) = 1,8-2,0.

Отже, отримуємо скориговане розрахункове прискорення ґрунту ($a_{g,s}$), яке відображає реальний рівень сейсмічного впливу з урахуванням ґрунтових умов.

III. Ефективне сейсмічне прискорення (a_{eff}) розраховується з метою врахування енергопоглинальної здатності залізобетонної каркасної системи шляхом внутрішнього демпфування, що зменшує фактичний рівень динамічного впливу на конструкцію за формулою:

$$a_{eff} = a_{g,s} * \eta \quad (3)$$

де η – коефіцієнт демпфування (типово 0.9–1.0 для залізобетонних каркасів).

За результатами розрахунків визначається ефективне сейсмічне прискорення (a_{eff}), яке використовується при визначенні інерційних сил, що виникають у конструкції під час землетрусу.

Другим етапом аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції є визначення маси каркасної будівлі. Сейсмічні сили є інерційними, тому ключовим параметром є розрахункова маса конструкції. Тому для кожного рівня k виконується обчислення:

$$m_k = \frac{1}{g} \sum (G_k + \Psi E_k) \quad (4)$$

де G_k – постійні навантаження (власна вага перекриттів, колон, стін);

E_k – експлуатаційні навантаження;

Ψ – коефіцієнт участі змінних навантажень (0.2–0.5);

g – прискорення вільного падіння.

В результаті отримуємо значення розрахункової маси (m_k) кожного поверху будівлі (k), яка бере участь у сейсмічних коливаннях і формує інерційні сили при дії землетрусу, яке використовується для формування масової матриці динамічної системи.

Загальна маса будівлі (M), що визначає загальний інерційний потенціал каркасної конструкції при сейсмічному навантаженні, розраховується наступним чином:

$$M = \sum_{k=1}^n m_k \quad (5)$$

Надалі загальна маса будівлі (M) використовується для оцінки рівня сейсмічних зусиль та динамічних характеристик конструкції.

Третім етапом аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції є формування розрахункової динамічної моделі, де каркасна будівля подається як багатомасова система із зосередженими масами:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

Отримана матриця (M), що являє собою представлення залізобетонної каркасної будівлі у вигляді багатомасової динамічної системи із зосередженими масами, описує розподіл маси по поверхах і використовується у рівняннях руху конструкції.

Далі розраховується матриця жорсткості каркасної системи, де для кожного поверху визначається бічна жорсткість (k_i):

$$k_i = \sum \left(\frac{12 E_c I_c}{h_i^3} \right) \quad (7)$$

де E_c – модуль пружності бетону;

I_c – момент інерції колон;

h_i – висота поверху.

В результаті матриця жорсткості (K) виглядає наступним чином:

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Дана матриця (K) визначає силову реакцію конструкції на горизонтальні переміщення при сейсмічному впливі.

Повна система руху каркаса, тобто його сейсмічна поведінка, описується рівнянням:

$$M \ddot{u} = C \dot{u} + K u = -M \ddot{u}_g \quad (9)$$

де u – вектор горизонтальних переміщень поверхів;

C – матриця демпфування;

u_g – прискорення ґрунту.

Вищеокреслені розрахунки здійснено для отримання математичної моделі динамічної поведінки залізобетонної каркасної будівлі під дією сейсмічного навантаження. Отримані результати аналізу впливу сейсмічних навантажень на будівельні конструкції дозволяють сформувати систему диференціальних рівнянь руху, яка використовується для визначення власних форм коливань, періодів, переміщень, внутрішніх зусиль і подальшої оцінки сейсмостійкості (сейсмічної пристосованості) конструкції.

Висновки. В межах дослідження було окреслено поняття «залізобетонної каркасної конструкції» та особливості зведення залізобетонного каркаса. Як результат, можна було виділити переваги та недоліки будівництва таких конструкцій з акцентом на потенційний вплив сейсмічних навантажень. Крім того, була розглянута сейсмічна активність географічних регіонів України; та нормативно-правові акти, які визначають основні аспекти проектування фундаментів та конструкцій (включно із сейсмічними навантаженнями). Отже, що стосуються проектування основ та фундаментів споруд було запропоновано підхід до аналізу впливу сейсмічних навантажень на залізобетонні каркасні конструкції будівель. Поетапна розробка базується на динамічній моделі будівлі як багатомасової системи зі зосередженими масами на кожному поверсі та пружними зв'язками між поверхами. Запропонований метод застосовний як для інженерних розрахунків, так і як основа для дослідження потенційного підвищення сейсмостійкості будівельних конструкцій у сейсмічно небезпечних регіонах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Журавльов І. В., Бікс Ю. С. Сучасні технології зведення каркасних будинків з стіновими панелями заводської готовності. Науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії матеріали ЛП наук.-техн. конф. ф-ту б-цтва, цивіл. та екол. інженерії, м. Вінниця, 16.01-23.06.2023р.Вінниця,ВНТУ,2023.URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2023/paper/view/18480/15300>
2. Журавльов І. В. Технологічні особливості зведення каркасних будинків з стіновими панелями заводської готовності. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2023. 108 с. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/6514.pdf>
3. Колякова В., Фурсович І. Вплив сейсмічних навантажень на поведінку залізобетонних конструкцій. SWorldJournal. 2024. № 3(23-03). С. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-23-00-041>

