



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-2>

УДК 624.012.41



БАМБУРА А.М.

Доктор техн. наук, професор, завідувач відділом, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: abambura@gmail.com,
тел.: +38(044) 249-37-44,
ORCID: 0000-0003-1402-3345



ДОРОГОВА О.В.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: dorogova@ukr.net,
тел.: +38(044) 249-37-75,
ORCID: 0000-0002-7838-6383

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЗА ДСТУ 9294:2024 «РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ НА СТІЙКІСТЬ ДО ПРОГРЕСУЮЧОГО (НЕПРОПОРЦІЙНОГО) ОБВАЛЕННЯ»

АНОТАЦІЯ

Глобальні (непропорційні з першопричиною) руйнування ряду об'єктів з підвищеною відповідальністю за наслідками, в результаті яких гинуть люди або втрачаються значні матеріальні цінності, поставили питання розробки нових підходів щодо проектування об'єктів з підвищеною відповідальністю за наслідками. Як показала практика, непропорційне (прогресуюче) обвалення об'єкта може бути викликано рядом причин або їх комбінацією – помилками проектування та будівництва, вибухом, пожежею, ударними впливами транспортних засобів тощо. На початку двохтисячних років у світі та в нашій державі почались інтенсивні дослідження з метою мінімізувати імовірність прогресуючого обвалення. Першим національним нормативним актом, в якому сформульовані основні принципи з попередження прогресуючого обвалення при проектуванні висотних будівель, був ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків». У 2021 році набрав чинності ДБН В.1.2-6:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний

опір та стійкість», у п. 3.2 якого чітко сформульована вимога щодо запобігання виникнення пошкоджень, непропорційних за обсягами порівняно з першопричиною, будівель і споруд, а не тільки висотних будинків. Тому виникла нагальна потреба в розробці спеціального нормативного документу щодо запобігання виникненню прогресуючого обвалення будівель і споруд.

В статті розглянуті основні принципи і заходи щодо запобігання прогресуючому обваленню об'єктів будівництва на стадії проектування відповідно до розробленого вперше національного стандарту ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення». Цей стандарт розроблено ДП НДІБК на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та прийнято Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

ДСТУ 9294:2024 встановлює основні положення проектування громадських та житлових



будівель класів наслідків СС3 та СС2 різних конструктивних систем та захисту їх від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

Стандарт не поширюється на будівлі, що відносяться до культурної спадщини (пам'яток історії та культури), та будівлі, вимоги до захисту від прогресуючого (непропорційного) обвалення яких встановлюються іншими державними будівельними нормами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: конструктивна система, прогресуюче (непропорційне) обвалення, несуча здатність, бетон, залізобетон, сталезалізобетон, розрахункова модель.

SPECIFICS OF DESIGN ACCORDING TO DSTU 9294:2024 "CALCULATION OF BUILDINGS FOR RESISTANCE TO PROGRESSIVE (DISPROPORTIONATE) COLLAPSE)"

ABSTRACT

Due to the global (disproportionate with a primary cause) collapse of structures with increased responsibility for the consequences, as a result of which people died or significant material values were lost, raised the question of developing new approaches to the design of structures with increased responsibility for the consequences. As practice has shown, the disproportionate (progressive) collapse of a structure can be caused by a number of factors or their combination, such as design and construction errors, explosions, fires, impact from vehicles, etc. In the early 2000s, intensive research began worldwide, including in our country, to minimize the likelihood of progressive collapse. The first national regulatory document outlining the basic principles for preventing progressive collapse during the design of high-rise buildings was DBN V.2.2-24:2009. In 2021, DBN B 1-2-6 came into effect, which in clause 3.2 clearly articulated the requirement to prevent damage disproportionate in scale to the original cause for buildings and structures, not just high-rise buildings. Therefore, there was an urgent need to develop a specialized regulatory document to prevent the occurrence of progressive collapse of buildings and structures.

