

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ОДИНИЧНОЮ ЖИВУЧІСТЮ

Коваленко А.І., аспірант

*Київський Національний університет будівництва і архітектури,
mail.a.kovalenko@gmail.com*

Анотація. В статті розглянуто проблеми та особливості проектування висотних будівель з одиничною живучістю. Виділено основні положення концепції одиничної живучості та перспективи її розвитку і застосування щодо висотних будівель. Розглянуто динамічні поздовжні зусилля в балках верхнього поверху сталевого багатоповерхового каркасу при розрахунку в аварійній ситуації, як приклад особливостей проектування висотних будівель з одиничною живучістю.

Ключові слова: висотні будівлі, одинична живучість, конструктивна безпека, проектування.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ЕДИНИЧНОЙ ЖИВУЧЕСТЬЮ

Коваленко А.И., аспирант

*Киевский Национальный университет строительства и архитектуры,
mail.a.kovalenko@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы и особенности проектирования высотных зданий с единичной живучестью. Выделены основные положения концепции единичной живучести и перспективы ее развития и применения в отношении высотных зданий. Рассмотрены динамические продольные усилия в балках верхнего этажа стального многоэтажного каркаса при расчете в аварийной ситуации, как пример особенностей проектирования высотных зданий с единичной живучестью.

Ключевые слова: высотные здания, единичная живучесть, конструктивная безопасность, проектирование.

DESIGNING FEATURES OF MULTISTOREY BUILDINGS WITH SINGLE VITALITY

Kovalenko A.I., post-graduate student

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
mail.a.kovalenko@gmail.com*

Abstract. Purpose. In conditions of permanent urbanization of population, construction of high-rise buildings in the central business districts of large cities is an integral part of the society development. These buildings are responsible constructions, and according to current building codes they are to meet requirements for single vitality and absence of progressive collapse of a building in a possible emergency situation. *Aims and objectives.* The article is to review and summarize the features that should be considered in high-rise buildings designing. *Methods.* Dynamic longitudinal forces in the beams of the upper floor of a multi-storey steel frame in the calculation in emergency situation are considered as an example of the design features of the high-rise buildings with a single vitality. *Results.* In the absence of obvious emergency computational situations (their search should be the primary objective when considering the structural safety of

buildings), the concept of single vitality in civil construction is the most appropriate in terms of the combination of sufficient structural safety measures with acceptable technical and economic indicators. However, taking into consideration the historical examples of collapses of buildings and their causes, it should be recognized that the concept of single vitality cannot exist as the only way to solve problems related to safety. Accepting that the single vitality is the last and the most responsible element of safety, the necessity of maximum possible consideration of the actual behavior of structures in extreme conditions is increasing. One of the important features is consideration of element failure dynamic effects. When examining the longitudinal beam forces in the upper floor, it was determined that the dynamic forces are 1,16 times more at time 3,05 seconds at nonlinear dynamic analysis and 3,18 times more at linear dynamic analysis in comparison with static one. When using static calculations, this effect may not be taken into account. Therefore, assemblies of frames with a single vitality should be analyzed in detail and constructed considering additional forces that can occur in emergency situations. *Conclusions.* Complicated design schemes significantly complicate the search for the most vulnerable points of the construction and increase the probability of failures. Unaccounted dynamic effects or features of redistribution of internal forces in high-rise steel frames in emergency situations can lead to large-scale destructions.

Keywords: high-rise buildings, single vitality, structural safety, designing.

Вступ та постановка проблеми. В умовах постійного процесу урбанізації населення, будівництво висотних будівель в центральних ділових районах великих міст є невід'ємною частиною розвитку суспільства. Такі будівлі є об'єктами підвищеної відповідальності, до яких згідно чинних будівельних норм [1, 2] висуваються вимоги щодо забезпечення одиначної живучості та відсутності прогресуючого руйнування будівлі в можливій аварійній ситуації. Неузгодженість деяких понять та термінів, відсутність конкретних рекомендацій і засобів розрахунку таких будівель, разом із великим різноманіттям програмних комплексів, створюють певні складнощі та невизначеність в проектуванні висотних будівель із одиначної живучістю.

Метою статті є розгляд та узагальнення особливостей, які необхідно враховувати при проектуванні висотних будівель, виділення основних положень концепції одиначної живучості та перспектив її розвитку та застосування щодо висотних будівель.

