

УДК 69.04

**ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ  
ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ ДО ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ**

Асп. І. К. Фесун

**RESEARCH OF INTERNATIONAL EXPERIENCE IN PROVIDING A REGULATORY  
FRAMEWORK FOR CALCULATING RESISTANCE OF BUILDINGS TO THE  
PROGRESSIVE COLLAPSE**

Postgraduate student I. K. Fesun

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320888>



*Анотація.* Мінімізація можливості виникнення прогресуючого обвалення є одним із найголовніших завдань забезпечення надійності будівель. У цій роботі надано аналіз нормативних баз світового досвіду щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення для поточного стану вітчизняної. Метою роботи був пошук у відповідних закордонних нормативних документах базової інформації про забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення, зокрема мінімальні необхідні характеристики будівель для врахування прогресуючого обвалення на стадії проєктування, вжиті підходи для зменшення вірогідності прогресуючого обвалення, основні критерії визначення прогресуючого обвалення, параметри моделювання прогресуючого обвалення за методом раптового видалення несучої конструкції.

У статті порівняно ключові положення норм, основну увагу приділено пропонованим підходам для зниження ймовірності прогресуючого обвалення, саме зокрема методу альтернативного шляху.

**Ключові слова:** прогресуюче обвалення, локальне руйнування, аналіз альтернативного шляху, моделювання, нормативна база.

**Abstract.** *Minimizing the possibility of progressive collapse is one of the most important tasks in ensuring the reliability of buildings. This paper analyzes the regulatory frameworks of the world experience in ensuring resilience to progressive collapse to the current state of the national one. The purpose of the work was to search for basic information on ensuring resistance to progressive collapse in relevant foreign regulatory documents, in particular: minimum required characteristics of buildings to take into account progressive collapse at the design stage, accepted approaches to reducing the probability of progressive collapse, basic criteria for determining progressive collapse, parameters of modeling progressive collapse by the method of the sudden removal of the load-bearing structure.*

*Current editions of foreign regulatory documents on ensuring resistance to progressive collapse contain similar provisions. The article compares the key provisions of the norms, in particular, the main attention is paid to the main approaches to reducing the probability of progressive collapse, namely the alternative path method. The alternative path method can be implemented in three ways: linear statics, nonlinear statics, and nonlinear dynamics.*

*The minimum characteristics of buildings to take into account progressive collapse in the design are based not only on the building category (risk level, risk category), but also on additional parameters such as number of storeys, building purpose, new construction or reconstruction.*

*The criteria for determining progressive collapse are generally characterized by the acceptance criteria for the rest of the building structure as a result of explicit consideration of resistance to progressive collapse (modeling of the progressive collapse process). The criteria vary from one regulatory document to another, but in general, these criteria are not allowed to be exceeded - localized failure of load-bearing structures is not allowed, except for the removed structure.*

**Keywords:** *progressive collapse, local failure, alternative path analysis, modeling, regulatory framework.*

**Вступ.** Усі будівлі можуть зазнавати певних аварійних впливів, що характеризуються локальним руйнуванням несучих конструкцій. Таке локальне руйнування може призвести до повного руйнування будівлі або значної її частини. Це явище отримало назву «прогресуюче обвалення» [6]. Причинами виникнення прогресуючого обвалення можуть бути як природні стихії, так і терористичні акти і бойові дії. Із початком повномасштабного вторгнення РФ в Україну актуальність дослідження є безсумнівною, оскільки мінімізація можливості виникнення прогресуючого обвалення постає як одне з найголовніших завдань із забезпечення надійності будівель [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перший випадок прогресуючого обвалення, а саме житлової багатоповерхової будівлі «The Ronan Point» у Лондоні, Велика Британія, у 1968 році ознаменував початок всебічного вивчення

цього явища. Перед інженерною та науковою спільнотою постало завдання подальшого максимального унеможливлення виникнення явища прогресуючого обвалення будівель і споруд. Як наслідок, менш ніж за рік після зазначеної трагедії були введені зміни насамперед в нормативних базах Великої Британії – упроваджені перші рекомендації для забезпечення стійкості за прогресуючого обвалення саме для крупнопанельних будівель. Хоча при цьому окремі положення містили вже певні розрахункові вимоги, наприклад здатність несучих елементів витримувати тиск 34 кПа, згадані зміни стосувалися більше превентивних заходів щодо попередження виникнення явища прогресуючого обвалення [3, 7].

