

ПРОГРЕСУЮЧЕ РУЙНУВАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БЕЗРИГЕЛЬНИХ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ ВНАСЛІДОК ПОЖЕЖІ ПІСЛЯ ЗЕМЛЕТРУСУ

Фесенко О.А.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: У статті розглянуто розрахунки багатоповерхових будівель на стійкість до прогресуючого руйнування внаслідок умовної пожежі, що розвивається за стандартним температурним режимом, після сейсмічного впливу.

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены расчеты многоэтажных зданий на стойкость к прогрессирующему разрушению вследствие условного пожара, развивающегося по стандартному температурному режиму, после сейсмического воздействия.

ABSTRACT: In this article multi-storey buildings' analysis of resistance to progressive collapse due to fire after seismic action was considered. Nominal fire scenarios based on standard fire were assumed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: прогресуюче руйнування, пожежа після землетрусу, сценарій пожежі, вогнестійкість, сейсмостійкість, місцеве руйнування.

Відомі на сьогодні випадки прогресуючого руйнування багатоповерхових будівель відбувалися внаслідок певних аварійних впливів, а не гіпотетичного місцевого руйнування несучої конструкції, як запропоновано в чинних нормах [1, 2]. При цьому аварійні впливи супроводжувалися впливами другого порядку такими, як удари зруйнованих конструкцій, температурні розширення та деформації будівельних конструкцій тощо. На основі аналізу причин і наслідків прогресуючого руйнування, випадків

виникнення пожеж після землетрусу, а також наявних методів розрахунку та рекомендацій сформульовано “*Передумови розрахунку багатоповерхових залізобетонних будівель на стійкість до прогресуючого руйнування внаслідок пожежі після землетрусу*”. Запропоновані “*Передумови ...*” передбачають оцінку стійкості багатоповерхових будівель до прогресуючого руйнування внаслідок умовної пожежі, яка починається після сейсмічного впливу та розвивається згідно зі стандартним температурним режимом.

1. Розрахункова модель багатоповерхової будівлі

1.1. Для розрахунку приймають просторову модель залізобетонної будівлі, що запроектована відповідно до чинних норм будівництва з дотриманням вимог надійності, сейсмостійкості та вогнестійкості.

1.2. Будівля розрахована на основне та аварійне сполучення навантажень, що включає сейсмічний вплив інтенсивністю сім балів. Армування конструкцій прийнято відповідно до зусиль, що виникають у їх перерізах від розглянутих сполучень навантажень.

1.3. Характеристики міцності та деформативності матеріалів приймають за діаграмами “напруження-деформації” згідно з [3] та [4].

1.4. Розрахунок виконують методом скінченних елементів, який реалізовано у програмних комплексах для проектування конструкцій, будівель та споруд.

2. Сценарії та місця виникнення пожежі

2.1. Землетрус, що відбувся, не завдав значних пошкоджень конструкціям будівлі, але спричинив виникнення пожежі.

2.2. Розглядають сценарії умовної пожежі, що розвивається за стандартним температурним режимом.

2.3. Теплового впливу пожежі зазнають будівельні конструкції, руйнування яких відповідає одній зі схем гіпотетичного місцевого руйнування.

2.4. Розрахунок на тепловий вплив пожежі виконують відповідно до визначених сценаріїв з припущенням роботи матеріалів за нелінійними законами деформування, враховуючи зниження їхніх характеристик міцності та деформативності залежно від температури нагрівання.

2.5. За тривалість теплового впливу пожежі приймають менше зі значень нормованої межі вогнестійкості обігріваних будівельних конструкцій.

3. Розрахунок на стійкість до прогресуючого руйнування

3.1. Розрахунок виконують на аварійне сполучення навантажень, що включає тепловий вплив пожежі.

3.2. Стійкість багатоповерхової будівлі до прогресуючого руйнування внаслідок пожежі після землетрусу визначають як здатність сприймати тепловий вплив пожежі, яка починається після сейсмічного впливу та розвивається згідно зі стандартним температурним режимом, зі збереженням

загальної стійкості будівлі та геометричної незмінюваності конструктивної системи.

Для розрахунку розглянуто три п'ятиповерхові будівлі з висотою поверху 2,8 м:

- прямокутна 18 x 36 м із сіткою колон 6 x 7,2 м;
- квадратна 24x24 м із сіткою колон 6 x 6 м;
- г-подібна 30x28,8 м із сіткою колон 6 x 7,2 м.

Конструктивна система будівель – залізобетонний безригельний каркас з колонами перерізом 400x400 мм та перекриттям товщиною 200 мм. Будівлі II-го ступеня вогнестійкості. Сейсмічність будівельного майданчику становить 7 балів.