4. Основи та фундаменти. Основні положення проєктування : ДБН В.2.1-10:2009. Чинний від 2009-07-01. – Київ : ДП «Укравхбудінформ», 2009. 78 с. (Державні будівельні норми України). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v21_10_2009/1-1-0-319

5. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення : ДБН В.2.1-10:2018. – Введ. на зміну ДБН В.2.1-10-2009; Чинний від 2019-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. – 36 с. – (Державні будівельні норми України). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_1_10/1-1-0-1828

6. Офіційний сайт Головного центру спеціального контролю (ГЦСК). URL: <https://gcsk.gov.ua/sejsmichnij-monitoring/>

7. Слюсаренко Ю., Титаренко В., Мелашенко Ю., Шумінський В. Врахування сейсмічних впливів при проєктуванні основ і фундаментів будівель та споруд. Наука та будівництво. 2018. №17(3). С. 4-9. URL: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v17i3.42>

8. Хоменко О. Г. Залізобетонні конструкції: навчальний електронний посібник. Глухів. 2017. С.208. URL: https://tpgnpu.ho.ua/images/my_images/doc_pdf/zalizobeton.pdf

REFERENCES:

1. Zhuravlev I. V., Biks Yu. S. (2023). Modern technologies for the construction of frame houses with factory-made wall panels [Suchasni tekhnolohii zvedennia karkasnykh budynkiv z stinovymy paneliamy zavodskoi hotovnosti]. In *Proceedings of the LII Scientific and Technical Conference of the Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering* (Vinnytsia, January 16–June 23, 2023). Vinnytsia National Technical University. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2023/paper/view/18480/15300>

2. Zhuravlev I. V. (2023). *Technological features of the construction of frame houses with factory-made wall panels* [Tekhnolohichni osoblyvosti zvedennia karkasnykh budynkiv z stinovymy paneliamy zavodskoi hotovnosti]. (Master's thesis, specialty 192 "Construction and Civil Engineering"). Vinnytsia National Technical University. <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/6514.pdf>

3. Kolyakova V., & Fursovich I. (2024). The influence of seismic loads on the behaviour of reinforced concrete structures [Vplyv seismichnykh navantazhen na povedinku zalizobetonnykh konstruktstii]. *SWorldJournal*, 3(23-03), 9–14. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-23-00-041>

4. State Enterprise "Ukrarhbudinform". (2009). *Basics and foundations. Basic design provisions* [Osnovy ta fundamenti. Osnovni polozhennia proektuvannia] (DBN V.2.1-10:2009). Kyiv. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v21_10_2009/1-1-0-319

5. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2018). *Basics and foundations of buildings and structures. Main provisions* [Osnovy ta fundamenti budivel i sporud. Osnovni polozhennia] (DBN V.2.1-10:2018). Kyiv. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_1_10/1-1-0-1828

6. Main Centre for Special Control. (2025). *Seismic monitoring* [Seismichnyi monitorynh]. <https://gcsk.gov.ua/sejsmichnij-monitoring/>

7. Slysarenko, Yu., Titarenko, V., Melashenko, Yu., & Shuminsky, V. (2018). Taking seismic influences into account when designing bases and foundations for buildings and structures [Vrakhuvannia seismichnykh vplyviv pry proektuvanni osnov i fundamentiv budivel ta sporud]. *Science and Construction*, 17(3), 4–9. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v17i3.42>

8. Khomenko, O. G. (2017). *Reinforced concrete structures* [Zalizobetonni konstruktstii: navchalny i elektronnyi posibnyk] (Electronic textbook). Hlukhiv. https://tpgnpu.ho.ua/images/my_images/doc_pdf/zalizobeton.pdf

Дата першого надходження статті до видання: 25.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.01.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 07.04.2026