

БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

УДК 721.011 (624.046.5)

**ДИНАМІЧНІ ЗУСИЛЛЯ В КОЛОНАХ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ
БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ НА
ОДИНИЧНУ ЖИВУЧІСТЬ**

**ДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ В КОЛОННАХ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ
МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ЕДИНИЧНУЮ
ЖИВУЧЕСТЬ**

**DYNAMIC FORCES IN THE COLUMNS OF HIGH-RISE STEEL FRAME
BUILDINGS AT SINGLE VITALITY ANALYSIS**

Білик А.С., к.т.н., доц., Коваленко А.І., аспірант (Київський Національний університет будівництва і архітектури, м. Київ).

Билык А.С., к.т.н., доц., Коваленко А.И., аспирант (Киевский Национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев).

Bilyk A.S., Ph.D, Ass. Prof, Kovalenko A.I. postgraduate, (Kyiv National university of construction and architecture, Kyiv).

Представлені результати числових досліджень перерозподілу поздовжніх зусиль у колонах сталевих каркасів багатоповерхових будівель у аварійних розрахункових ситуаціях.

Представлены результаты численных исследований перераспределения продольных усилий в колоннах стальных каркасов многоэтажных зданий в аварийных расчетных ситуациях.

The results of numerical analysis of axial load redistribution in the columns of high-rise steel frame buildings in emergencies.

Ключові слова:

Висотні будівлі, металеві каркаси, одинична живучість, динамічні зусилля.
Высотные здания, металлические каркасы, единичная живучесть, динамические усилия.
High-rise buildings, steel frames, single vitality, dynamic forces.

Вступ. Живучість – здатність технічної системи виконувати свої функції незважаючи на отримані пошкодження. Тому одинична живучість – окремий

випадок загальної надійності та конструктивної безпеки будівлі в цілому. Основною властивістю, яка визначає надійність системи, є її безвідмовність, що має імовірнісну природу. Проектування будівель та споруд будь якого класу та призначення зводиться до поелементного забезпечення їх надійності шляхом дотримання вимог груп граничних станів згідно нормативних документів [1, 2].

Концепція забезпечення одиничної живучості передбачає подальше функціонування системи при відмові одного будь-якого її елемента внаслідок умовної аварії. Серед причин виникнення аварійних ситуацій можна виділити природні: сейсмічні дії, небезпечні метеорологічні явища, астрономічні явища (падіння метеоритів, частин комет), та техногенні: вибухи зовні або всередині будівель (побутовий газ, вибухонебезпечні газові суміші і рідини, вибухові пристрої, теракти, військові дії), пожежі, транспортні аварії (ДТП, авіакатастрофи, падіння кранів, штучних супутників тощо), локальні перевантаження конструкцій, помилки в проектах, помилки при виготовленні, транспортуванні та монтажі, дефекти матеріалів, неправильна експлуатація будівель (у тому числі їх інженерного обладнання). Час та причини цих аварій заздалегідь передбачити практично неможливо, інакше їх можна було б врахувати в процесі проектування та виключити. Тому в цілому можна констатувати, що аварії будівельних об'єктів неминучі, а відмова елемента – це процес, що здійснюється у часі та має невизначений ступінь динамічності. Колони багатоповерхових будівель в таких розрахункових ситуаціях можуть бути найбільш чуттєві до зміни значень внутрішніх зусиль в часі з огляду на їх загальну міцність і стійкість.

Аналіз останніх досліджень. Динамічні навантаження змінюються в часі і, тому викликають в конструкціях змінні в часі зусилля, деформації та переміщення. Визначити на етапі проектування характер та величини цих навантажень неможливо, тому до розгляду приймається умовна динамічна дія відповідно до існуючих положень, розроблених переважно закордоном [5]. До теперішнього часу досить повно розроблені методи динамічного розрахунку окремих несучих елементів будівель на дію короткочасних навантажень на всіх стадіях роботи. Перші роботи, присвячені розрахункам конструкцій на дію таких навантажень викладені в працях академіка А.Н.Крилова і професора І.М.Рабіновича [6]. Подальший розвиток цієї проблеми викладено в працях колишніх радянських і зарубіжних вчених, таких як С.П.Тимошенка [7], В.В.Болотіна [8], та інших. У цих роботах використовувався пружний метод розрахунку конструкцій, при якому конструкції представлялися як системи з скінченним або нескінченним числом ступенів свободи, що працюють тільки в пружній стадії (розрахунок за моделлю пружного тіла). Для опису коливального руху конструкцій використовувалися рівняння динаміки пружних систем, а для вирішення цих рівнянь використовувався метод розкладання рішення за власними функціями, метод інтегральних перетворень, варіаційні методи та інші.