Розрахункові просторові моделі будівель розроблені у програмному комплексі «Лира 9.6». Моделі будівель апроксимовані універсальними просторовими стрижневими скінченними елементами (СЕ) колон та універсальними прямокутними СЕ оболонки (перекриття). В опорних вузлах моделей в'язі накладені на всі ступені свободи. Вплив тіла колони на перекриття реалізований через абсолютно жорсткі тіла розмірами 0,4x0,4 м.

Характеристики жорсткості елементів перекриття – пластина $H=200$ мм, колони – брус 400x400 мм, модуль пружності бетону $E=30000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu=0,2$, густина $R_0 = 2,5$ т/м³. Матеріали будівельних конструкцій — бетон класу С 20/25 та арматура класу А400С.

Розрахунок будівель виконано за сценаріями умовної пожежі, що розвивається за стандартним температурним режимом. Місця виникнення пожежі відповідають схемам гіпотетичного місцевого руйнування несучих конструкцій, а саме:

- в куті на першому поверсі будівлі;
- посередині короткої сторони на першому поверсі будівлі;
- посередині довгої сторони на першому поверсі будівлі;
- в середній частині на першому поверсі будівлі.

Розрахунок виконано на аварійне сполучення навантажень, що включає постійне та змінні навантаження, а також тепловий вплив пожежі, з коефіцієнтами сполучення та надійності за навантаженням, що дорівнюють одиниці. Рівномірно розподілене навантаження на перекриття становить 2,68 кН/м², на покриття – 1,05 кН/м². За кожним сценарієм теплового впливу пожежі зазнають одна колона першого поверху та фрагмент перекриття над нею. Тепловий вплив на конструкції реалізовано через зниження характеристик міцності та деформативності матеріалів залежно від температури нагрівання та температурне розширення.

Тривалість теплового впливу на конструкції прийнята $t=45$ хв як менше зі значень нормованої межі вогнестійкості обігріваних конструкцій: колон – 120 хв, перекриття – 45 хв. Для відтворення нерівномірного нагрівання

конструкцій прийнято лінійний розподіл температури, що еквівалентний дійсному. Методика розрахунку еквівалентних температур запропонована Фомінін С.Л. [5] та передбачає заміну нелінійного розподілу температури по висоті перерізу конструкції еквівалентними трапецієдними температурними епюрами (рис. 1).

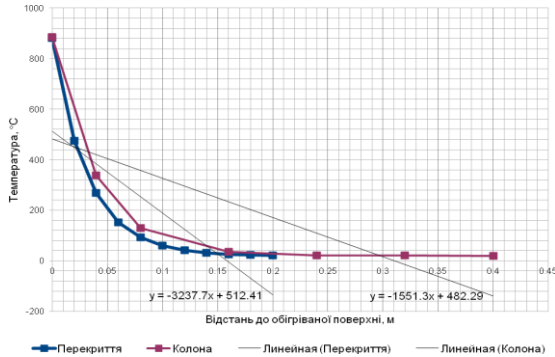


Рис. 1. Графіки дійсного та еквівалентного розподілу температур

Розрахунок багатопверхових залізобетонних будівель на стійкість до прогресуючого руйнування виконували лише за граничними станами першої групи. За критерій настання граничного стану залізобетонних конструкцій прийнято одну з умов, що наведені в [4]:

- втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями у перерізі (максимум на графіку «момент-кривизна (прогин)»);
- руйнування бетону стиснутої зони перерізу або розрив розтягнутої арматури внаслідок досягнення ними граничних деформацій.

Значення граничних деформацій стиску бетону і розтягу арматури прийняті з криволінійної діаграми стану бетону та двохлінійної діаграми стану арматури зниженими залежно від температури нагрівання $\varepsilon_{cl} = 0,55 \cdot 10^{-2}$ і $\varepsilon_{sud} = 15 \cdot 10^{-2}$.

За результатами розрахунків багатопверхових залізобетонних безригельних каркасних будівель за сценаріями умовної пожежі, яка починається після сейсмічного впливу та розвивається згідно зі стандартним температурним режимом, були зафіксовані такі зміни напружено-деформованого стану будівельних конструкцій (рис. 2, 3):

- у разі виникнення пожежі в середній частині будівлі прогин обігріваної ділянки перекриття збільшується в 2,21...2,47 рази, а для випадку виникнення пожежі в куті будівлі – в 6,19...6,62 рази, порівняно з прогином необігріваного перекриття;

- згинальні моменти в перекритті перерозподіляються з прольоту обігріваної ділянки на його опору, а значення згинальних моментів на опорі обігріваної ділянки збільшується у 2,11...2,76 рази порівняно зі значеннями згинальних моментів на опорах необігріваного перекриття;

- на межі обігріваної та необігріваної ділянок перекриття з'являються тріщини в бетоні та відбувається руйнування за граничним моментом (т.з. пластичні шарніри);

- розтягнута арматура обігріваної ділянки перекриття досягає стадії текучості.