The article discusses the main principles and measures to prevent the progressive collapse of construction objects at the design stage according to the newly developed national standard DSTU 9294:2024 "Calculation of Buildings for Resistance to Progressive (Disproportionate) Collapse." This standard was developed by NIISK and commissioned by the State Enterprise "Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems" (SE "UkrNDNC").

DSTU 9294:2024 establishes the main provisions for designing public and residential buildings of consequence classes СС-3 and СС-2 with various

structural systems and their protection against progressive (disproportionate) collapse. The standard does not apply to buildings classified as cultural heritage (historical and cultural monuments) or to buildings for which other national building codes establish protection requirements against progressive (disproportionate) collapse.

KEYWORDS: structural system, progressive (disproportionate) collapse, load-bearing capacity, concrete, reinforced concrete, steel-reinforced concrete, calculation model.

ВСТУП

Національний стандарт ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення» розроблено Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та прийнято Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

Розробка стандарту регламентується вимогами будівельних норм ДБН В.1.2-6:2021 [1], п.п. 3.2-3.6, та ДБН В.1.1-7:2016 [2], п. 4.2. Ця вимога пов'язана з необхідністю попередження можливих глобальних аварій та пошкоджень у разі локального руйнування відповідальних елементів несучих конструкцій при аварійних впливах, що не передбачені умовами нормальної експлуатації будівель (помилки при проектуванні та будівництві, вибухи, пожежі, ударні впливи транспортних засобів тощо).

Стандарт не має попередніх розробок в Україні, тому були опрацьовані наукові джерела різних країн, зокрема норми Сполучених штатів Америки (UFC) [4].

МЕТА РОБОТИ

Мета розробки ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення» – розроблення національного стандарту, що відповідає сучасній потребі і стану національної нормативної бази України в сфері проектування будівель і споруд.

Стандарт дозволяє забезпечити надійність будівель і споруд в різних інженерно-геологічних умовах та забезпечити високий рівень їх безпеки в процесі всього терміну експлуатації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Громадські та житлові будівлі, залежно від рівня відповідальності за наслідками (див. табл. 1 ДБН В.1.2-14 [3], табл. Б.1 додатка Б), повинні бути захищені від прогресуючого (непропорційного) обвалення у разі локального руйнування відповідальних елементів несучих конструкцій за аварійних впливів, не передбачених умовами



нормальної експлуатації будівель (помилки при проектуванні та будівництві, вибухи, пожежі, ударні впливи транспортних засобів тощо). Ця вимога означає, що в разі будь-якої аварії, що може призвести до небажаних наслідків, допустимі локальні руйнування несучих конструкцій в межах одного поверху (локальне руйнування перекриття, повне руйнування однієї з колон, повне або часткове руйнування простінків або окремих стін у двох суміжних осях будівлі), але вказані первинні руйнування не повинні призводити до прогресуючого (непропорційного) обвалення або до руйнування конструкцій, на які передається навантаження, яке раніше сприймалося елементами, пошкодженими аварійним впливом.

Для забезпечення захисту будівель від прогресуючого (непропорційного) обвалення потрібно використовувати найбільш економічні засоби, що не потребують значного підвищення матеріаломісткості конструктивних елементів:

- під час розроблення архітектурно-планувальних рішень потрібно враховувати можливість виникнення локального руйнування внаслідок аварійного впливу;
- у багатоповерхових будівлях потрібно вживати конструктивних заходів, що підвищують ступінь статичної невизначеності конструкції (підвищення нерозрізненості конструкції, зменшення кількості шарнірних з'єднань тощо);
- потрібно застосовувати матеріали й конструктивні рішення, що забезпечують розвиток у конструктивних елементах і їхніх з'єднаннях пластичних деформацій;
- необхідно конструювати технічні поверхи у вигляді просторової системи (плити коробчастого перерізу, елементи жорсткості у вигляді ферм на всю висоту поверху тощо), здатних сприймати навантаження, які обумовлені видаленням вертикальних елементів, розташованих між технічними поверхами.

Таким чином, основне завдання проектування в аварійній розрахунковій ситуації зводиться до мінімізації ймовірності виникнення граничного стану.