У 1970-х роках і в нормативних базах інших країн, зокрема США, Канади, Європейського Союзу, були введені перші зміни, що стосувалися забезпечення

стійкості до прогресуючого обвалення. Ці зміни багато в чому дублювали вже згадані британські норми.

У 1980-х роках, імовірно, через відсутність резонансних аварій, викликаних прогресуючим обваленням, розвиток нормативного забезпечення інженерних розрахунків із забезпечення стійкості будівель і споруд практично не відбувався.

Однак у 1990-х роках після вибуху у Всесвітньому торговому центрі (1993 рік) низка будівель у США стала об'єктами терористичних актів, внаслідок чого деякі з них були зруйновані шляхом прогресуючого обвалення. Ці випадки стали поштовхом для розроблення будівельних норм і стандартів для захисту будівель від прогресуючого обвалення.

У роботах [3, 6, 7] розглянуто нормативні документи з визначенням особливостей положень.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Сучасний стан нормативної бази України щодо стійкості до прогресуючого обвалення, зокрема національної гілки, характеризується як малозабезпечений і невпорядкований. Головними причинами є відсутність методики виконання розрахунків на стійкість до прогресуючого обвалення та відсутність критеріїв визначення прогресуючого обвалення [5].

У цій роботі проаналізовано нормативні бази світового досвіду щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення для поточного стану вітчизняної. Розглянуто такі нормативні документи:

EN 1991-1-7:2006. Єврокод 1: Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи – *застосування для всіх будівель на території дії Єврокоду* [0].

GSA 2016 (Alternative path analysis & design guidelines for progressive collapse protection 2016) – аналіз альтернативного шляху та рекомендації з проектування для прогресуючого обвалення – *застосування для будівель федерального уряду США* [0].

UFC 4-023-03 (Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse). Уніфіковані критерії об'єктів. Проектування будівель проти прогресуючого обвалення – *застосування для будівель Міністерства оборони США* [0].

Метою роботи був пошук у відповідних закордонних нормативних документах базової інформації щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення, зокрема:

- мінімальні необхідні характеристики будівель для врахування прогресуючого обвалення на стадії проектування;
- вжиті підходи для зменшення вірогідності прогресуючого обвалення;
- основні критерії визначення прогресуючого обвалення;
- параметри моделювання прогресуючого обвалення за методом раптового видалення несучої конструкції.

**Основна частина дослідження.** EN 1991-1-7:2006. У Єврокоді EN1991-1-7:2006, додаток А [8], визначено вимоги до проектування конструкцій з урахуванням наслідків локального руйнування будівель від невстановлених причин. У цих нормах передбачена стратегія, яка дає змогу проектувати будівлі так, щоб ні сама будівля, ні її значна частина не зазнавали руйнування в разі локального пошкодження. Тривалість забезпечення будівлі стійкою після виникнення особливої події визначена певним періодом часу, необхідним для проведення рятувальних операцій і забезпечення безпечної евакуації людей із будівлі та прилеглих територій [8].

Рекомендована стратегія в додатку А забезпечує достатній рівень живучості будівлі, що дає змогу витримувати локальне руйнування без виникнення непропорційного повного обвалення. Згідно з п. А.4 для будівель встановлено вимоги залежно від класів за наслідками руйнування [8]:

- клас 1 – додаткове врахування особливих навантажень від невстановлених причин не потрібне;

клас 2a – передбачити ефективні горизонтальні пов’язі або ефективно анкерування перекриттів у стінах;

клас 2b – забезпечити встановлення горизонтальних пов’язей із влаштованими вертикальними в’язями у всіх опорних колонах і стінах або перевірити конструкцію будівлі щодо збереження загальної стійкості і неперевищення ступеня локального пошкодження певних меж за умовного видалення кожної опорної колони або балки, що підтримує колону, або будь-якої секції несучої стіни;

клас 3 – для будівлі потрібне систематичне оцінювання ризику з

урахуванням прогнозованих і непрогнозованих загроз.