Розрахунок конструкцій тому проводився тільки в їх пружній стадії. Розвиток комп'ютерних систем та реалізованих в них методів прямого інтегрування дозволяє більш повно проаналізувати поведінку будівлі в аварійних ситуаціях та враховувати вплив пластичних деформацій на перерозподіл внутрішніх зусиль. Так, для залізобетонних монолітних висотних будівель, досліджена нерівномірність коефіцієнта динамічності за навантаженням при збільшенні поверхів [9].

Постановка мети і задач досліджень. Метою дослідження є визначення особливостей перерозподілу поздовжніх зусиль в колонах багатоповерхових будівель та оцінка впливу на їх значення процесу відмови елемента як динамічної події в аварійних ситуаціях. Проаналізовано особливості перерозподілу поздовжніх зусиль у колонах сталевих багатоповерхових будівель в аварійних ситуаціях з урахуванням узагальненого матеріалу [3, 4].

Методика досліджень. У якості вихідної моделі прийняті сталеві рамні каркаси багатоповерхових будівель заввишки 75.6 та 96.6м (18 та 23 поверхів) та розмірами в плані 45х45м із регулярним кроком (7.5м) колон у обох напрямках. Перерізи колон – зварний квадратний короб зі сталевих листів, головні балки каркасу – зварні двотаври. Сталь несучих конструкцій прийнято С345. Проведено лінійні та нелінійні статичні/динамічні розрахунки із використанням програмного комплексу SAP2000 за методикою [4]. Аварійною ситуацією прийнята відмова (виключення) крайньої колони першого поверху в центрі із однієї сторони будівлі (колонна 4-А, рис. 1).

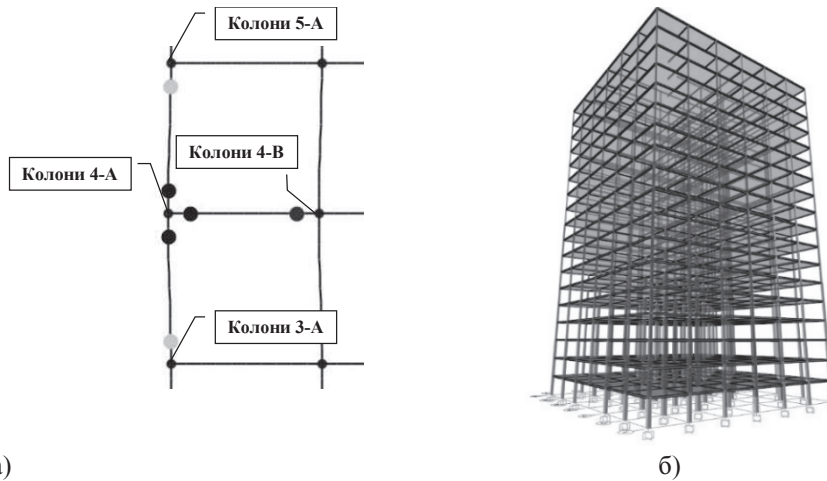


Рис. 1. Схема в плані розташування колон, прилеглих до умовно виключеної (а), загальний вигляд просторової розрахункової схеми (б)

Час виключення колони та крок інтегрування прийнято не більше, ніж 1/10 періоду власних коливань, що відповідає характерному переміщенню

елементів над видаленою колоною у вертикальному напрямку за результатами модального аналізу каркасу будівлі – $t \leq T/10$ [5]. Час виключення колони та крок інтегрування прийнято 0.01с. Виключення колони прийнято без залишкових деталей.