Аналіз останніх досліджень. Живучість – властивість об'єкта зберігати обмежену роботоспроможність під діями, що не передбачені умовами експлуатації, за наявності деяких дефектів і пошкоджень, а також при відмові деяких компонентів об'єкта [1]. Систематизуючи положення нормативних документів різних країн [3-6], можна виділити два основних узагальнених шляхи захисту від прогресуючого руйнування. Перший передбачає використання непрямих методів – запобігання виникненню аварійних дій, або зниження рівня імовірності їх виникнення до прийняттого. До непрямих методів також можна віднести конструктивні заходи, які передбачають нерозрізність, багатов'язність системи, її пластичну деформативність. Другий шлях передбачає здатність ключових елементів сприймати руйнівні дії (вибухи, удари, тощо) та/або здатність конструкції перерозподіляти навантаження при відмові елементів. У випадку одиначної живучості це стосується відмови одного елемента.

Виклад основного матеріалу. З огляду на вищенаведене, можна зробити висновок, що головна особливість проектування будь-яких будівель із одиначною живучістю – необхідність вирішення питання щодо причин виникнення аварійних дій та характеру їх наслідків, так як це обумовлює вибір заходів із захисту від них. Для багатоповерхових і висотних будівель вирішення цього питання викликає специфічні труднощі з точки зору технічного нормування та практичної реалізації, що пов'язано із великою кількістю невизначених параметрів (неможливість кількісно визначити ступінь аварійної дії, кількість початкових пошкоджень, імовірність реалізації події, тощо). Для об'єктів виробничого призначення в деяких випадках це зробити набагато простіше (наприклад, наявність вибухонебезпечних речовин у певній кількості одразу зумовлює розрахунковий аварійний сценарій, та, в більшості випадків, виключає необхідність розглядати інші подібні сценарії). Пошук очевидних розрахункових ситуацій має бути первинною задачею при розгляді

конструктивної безпеки будівель та споруд. За умови відсутності таких ситуацій, концепція одиначної живучості у цивільному будівництві є найбільш доцільною з точки зору поєднання достатніх конструктивних заходів безпеки із прийнятними техніко-економічними показниками. Однак, з огляду на історичні приклади руйнування будівель (рис. 1) та їх причини, слід визнати, що концепція одиначної живучості не може існувати як єдиний шлях вирішення проблем, пов'язаних з безпекою. На даний час існує необхідність розширити та деталізувати поняття живучості та безпеки будівель в цілому, визначити ряд заходів, які мають обов'язково використовуватись в комплексі із забезпеченням одиначної живучості. Це системи контролю доступу та безпеки, автоматизація інженерних мереж, створення зон, не доступних для терористичних атак, обмеження під'їзних шляхів та зон, передбачених для паркування безпосередньо біля будівель, тощо.



Рис. 1. Будівля «Alfred P. Murrah Federal Building» після теракту 19 квітня 1995 р. (зліва), та уламки зруйнованого будинку L'Ambiance Plaza внаслідок технологічної помилки при будівництві (справа)

Концепція одиначної живучості показує, що аварії будівельних об'єктів неминучі, а у якості надзвичайної ситуації передбачає випадкову відмову одного будь-якого елемента. Надійність, довговічність та живучість повинні забезпечуватись одночасним виконанням багатьох вимог, в тому числі, щодо методів розрахунку [1]. Однак, за відсутності чітких нормативних вказівок щодо таких методів розрахунку та моделювання процесу відмови елементів, вимоги щодо забезпечення живучості іноді можуть призводити до значних перевитрат матеріалу без збільшення конструктивної безпеки в цілому. Загалом, можна виділити наступні методи моделювання відмови частини конструкції:

- поетапне зменшення жорсткості елемента через зниження модуля пружності, або зменшення внутрішніх сил, що замінюють елемент, який відмовив;
- конструкція розраховується одразу з видаленою частиною без урахування перебігу процесу відмови у часі та динамічного ефекту;
- розрахунок, при якому відмова частини конструкції досягається при конкретній аварійній дії на неї (вибух, тощо).

Приймаючи те, що одиначна живучість це останній та найвідповідальніший елемент безпеки, зростає необхідність в максимально можливому врахуванні дійсної роботи конструкцій в надзвичайних умовах. Однією з важливих особливостей при цьому є врахування динамічних ефектів при відмові елемента. Як уже було зазначено, для висотних будівель на даний час складно нормувати характер та кількісні параметри аварійних дій. Тому, можна зробити висновок, що моделювання відмов поетапним зменшенням жорсткості або зменшенням еквівалентних сил у часі є найбільш прийнятним варіантом при розрахунку будівель в умовних аварійних ситуаціях. Однак, і такий підхід має свої особливості в залежності від методу розрахунку.