Отже, згідно з вищенаведеними положеннями визначення вразливості до непропорційного обвалення (перевірки збереження загальної стійкості і неперевищення ступеня локального пошкодження певних меж за умовного видалення окремої конструкції; оцінювання ризиків з урахуванням прогнозованих і непрогнозованих загроз) може бути виконане для класу 2b і потрібне для класу 3.

Мінімальні характеристики будівель для визначення вразливості до непропорційного обвалення, за EN 1991-1-7:2006 [8], наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Мінімальні характеристики будівель для визначення вразливості до непропорційного обвалення, за EN 1991-1-7:2006

Призначення будівлі	Характеристика	
	Клас 2b	Клас 3
Готелі, багатоквартирні та інші житлові будівлі	від 4 до 15 поверхів	від 16 поверхів
Будівлі установ освіти	від 1 до 15 поверхів	від 16 поверхів
Торгові будівлі	від 3 до 15 поверхів	від 16 поверхів
Лікарні	до 3 поверхів	від 4 поверхів
Офісні будівлі	від 1 до 15 поверхів	від 16 поверхів
Паркінги	до 6 поверхів	від 7 поверхів
Усі будівлі, що відвідують люди	площа кожного поверху від 2000 до 5000 м <sup>2</sup>	площа кожного поверху від 5000 м <sup>2</sup>
Стадіони	-	більше 5000 глядачів
Будівлі, у яких знаходяться небезпечні речовини і/або відбуваються технологічні процеси	-	+

За приміткою 3 п. А.4 EN 1991-1-7:2006, межі допустимого локального руйнування можуть бути різними для кожного типу будівлі. Рекомендованим значенням є 15 % площі перекриття, але не більше 100 м<sup>2</sup> на кожному з двох суміжних поверхів [8].

Видаленими вертикальними елементами можуть бути балка, колона або ділянка

стіни довжиною рівною для залізобетонних конструкцій <2.25 висоті поверху. Відповідно до п. А.4, якщо умовне видалення таких колон і секцій стін викликає перевищення встановлених границь пошкодження, такі елементи слід розраховувати як ключові елементи. Згідно з п. А.8 такий ключовий елемент (видалена колона, стіна або балка) має витримувати

особливий вплив  $A_d$ , що діє в горизонтальному і вертикальному напрямках (у кожному напрямку окремо) на сам елемент і прилеглі компоненти. Рекомендоване значення для конструкцій будівель  $A_d = 34$  кПа.

*GSA 2016*. Метою застосування цих рекомендацій є зменшення вірогідності виникнення прогресуючого обвалення нових і реконструйованих будівель федерального уряду США. Згідно з основними положеннями рекомендацій встановлено, що зменшення потенціалу виникнення прогресуючого обвалення може бути досягнуте шляхом запобігання початковому руйнуванню несучих конструкцій або шляхом зменшення поширення початкового руйнування.

Застосування проєктування з урахуванням прогресуючого обвалення залежить від необхідного рівня захисту, що формується від поверховості будівлі та рівня безпеки об'єкта. Відповідно до п. 2.3.1-2.3.3 [1] вимоги до об'єктів залежно від рівня безпеки об'єкта такі:

рівень I та II – проєктування з урахуванням прогресуючого обвалення не потрібне, незалежно від кількості поверхів;

рівень III та IV – вимоги цих рівнів застосовують для будівель поверховості 4 і більше, що визначено від найнижчого зовнішнього рівня до найвищого рівня, механічні поверхи та паркінги не вважають поверхами;

рівень V – вимоги цього рівня застосовують для всіх будівель, незалежно від кількості поверхів.

Настанови проєктування, що містяться в цих рекомендаціях, базовані на мінімізації виникнення прогресуючого обвалення шляхом подолання втрат несучого елемента, незалежно від причини виходу з ладу, обмеження поширення початкового обвалення, забезпечення надлишкової та збалансованої конструктивної системи будівель. Для цього в основу методології покладено аналіз альтернативного шляху, за яким потрібна здатність системи перерозподіляти навантаження від

вертикальних несучих конструкцій, що видаляють в окремих місцях. Видаленими вертикальними елементами можуть бути колона або ділянка стіни, довжиною рівною висоті поверху. Реалізація аналізу альтернативного шляху можлива трьома шляхами: лінійна статика, нелінійна статика, нелінійна динаміка. Вимоги до аналізу альтернативного шляху зведено до табл. 2.