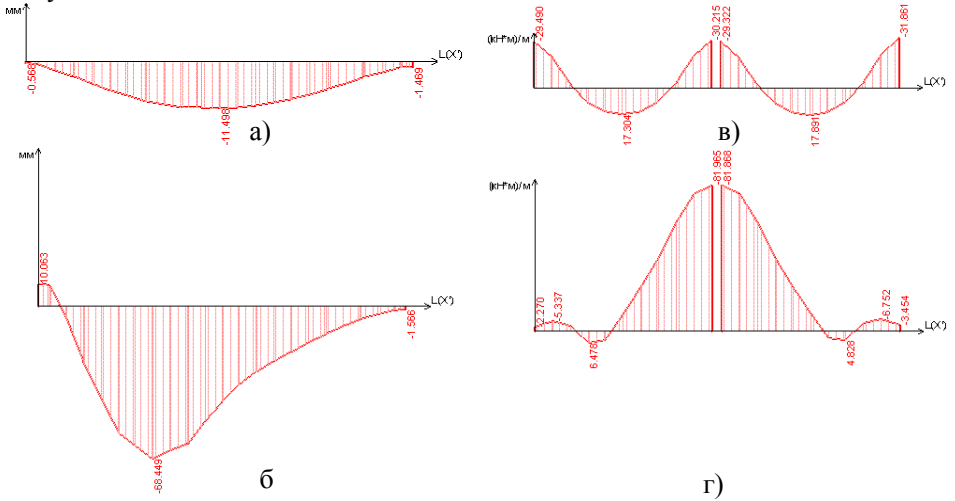


Рис. 2. Параметри напружено-деформованого стану перекриття: прогин до (а) та після (б) нагрівання; згинальні моменти до (в) та після (г) нагрівання

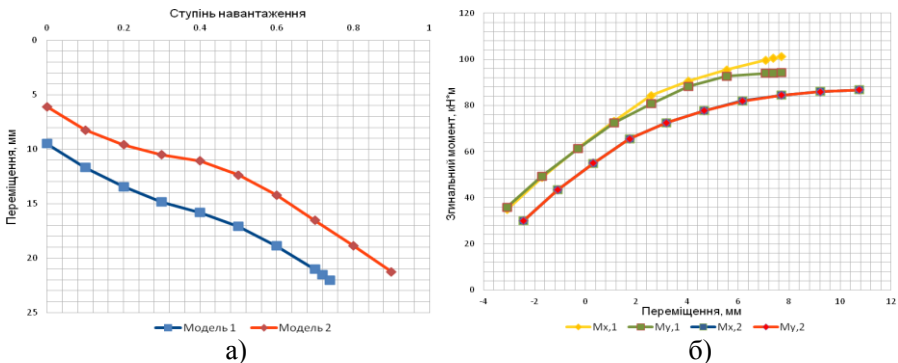


Рис. 3. Графіки зміни прогину (а) та згинальних моментів (б) обігріваної ділянки перекриття

За результатами розрахунків встановлено, що стійкість багатоповерхових залізобетонних безригельних каркасних будівель до прогресуючого руйнування всієї конструктивної системи для розглянутих сценаріїв умовної пожежі, що починається після сейсмічного впливу та розвивається за стандартним температурним режимом, забезпечена. Винятками стали випадки теплового впливу на конструкції, що розташовані у центральній частині прямокутної та квадратної в плані будівель. Прогресуюче руйнування цих будівель відбулося внаслідок місцевого руйнування обігріваних конструкцій з подальшим настанням геометричної змінюваності конструктивної системи будівель приблизно на 34-й та 41-й хвилинах пожежі відповідно.

Проведений аналіз причин і наслідків обвалень багатоповерхових будівель та результатів розрахунку підтвердив доцільність оцінювання стійкості багатоповерхових будівель до прогресуючого руйнування внаслідок певного аварійного впливу (сейсмічний, тепловий, ударний тощо), а не гіпотетичного місцевого руйнування несучих конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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. — К.: Мінрегіонбуд України, 2009. — 37 с.
2. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В.2.2-24:2009. — К.: Мінрегіонбуд України, 2009. — 133 с.
3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. — К.: Мінрегіонбуд України, 2011. — 70 с.
4. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. — К.: Мінрегіонбуд України, 2011. — 118 с.
5. Фомин С.Л. Огнестойкость монолитных железобетонных каркасных зданий повышенной этажности / Фомин С.Л., Резник П.А. // Будівельні конструкції будівель і споруд: проектування, виготовлення, реконструкція, обслуговування: зб. наук. праць. - Макіївка, 2011. — Вип. 4(90). — С. 113-120.

Стаття надійшла до редакції 10.03.2013 р.