

УДК 699.841

**НАПРЯМИ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРНИХ ДЕФЕКТІВ І ПОШКОДЖЕНЬ
КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ І БУДІВЕЛЬ НА ЇХ
СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ**

**НАПРАВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ И
ПОВРЕЖДЕНИЙ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЗДАНИЙ НА ИХ
СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ**

**THE DIRECTIONS OF INFLUENCE OF CHARACTERISTIC DEFECTS
AND DAMAGES OF MASONRY STRUCTURES AND BUILDINGS ON
THEIR SEISMIC RESISTANCE**

Попок К.В., асп. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Попок К.В., асп. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Popok K.V., PhD student (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Узагальнено та систематизовано напрями впливу характерних дефектів та пошкоджень кам'яних конструкцій та будівель на їх несучу здатність та сейсмостійкість при різних етапах її перевірки.

Обобщены и систематизированы направления влияния характерных дефектов и повреждений каменных конструкций и зданий на их несущую способность и сейсмостойкость при различных этапах ее проверки.

The directions of influence of characteristic defects and damages of masonry structures and buildings on their bearing capacity and seismic resistance at various stages of its verification are summarized and systematized.

Ключові слова:

Пошкодження, кладка, тріщини, сейсмостійкість.

Повреждения, кладка, трещины, сейсмостойкость.

Damages, masonry, cracks, seismic resistance.

На сьогодні кам'яні будівлі мають широку розповсюдженість в Україні, зокрема, на її сейсмонебезпечних територіях. При створенні й експлуатації

кам'яні конструкції та будівлі отримують пошкодження і дефекти, які мають негативний вплив на їх сейсмостійкість. Проте на даний час відсутній узагальнений системний розгляд впливу комплексу пошкоджень і дефектів кам'яних конструкцій та будівель на їх сейсмостійкість.

Аналіз останніх публікацій та досліджень показує, що на сьогодні має місце окреме розрізнене врахування дефектів і пошкоджень при оцінці сейсмостійкості кам'яних конструкцій. Наприклад, в роботі [1] наголошується на тому, що одним з найважливіших показників сейсмостійкості кладки є величина зчеплення кладки з розчином при розтязі по неперев'язаних швах. Ця величина називається «тимчасовий опір осьовому розтягу по неперев'язаних швах (нормальне зчеплення)», R_{nt} , значення якого безпосередньо впливає на категорію кладки. Але при цьому відсутній подальший детальний аналіз впливу втрати даного показника при утворенні тих чи інших пошкоджень кладки.

В роботі [2] відмічається, що при обстеженнях часто трапляються випадки невідповідності матеріалів несучих конструкцій вимогам проекту та норм щодо міцності як розчину (частіше), так і каменів. Тому при визначенні несучої здатності кладки використовують не проектні, а фактичні дані характеристик матеріалу кладки.

Згідно з [3], пошкоджуваність будівель при землетрусі підрозділяється на 6 ступенів d (від 0 до 5) в порядку зростання шкоди та зменшення залишкового ресурсу несучої здатності. У нормах даного державного стандарту наведені ступені пошкоджень і класифікація пошкоджень будівель з несучими кам'яними стінами в залежності від спостережуваних ефектів, але відсутні деталі щодо врахування пошкоджень у розрахунках. Не торкається питання дефектів і пошкоджень іншої природи.

Часто для визначення залишкової несучої здатності конструкції можуть бути використані граничні значення її деформованості z [4]. Величина z представляє відношення періодів вільних коливань однієї й тієї самої будівлі у різний час:

$$z_{кр} = T_{кр}/T_0 \quad (1)$$

де T_0 і $T_{кр}$ – періоди власних коливань, виміряні при введенні об'єкту в експлуатацію і в той момент, коли він через значний ступінь пошкоджень вже не придатний до експлуатації [4]. Але даний показник є дуже узагальненим і не дає детальні прямі відповіді щодо впливу тих чи інших дефектів і пошкоджень на сейсмостійкість конструкцій.

Таким чином, у попередніх дослідженнях даного питання врахування дефектів та пошкоджень при оцінці сейсмостійкості кам'яних конструкцій носить фрагментарний характер (розглядаються або занадто виокремлені, або занадто загальні випадки та показники) з відсутністю чіткої систематизації напрямів їх впливу.