У якості прикладу, на основі методики [7, 8], для 18-ти поверхового сталевихого рамного

каркасу представлено динамічні поздовжні зусилля в головній балці верхнього поверху, яка примикає до чарунки колон, в якій одна з колон першого поверху вважається такою, що відмовила (рис. 2). Таким чином, балка знаходиться за межами «пошкодженої» чарунки. Використано лінійний та нелінійний динамічні розрахунки. Загальна висота будівлі 75,6 м.

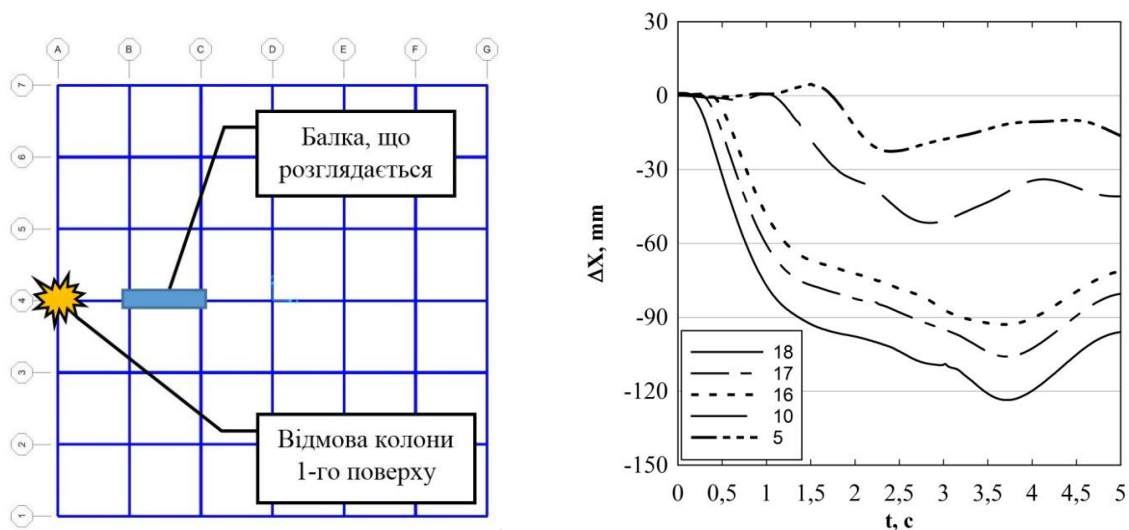


Рис. 2. Схема каркасу будівлі (зліва), та переміщення вузлів в рівнях різних поверхів в часі (справа)

В умовах звичайної роботи каркасу, поздовжні зусилля в головній балці є стискаючими, з максимальним значенням $N = -58,8$ кН. Однак, відмова колони першого поверху спричиняє нахил будівлі (рис. 2), що призводить до виникнення розтягуючого зусилля в балках, та відповідного розвантаження колони з іншого боку будівлі на 300 кН.

Максимальне значення зусилля розтягу в одній із балок при динамічному нелінійному розрахунку склало $N = +340,9$ кН, що в 5,8 разів більше, ніж первинне стискаюче зусилля (рис. 3). Максимальне значення досягається у момент часу $t = 3,05$ с, коли відмовляє один із інших вузлів каркасу, при чому динамічне зусилля в цей час збільшується в 1,16 разів, після чого стабілізується на відмітці 268,3 кН. Лінійний динамічний розрахунок вказує на максимальне зусилля в 394,1 кН, після чого стабілізується на відмітці в 123,9 кН, що відповідає значенню при статичному розрахунку. В такому випадку максимальне значення в 3,18 рази більше від статичного. При використанні статичних розрахунків цей ефект не може бути врахований, а накладання коефіцієнту динамічності, що дорівнює 2, на всі внутрішні зусилля або навантаження для всіх елементів, по-перше, не є доцільним з точки зору витрат матеріалу, а по-друге, не гарантує покриття всіх можливих локальних ефектів.