Вибір елемента, що видаляють із схеми, залежить від рівня захисту:

рівень III та IV – видаляють зовнішні елементи на першому поверсі від землі та всі елементи (внутрішні та зовнішні) у підземних парковках, навантажувальних майданчиках і зонах неконтрольованого громадського доступу;

рівень V – видаляють внутрішні і зовнішні елементи на кожному поверсі.

Відповідно до п. 3.2.10.1-3.2.10.2 в результаті аналізу альтернативного шляху (видалення несучого вертикального елемента) встановлено критерії ухвалення рішення щодо решти конструкцій будівлі, так звані критерії визначення прогресуючого обвалення. У випадку розгляду нового будівництва в результаті аналізу альтернативного шляху не допускають перевищення цих критеріїв – локального руйнування несучих конструкцій не допускають, за винятком видаленої конструкції. У випадку розгляду сучасних будівель допускають перевищення окремих критеріїв – припускають локальне руйнування несучих конструкцій, що не призводить до непропорційного обвалення. Величина допустимого локального обвалення в разі зовнішнього видалення складає 15 % загальної площі перекриття і 30 % – внутрішнього видалення. При цьому слід зазначити, що в попередній редакції *GSA2003* допускали локальне руйнування і для нового будівництва, і для існуючих будівель. Величина допустимого обвалення складала 167 та 334 м<sup>2</sup> для зовнішнього та внутрішнього видалення відповідно. Це свідчить про встановлення більш жорстких вимог на сучасному етапі.

## Порівняння варіантів моделювання прогресуючого обвалення методом альтернативного шляху, за GSA 2016

Параметр	Лінійна статика	Нелінійна статика	Нелінійна динаміка
Обмеження використання	до 10 поверхів; регулярність конструктивної схеми	відсутні	відсутні
Моделювання	тривимірне моделювання	тривимірне моделювання; додаткові вимоги до жорсткісних характеристик	тривимірне моделювання; додаткові вимоги до жорсткісних характеристик
Навантаження	застосування підвищувального коефіцієнта на ділянки підлоги над видаленим елементом (коефіцієнт динамічності)*	застосування підвищувального коефіцієнта на ділянки підлоги над видаленим елементом (коефіцієнт динамічності)**; не менше 10 кроків завантаження	поступове завантаження моделі, рівновага системи, раптове видалення несучого елемента за час менший, ніж 1/10 періоду коливань вертикального руху конструкцій над видаленим елементом, що визначений із моделі без видаленого елемента

Примітки: \* Коефіцієнт залежить від двох випадків навантажень, виду конструктивної схеми, матеріалу несучих конструкцій, вимоги ухвалення рішення.

\*\* Коефіцієнт залежить виду конструктивної схеми, матеріалу несучих конструкцій, вимоги ухвалення рішення.

*UFC 4-023-03*. Положення *UFC 4-023-03* [10] є близькими до *GSA 2016* [0], за винятком деяких суттєвих відмінностей. Мета застосування цього документа – забезпечення необхідних вимог для зменшення вірогідності виникнення прогресуючого обвалення будівель Міністерства оборони США, які зазнають локальних пошкоджень через непередбачувані події. Вимоги цього документа є обов'язковими для нового будівництва будівель поверховістю три і більше. Залежно від завдання цей документ може бути застосований для існуючих будівель.

Відповідно до загальних положень встановлено, що зазвичай непрактично проектувати будівлю, щоб протистояти загальному руйнуванню, спричиненому аномальними навантаженнями, що діють

безпосередньо на велику її частину. Проте можна спроектувати будівлю так, щоб обмежити наслідки локальних руйнувань і запобігти або максимально зменшити прогресуюче обвалення всієї будівлі чи її значної частини. Встановлені вимоги для проектування забезпечують певні запобіжні заходи з умови, коли причина початкового руйнування і ступінь початкового пошкодження невідомі.

У цьому документі за основу приймають два загальних підходи для зменшення вірогідності прогресуючого обвалення, що визначені в *ASCE 7-22* [8]: прямі і непрямі методи. Прямі підходи включають явне врахування стійкості до прогресуючого обвалення під час процесу проектування – це методи альтернативного шляху та специфічного локального опору.