Як правило, будівлю розраховують як систему «основа – фундамент – будівля» з використанням програмних комплексів, що дають змогу враховувати фізичну, геометричну та конструкційну нелінійність. Такий розрахунок забезпечує найбільшу точність відображення закономірностей роботи конструктивної системи реальної будівлі за аварійних впливів.

За розрахунками вважається, що захист будівлі від прогресуючого (непропорційного) обвалення забезпечено, якщо для будь-яких елементів і їхніх з'єднань виконано наступну умову:

$$E_d \leq R_d, \quad (1)$$

де: E_d – розрахункова величина результату дій для прийнятої розрахункової ситуації; R_d – розрахункова величина несучої здатності для прийнятої розрахункової ситуації.

Вплив локальних руйнувань несучих конструкцій враховують тим, що розрахункову модель конструктивної системи будівлі розглядають у кількох варіантах, кожний із яких відповідає одному з можливих сценаріїв локальних руйнувань конструкцій за аварійної комбінації впливів.

Під час проектування слід враховувати аварійні розрахункові ситуації, що виникають під час дії аварійних впливів на стадіях будівництва та експлуатації будівлі, а також під час проведення реконструкції та капітального ремонту.

Відповідно до вимог ДБН В.1.2-14 [3], несучі та огорожувальні конструкції будівель повинні бути запроєктовані з урахуванням обґрунтованих аварійних розрахункових ситуацій, що можуть виникнути за рахунок позапроєктних впливів чи людського фактору.

В додатку В [3] наведений рекомендований перелік для розгляду подій, що можуть спричинити аварійний стан. Це дає змогу визначити найбільш імовірні причини та місця виникнення відмови несучих конструкцій.

Під час вибору сценаріїв розрахунку на стійкість прогресуючому (непропорційному) обваленню треба враховувати, що локальне руйнування може бути розташоване в будь-якому місці будівлі.

Для кожного сценарію треба визначити відповідальні несучі елементи (як правило, це найбільш напружені елементи несучої системи), вихід з ладу яких може викликати прогресуюче обвалення всієї конструктивної системи. Для цього виконується аналіз роботи несучих конструкцій будівлі за усталеної розрахункової ситуації.

Для оцінювання стійкості будівель до прогресуючого (непропорційного) обвалення розглядаються найнебезпечніші локальні руйнування, які можна розподілити на два випадки:

- 1) Вилучення з роботи вертикальних несучих елементів;
- 2) Обвалення частини перекриття або покриття.

Таким чином, рекомендовано проводити розрахунок за наступною схемою:

По-перше, визначається найбільш напружена несуча конструкція (колона, несуча стіна) в конструктивній системі будівлі (в деяких випадках їх може бути декілька). Для цього виконується розрахунок усієї конструктивної системи на постійні й тимчасові навантаження.

По-друге, моделюється ситуація, коли ця конструкція видаляється з каркасу будівлі як така, що втратила свою несучу здатність. Внаслідок цього решта несучих конструкцій мають прийняти на себе додаткові навантаження (які раніше сприйма-



лись конструкцією, що вилучена), при цьому повинна зберігатися їх несуча здатність і стійкість (вони не мають самі зруйнуватися повністю або частково за ланцюговою реакцією). Розрахунок проводиться у фізично й геометрично нелінійній постановці. Навантаження від видалення елементів відповідає зусиллям, які отримані в них на попередньому етапі розрахунку і збільшені на статичний еквівалент динамічного впливу.

По-третє, визначається частина міжповерхового перекриття, яка має найбільшу площу між несучими елементами. Далі застосовуємо сценарій, відповідно до якого визначена частина умовно вважається такою, що втратила свою несучу здатність під час аварійних впливів, внаслідок чого відбувається її падіння на перекриття, розташоване знизу. За такого сценарію ключовим є здатність нижнього перекриття сприймати без руйнування додаткові навантаження.

В стандарті визначено, що при розрахунку несучих конструкцій одного (будь-якого) поверху будівлі рекомендовано зону локального руйнування назначати площею не менше ніж 80 м^2 .