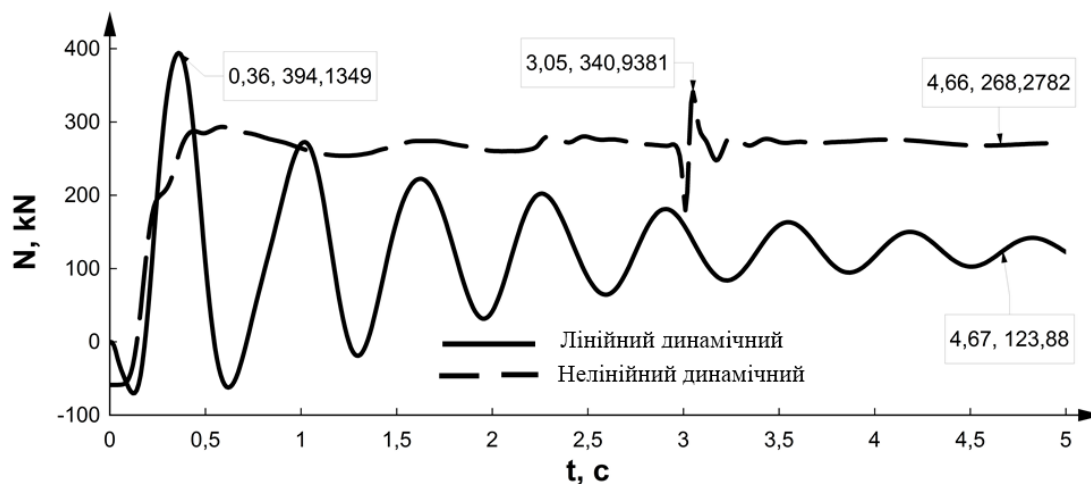


Рис. 3. Динамічні поздовжні зусилля в головній балці верхнього поверху при різних видах розрахунку

Слід відмітити, що використання нелінійного динамічного розрахунку за наведеною методикою [7, 8] потребує спеціалізованого програмного забезпечення. Однак, використовуючи розповсюджені в Україні програмні комплекси, можна проводити подібні лінійні динамічні розрахунки, що дає можливість відшукати всі динамічні ефекти, врахувати їх, та, таким чином, максимально забезпечити вимоги щодо живучості будівлі. Елементи та вузли каркасів із одиничною живучістю мають детально аналізуватися при розрахунку, та конструюватися із урахуванням додаткових зусиль, що можуть виникати в аварійних ситуаціях.

Висновки. Проектування багатоповерхових будівель із дотриманням вимог щодо одиничної живучості є складною задачею, яка потребує комплексного підходу як з точки зору відповідальності розрахунків, так і з точки зору вибору об'ємно-планувальних рішень на етапі ескізних проектів. Складні конструктивні схеми значно ускладнюють пошук найбільш вразливих місць конструкції та підвищують імовірність відмов. Наряду зі складністю в пошуку найбільш небезпечних місць відмов елементів, в нашій країні існує і проблема нормативного забезпечення в частині методів розрахунку будівель із одиничною живучістю. За відсутності чітких нормативних вказівок щодо таких методів розрахунку та моделювання процесу відмови елементів, вимоги щодо забезпечення живучості іноді можуть призводити до значних перевитрат матеріалу без збільшення конструктивної безпеки в цілому. Невраховані динамічні ефекти, або особливості перерозподілу внутрішніх зусиль в багатоповерхових сталевих каркасах, у аварійних ситуаціях можуть призвести до розвитку масштабних руйнувань. Тому, на даний час, існує необхідність у запровадженні додаткових нормативних вимог в частині забезпечення живучості, що має підвищити рівень конструктивної безпеки відповідальних будівель та споруд. Також видається виправданим уведення вимог щодо забезпечення одиничної живучості для усіх будівель класу наслідків ССЗ. Це збільшить стійкість будівель до аварійних дій і відповідатиме викликам часу.

Література

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14:2009. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
2. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В.2.2-24:2009 – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 155с. – (Будинки і споруди. Державні будівельні норми України).
3. Design of Buildings to Resist Progressive Collapse: UFC 4-023-03 / USA, Department of Defense, 2009. – 245с. – (USA Standard).
4. National Building Code of Canada / National Research Council of Canada – Ottawa, Canada, 2010. – 1222 с. – (Canada Standard).
5. Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects / U.S. General Services Administration, 2003. – 119p. – (USA Standard).
6. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures / American Society of Civil Engineers. – Reston, USA, 2010. – 658 с. – (American Society of Civil Engineers). – (ISBN; № 2147483647)
7. Білик А. С. Порівняння методів розрахунку металевих каркасів висотних будівель на одиничну живучість / А.С. Білик, А.І. Коваленко. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – 2015. – №16. – С. 30–40.
8. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings: FEMA 356 / USA, Federal Emergency Management Agency, 2001. – 519 p. – (USA Standard).