Результати досліджень. При динамічному нелінійному розрахунку зусилля в колоні першого поверху 4-В максимально зростає із 9456 кН до 12587 кН, тобто у 1.33 рази (рис.2, а). Для прилеглих колон до видаленої, зусилля максимально збільшується з 4895 кН до 6467 кН, в 1.32 рази порівняно із нормальною розрахунковою ситуацією (рис. 2, б). Навантаження у аварійній ситуації – постійні та довготривалі зі значенням коефіцієнтів надійності за навантаженням, що дорівнюють одиниці [1], та коефіцієнтом надійності за відповідальністю $\gamma_n = 1.05$, що відповідає класу наслідків СС3 у аварійній розрахунковій ситуації при перевірці елементів за першою групою граничних станів [2], що таким чином зменшує розрахункове навантаження у 1.43 рази (при середньому значенні коефіцієнта надійності за навантаженням 1.2). Максимальні зусилля досягаються в момент часу 0.04с та остаточно стабілізуються приблизно на 5с розрахунку.

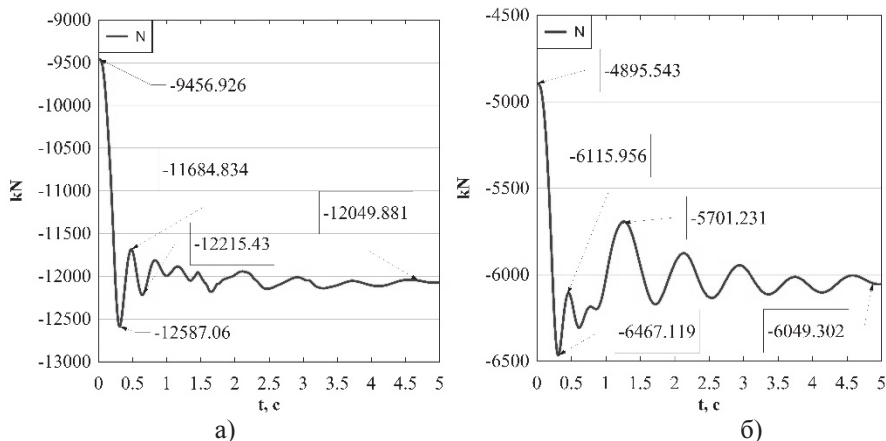


Рис. 2. Поздовжні зусилля в колонах першого поверху при висоті будівлі 75.6м; а) колонна 4-В; б) колонна 5-А

В порівнянні зі статичним нелінійним розрахунком максимальне динамічне зусилля в колоні 4-В більше у 1.07 разів. В той же час для колони останнього поверху коефіцієнт динамічності, який у даній роботі прийнятий як відношення максимального зусилля при динамічному розрахунку до зусилля при відповідному статичному, склав значення 1.13. Нерівномірний розвиток пластичних деформацій несучих балок каркасу та наростаючі поздовжні деформації колон з верхнього до першого поверху викликають нерівномірний розподіл коефіцієнтів динамічності по висоті будівлі. В рамках дослідження цього ефекту виконано серією динамічних та статичних

лінійних/нелінійних розрахунків для будівель висотою 75.6 та 96.6 метрів та отримано зростання коефіцієнтів динамічності по висоті будівель (рис. 3, 4).

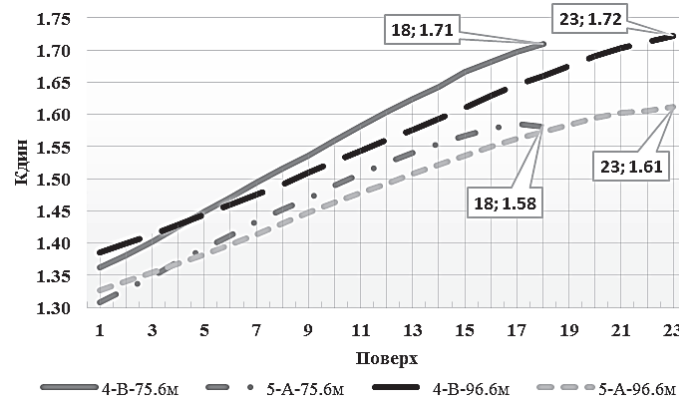


Рис. 3. Коефіцієнти динамічності при лінійному динамічному розрахунку (перша цифра у виносці номер поверху, друга – значення коефіцієнту).