У всіх випадках площа поперечного перерізу кожного вилученого вертикального елемента, розташованого на ділянці локального руйнування, не повинна перевищувати: для залізобетонних елементів — $1,0 \text{ м}^2$; для фібробетонних, сталезалізобетонних елементів — $0,7 \text{ м}^2$.

Для конструкцій з цілісної, клеєної деревини та клеєного шпону площа поперечного перерізу всіх вилучених вертикальних елементів не повинна перевищувати 20 % загальної площі перерізу вертикальних елементів, розташованих на ділянці локального руйнування.

При виборі першого випадку розглядаються наступні сценарії розрахунку (рисунк 1):

- вилучення (видалення) двох стін, що перетинаються, на ділянках від місця їхнього перетину (наприклад, від кута будівлі) до найближчого отвору в кожній стіні або до наступного вертикального перетину зі стіною іншого напрямку, або на ділянці, що дорівнює висоті поверху H в чистому вигляді в кожному напрямку (рис. 1 в);
- вилучення стіни, що стоїть окремо: біля середини з короткої сторони будівлі, біля середини з довгої сторони, на куті будівлі від краю до найближчого отвору або на довжині, що дорівнює висоті поверху в чистому вигляді;
- обвалення (видалення) окремої колони.

У конструктивній схемі будівлі має бути видалено, як мінімум, одну колону із зовнішньої сторони, яка розташована в середині короткої (або довгої) сторони будівлі в плані. Крім того, рекомендовано обов'язкове видалення колон у точках плану

будівлі, де істотно змінюється його геометрія або конструктивне рішення.

У стандарті вказано, що розрахунок на прогресуюче обвалення припустимо виконувати квазістатичним методом – видаленням окремих елементів з розрахункової схеми. У такому разі реакції видалених елементів прикладають до модифікованої розрахункової схеми, яка реалізувалась після видалення елементів зі зворотним знаком, та помноженими на коефіцієнт k , який становить:

- не менше ніж 1,2 — для багатоповерхових будівель з кроком колон менше ніж 7,2 м;
- не менше ніж 1,4 — для багатоповерхових будівель з кроком колон більше ніж 7,2 м;
- 1,0 — для одноповерхових будівель.

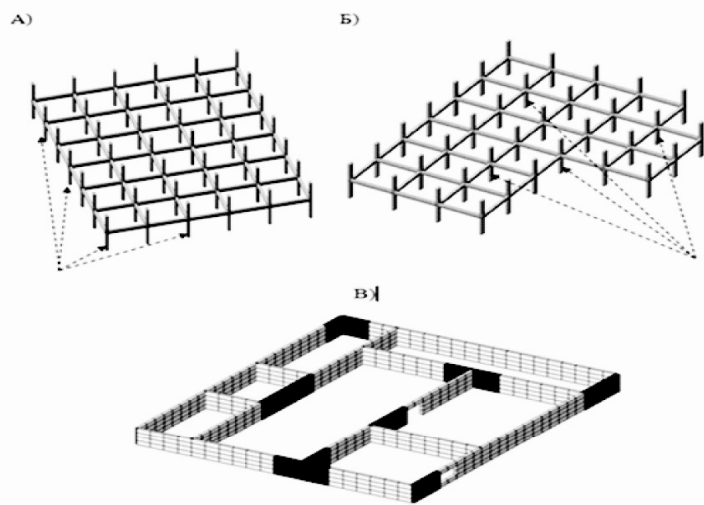
При виборі другого випадку розглядається умовне обвалення ділянки перекриття одного поверху на площі локального руйнування, внаслідок чого відбувається її падіння на перекриття, розташоване нижче.

Перекриття будівлі повинне сприймати вагу ділянки перекриття вищого поверху з урахуванням динамічного впливу.

Перекриття будівлі повинно бути розраховано на сприйняття ваги ділянки перекриття вищого поверху (постійне + тривале навантаження) з коефіцієнтом $k = 1,5$ для будівель класу наслідків СС3 та $k = 1$ – для будівель класу наслідків СС2 на площі локального руйнування.