Вимоги до аналізу альтернативного шляху в цілому повторюють прийняті в GSA2016 [1] (табл. 2). У непрямих методах стійкість до прогресуючого руйнування розглядають неявно через забезпечення мінімальних

рівнів міцності, безперервності та пластичності (метод зв'язувальних сил). Використання кожного методу залежить від рівня ризику будівлі.

Згідно з п. 2-2 [10] для будівель встановлено вимоги залежно від категорій ризику:

- I категорія ризику – додаткові вимоги не встановлено;
- II категорія ризику – варіант 1: метод зв'язувальних сил для всієї будівлі та метод специфічного локального опору для кутових і передостанніх колон і стін на першому поверсі; варіант 2: метод альтернативного шляху для визначених місць видалення колон і стін;
- III категорія ризику – метод альтернативного шляху для визначених місць видалення колон і стін і метод специфічного локального опору по всьому периметру для колон і стін першого поверху;
- IV категорія ризику – метод зв'язувальних сил і метод альтернативного шляху для визначених місць видалення колон і стін, а також метод специфічного локального опору по всьому периметру для колон і стін першого поверху.

Вибір елемента, що видаляють за методом альтернативного шляху, не залежить від рівня ризику, а характеризується його геометричним розміщенням (приймають, що елемент видаляють у межах одного поверху):

- зовнішні колони, а також колони, де змінюється геометрія будівлі, – для першого поверху вище позначки землі, для поверху під покриттям, поверху на середній висоті, поверху, де змінюється розмір колони;

- внутрішні колони – лише для поверхів із неконтрольованою громадською зоною, наприклад паркінги;

- зовнішні стіни, а також стіни, де змінюється геометрія будівлі, – для першого поверху вище позначки землі, для поверху під покриттям, поверху на середній висоті, поверху, де змінюється розмір стіни;

- внутрішні стіни – лише для поверхів із неконтрольованою громадською зоною, наприклад паркінги.

Відповідно до п. 3-2.10 [10] у результаті аналізу альтернативного шляху (видалення несучого вертикального елемента) встановлено критерії ухвалення рішення щодо решти конструкцій будівлі, за якими не допускають перевищення цих

критеріїв – локального руйнування несучих конструкцій не допускають, за винятком видаленої конструкції.

*Порівняльна характеристика вимог закордонної нормативної бази щодо прогресуючого обвалення.* Загалом поточні редакції нормативних документів містять схожі положення. Передусім це підходи для зменшення вірогідності прогресуючого обвалення, кожен із нормативних документів регламентує деякі або всі підходи. Метод альтернативного шляху як основний метод визначення стійкості до прогресуючого обвалення зустрічається у всіх нормах, вимоги до такого розрахунку схожі в GSA 2016 і UFC 4-023-03. У табл. 3 виконано порівняльний огляд ключових положень.

**Висновки.** Поточні редакції закордонних нормативних документів щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення містять схожі положення, зокрема близькими за змістом є американські нормативні документи. Передусім це підходи для зменшення вірогідності прогресуючого обвалення, кожен із нормативних документів регламентує деякі або всі підходи.

Таблиця 3

Порівняння ключових параметрів закордонних нормативних документів щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обваллення