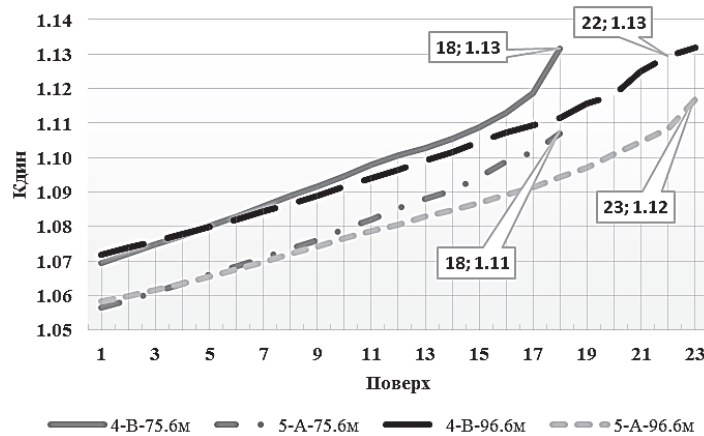


Рис. 4. Коефіцієнти динамічності при нелінійному динамічному розрахунку (перша цифра у виносці номер поверху, друга – значення коефіцієнту).

При використанні лінійних розрахунків максимальне значення коефіцієнту динамічності склало 1.72 для 23-го поверху більш навантаженої колони (4-B). В той же час, для тієї ж колони, при нелінійному динамічному розрахунку – 1.13. Зростання коефіцієнту динамічності із поверховістю при нелінійному динамічному розрахунку пов'язано із неповною реалізацією пластичних деформацій на останніх поверхах. В той же час, відносно невеликі максимальні значення цих коефіцієнтів (1.11-1.13), обумовлені недостатнім резервом несучої здатності головних балок, внаслідок чого,

пластичні деформації нерівномірно охоплюють всі примикаючі до стояку над видаленою колоною балки каркасу, а балки нижніх поверхів знаходяться за межею їх несучою здатності, навіть з урахуванням деформаційного зміцнення матеріалу. Таким чином, розвиток пластичності в цих балках зменшує коефіцієнт динамічності. Загалом, для наведених каркасів, при врахуванні в розрахунку розвитку пластичних деформацій, існуючі нормативні коефіцієнти надійності перебивають потребу у використанні динамічних коефіцієнтів при проектуванні колон.

Висновки. Наведені коефіцієнти суттєво різняться при різних видах розрахунку, адже в ідеально пластичній системі динамічне навантаження діє статично. Тому, динамічний вплив на колони, та, відповідно, їх переріз та витрати матеріалу, залежить від закладеного проектувальником шляху забезпечення живучості. Більш складний та детальний розрахунок з урахуванням розвитку пластичних деформацій суттєво зменшує розрахункове зусилля в колонах багатоповерхових будівель, та дозволяє більш ефективно використовувати матеріал та резерви несучої здатності.

1. Проектування висотних житлових і громадських будинків : ДБН В.2.2-24: - Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - 155с. 2. 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. 3. Білик А.С., Коваленко А.І. Забезпечення одиничної живучості сталевому каркасу 19-ти поверхової офісної будівлі комплексу «Київ-Сіті» // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. №69. - Дн-вск., ГВУЗ «ПГАСА», 2013. – С. 66-70 4. Білик А.С., Коваленко А.І. Порівняння методів розрахунку металевих каркасів висотних будівель на одиничну живучість // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Випуск 16. – Київ, Видавництво «Сталь», 2015. – С. 30-40. 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. Рабинович И.М. К динамическому расчету сооружений за пределом упругости // Исследования по динамике сооружений. - Москва: Стройиздат, 1947. - с.100-132. 7. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – Москва: Физ-Мат, 1959.-439 с. 8. Болотин В. В. Динамическая устойчивость упругих систем. – Москва: Госиздат технико-теоретической литературы, 1956. - 600 с. 9. Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего обрушения монолитных многоэтажных каркасов: дис. канд. техн. наук. Московский гос. строительный университет, Москва, 2010.