Розрахунок будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення потрібно виконувати для кожного з розглянутих локальних руйнувань окремо та незалежно від інших можливих локальних руйнувань.

Також в стандарті подані положення щодо прийняття величин навантажень та впливів, їхні



Можливі вилучені елементи:

- колони зовнішнього ряду; б) колони внутрішнього ряду; в) ділянки зовнішніх або внутрішніх стін

Рисунок 1 – Сценарії локального руйнування



комбінації, які мають бути враховані під час розроблення сценаріїв аварійних розрахункових ситуацій.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю для аварійних розрахункових ситуацій під час розрахунку будівель на стійкість до прогресуючого обвалення приймається відповідно до ДБН В.1.2-14 [3]. Розрахунок будівлі у випадку локального обвалення несучих конструкцій проводиться за граничними станами першої групи. Переміщення конструкцій і розкриття в них тріщин у розглянутій надзвичайній ситуації не обмежуються.

В розробленому стандарті наведено алгоритм розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення в додатку А.

Приклад розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення висотної будівлі наведено в додатку Г.

Під час перевірки несучої здатності елементів конструктивної системи на аварійну комбінацію впливів, крім несучої здатності також повинна бути забезпечена стійкість усіх елементів. В розділі 9 розглянуті критерії несучої здатності конструкцій для позаграничного стану.

Стандартом допускається виконувати розрахунки за використання прямого динамічного методу. При цьому використовують модифіковану розрахункову схему, а початкові умови (положення мас та їхні швидкості, за наявності) визначають на основі усталеної розрахункової ситуації.

Конструкції, для яких вимоги щодо несучої здатності під час розрахунку на аварійну розрахункову ситуацію не задовольняються, необхідно прийняти інше проектне рішення, посилити, або прийняти інші заходи, що підвищують опір конструкцій прогресуючому обваленню.

Стойкість будівлі до прогресуючого обвалення перевіряється розрахунком і забезпечується конструктивними заходами – резервуванням несучої здатності несучих елементів (забезпеченням несучої здатності колон, ригелів, діафрагм, дисків перекриттів і стиків конструкцій), забезпеченням нерозрізності і неперервності армування перекриттів, підвищенням пластичних властивостей в'язів між конструкціями, долученням до роботи просторової системи ненесучих елементів.

В розділі 10 стандарту перелічені конструктивні вимоги щодо захисту будівель різних конструктивних систем від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

Конструктивні заходи, які забезпечують більш високий опір конструкцій до прогресуючого обвалення, розглянуті в додатку В.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено національний стандарт ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення», який разом з іншими ДБН та ДСТУ утворює комплекс нормативних документів щодо проектування будівель і спо-

руд класів наслідків СС3 та СС2 різних конструктивних систем та захисту їх від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

2. Стандарт дозволяє підвищити надійність проектування будівель в різних інженерно-геологічних умовах та забезпечити високий рівень безпеки роботи в проектних умовах експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В 1-2-6:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 36 с.
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 47 с.
3. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 36 с.
4. UFC 4-023-03 [14 July 2009 including change 1-27 January 2010] Unified Facilities Criteria. Design of building to resist progressive collapse. USA: Department of Defense, 2009. 244 p.
5. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 59 с.

REFERENCES

1. DBN В 1-2-6:2021. (2022). Fundamental requirements for buildings and structures. Mechanical resistance and stability. Kyiv: Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine.
2. DBN В.1.1-7:2016. (2017). Fire safety of construction objects. General requirements. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.
3. DBN В.1.2-14:2018. (2018). General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.
4. UFC 4-023-03. (2009). [14 July 2009 including change 1-27 January 2010]. Unified Facilities Criteria: Design of buildings to resist progressive collapse. USA: Department of Defense.
5. DBN В.2.2-41:2019. (2019). High-rise buildings. Basic provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 13.08.2024