Параметр	EN 1991-1-7:2006	GSA 2016	UFC 4-023-03
Призначення нормативного документа	усі будівлі на території Єврокodu	будівлі федерального уряду США	будівлі Міністерства оборони США
Характеристики будівлі до визначення вразливості до ПО	залежно від призначення будівлі	нові та існуючі будівлі, поверховістю 4 і більше	нові будівлі, поверховістю 3 і більше (допускають застосовувати для існуючих будівель залежно від завдання)
Категорії будівель	класи за наслідками руйнування: I, 2a, 2b, 3	рівні безпеки: I, II, III, IV, V	категорії ризику: I, II, III, IV
Допустимі початкові пошкодження	15 % площі перекриття, але не більше 100 м <sup>2</sup>	для нових будівель – не допускають; існуючих будівель – у разі зовнішнього видалення складає 15 % загальної площі перекриття і 30 % – внутрішнього видалення	не допускають
Прийнятні підходи	метод альтернативного шляху; метод специфічного локального опору; метод зв'язувальних сил	метод альтернативного шляху	метод альтернативного шляху; метод специфічного локального опору; метод зв'язувальних сил
Реалізація методу альтернативного шляху	не вказано	лінійна статика; нелінійна статика; нелінійна динаміка	лінійна статика; нелінійна статика; нелінійна динаміка
Елемент, що видаляють за МАШ	колона; дільника стіни; балка	колона; дільника стіни	колона; дільника стіни
Розташування видаленого елемента за МАШ	на кожному поверсі	залежно від рівня захисту: рівень III та IV – зовнішні елементи на першому поверсі від землі та всі елементи (внутрішні та зовнішні) у підземних парковках, навантажувальних майданчиках і зонах неконтрольованого громадського доступу; рівень V – видаляють внутрішні і зовнішні елементи на кожному поверсі	не залежить від рівня ризику, а характеризується геометричним розміщенням: зовнішні колони і стіни, а також колони та стіни, де змінюється геометрія будівлі, – для першого поверху вище позначки землі, для поверху під покриттям, поверху на середній висоті, поверху, де змінюється розмір колони; внутрішні колони і стіни – лише для поверхів з неконтрольованою громадською зоною, наприклад паркінги



Метод альтернативного шляху як основний метод явного визначення стійкості до прогресуючого обвалення зустрічається у всіх нормах. Параметри до його реалізації сповна наведені у GSA 2016 і UFC 4-023-03.

Мінімальні характеристики будівель для врахування прогресуючого обвалення з проектуванням базовані не лише на основі категорії будівлі (рівня ризику, категорії ризику), а і додаткових параметрів, таких як поверховість, призначення будівлі, нове будівництво чи реконструкція.

Критерії визначення прогресуючого обвалення в цілому характеризуються критеріями ухвалення рішення щодо решти конструкцій будівлі в результаті явного врахування стійкості до прогресуючого обвалення (моделювання процесу прогресуючого обвалення). Критерії розрізняються в нормативних документах, однак переважно не допущено перевищення цих критеріїв – локального руйнування несучих конструкцій не допускають, за винятком видаленої конструкції.

### Список використаних джерел

1. General Service Administration. Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance. 2016. URL: [https://www.gsa.gov/system/files/Progressive\\_Collapse\\_2016.pdf](https://www.gsa.gov/system/files/Progressive_Collapse_2016.pdf).
2. Starossek U. Progressive collapse of structures, Second edition. Westminster, London: ICE Publishing; 2017. <http://dx.doi.org/10.1680/pcos.61682>.
3. Elkady N., Augustus Nelson L., Weekes L., Makoond N., Buitrago M. Progressive collapse: Past, present, future and beyond. Structures, 2024. Vol. 62.
4. Caredda G., Makoond N., Buitrago M., Sagaseta J., Chryssanthopoulos M., Adam J.M. Learning from the progressive collapse of buildings. *Developments in the Built Environment*. 2023. Vol. 15. <http://dx.doi.org/10.1016/J.DIBE.2023.100194>.
5. Вабіщевич М. О., Фесун І. К. Підходи щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення будівель та споруд. Сучасний стан та перспективи. *Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник*. Київ: КНУБА, 2023. Вип. 110. С. 256-263.
6. Adam J. M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*. 2018. Vol. 173. P. 122–149. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2018.06.082>.
7. Lew H. Best practices guidelines for mitigation of building for progressive collapse. 2003.
8. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи (EN 1991-1-7:2006, IDT). Чинний 01.01.2014. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 94 с.
9. ASCE 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
10. Department of Defense (DoD). UFC 4-023-03: Design of buildings to resist progressive collapse. 2016. URL: <http://dod.wbdg.org/>.

---

Фесун Ігор Костянтинович, аспірант кафедри будівельної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури. ORCID iD: 0000-0002-6678-9900. Тел.: +38 (098) 785-55-49. E-mail: fesuni99@gmail.com.

Fesun Ihor, postgraduate student of the Department of Structural Mechanics, Kyiv National University of Construction and Architecture. ORCID iD: 0000-0002-6678-9900. Tel.: +38 (098) 785-55-49. E-mail: fesuni99@gmail.com.

Статтю прийнято 12.12.2024 р.