Метою дослідження, результати якого викладені в статті, є узагальнення та систематизація напрямів впливу характерних пошкоджень та дефектів кам'яних конструкцій та будівель на їх сейсмостійкість.

В публікації [5] автором виділено основні види пошкоджень кам'яних будівель, які з розвитком негативно впливають на їх несучу здатність та сейсмостійкість. До таких пошкоджень відносяться: тріщини в тілі конструкцій і в стиках конструкцій; часткова втрата перерізу конструкцій через руйнування, заморожування-розморожування цегляної кладки стін, вивітрювання цементного розчину з кладки, механічні пошкодження, відколи фактурного шару цегли, випадіння цегли з кладки стін; незавершеність будівельних робіт по кладці зовнішніх стін тощо. Також не менш важливу роль у даному напрямі впливу відіграють дефекти та пошкодження, отримані з причин невідповідності прямим конструктивним вимогам і недоліків будівництва, такі як недостатність і змикання антисейсмічних деформаційних швів, недостатній шар розчину між плитою перекриття та цеглою несучої стіни, відсутність замоноличування швів в стиках панелей перекриття, корозія арматурних сіток підсилення несучих стін, недоліки виконання кладки тощо; недостатній сейсмостійкий захист у порівнянні з нормативними вимогами, що проявляється в складній формі споруди, в підвищеній довжині, відсутності залізобетонних елементів підсилення тощо.

Дефекти та пошкодження в нових чи існуючих кам'яних будівлях можуть бути враховані (рис. 1) на наступних етапах перевірки сейсмостійкості:

- 1) при перевірці прямих конструктивних вимог;
- 2) при складанні розрахункової схеми;
- 3) при перевірці елементів та вузлів на дію визначених навантажень і зусиль.



Рис. 1. Способи врахування пошкоджень у розрахунках

Узагальнено проаналізуємо вплив характерних дефектів та пошкоджень на несучу здатність та сейсмостійкість кам'яних конструкцій та будівель з врахуванням відповідних формул та закономірностей для їх розрахунку та перевірки.

Втрата (зменшення площі) перерізу конструкцій. Для аналізу впливу втрати перерізу на несучу здатність елемента при їх перевірці на дію визначених навантажень і зусиль доцільним є простеження даного впливу через складові формули граничних зусиль згідно нормативних документів. В даному дослідженні попередньо розглядаються загальновідомі формули зі СНиП II-22-81 [6] на прикладі елемента прямокутного перерізу. У подальшому будуть проаналізовані й відповідні формули з ДБН, які в більшості випадків зберігають сутність та зміст формул зі СНиП.

Для розрахунку елементів при центральному стиску передбачена формула:

$$N \leq m_g \phi RA. \quad (2)$$

Дана формула містить три множники, величина яких знизиться при зменшенні площі перерізу елемента – коефіцієнт, що враховує вплив тривалого навантаження m_g , коефіцієнт поздовжнього згину ϕ та безпосередньо площа перерізу елемента A .

Коефіцієнт m_g визначається за формулою:

$$m_g = 1 - \eta \frac{N_g}{N} \left(1 + \frac{1,2e_{og}}{h} \right). \quad (3)$$

Формула (3) містить висоту перерізу h , яка буде меншою при зменшенні товщини елемента, а також коефіцієнт η , величина якого зростає при збільшенні гнучкості елемента λ , яка у свою чергу збільшується при зменшенні висоти перерізу h .

Коефіцієнт поздовжнього згину ϕ приймає менші значення при збільшенні гнучкості елемента λ .

Для розрахунку позацентрово стиснутих елементів наведена формула:

$$N \leq m_g \phi_1 R A_c \omega. \quad (4)$$

Коефіцієнт m_g має аналогічний вплив, як і при центральному стиску елемента. Коефіцієнт ϕ_1 є півсумою коефіцієнтів ϕ та ϕ_c , які мають вплив, також аналогічний, як і при центральному стиску (коефіцієнт поздовжнього згину для стиснутої зони перерізу ϕ_c приймає менші значення при збільшенні гнучкості λ_c внаслідок зменшення висоти стиснутої зони перерізу h_c , що визначається як $h_c = h - 2e_0$).

Площа стиснутої зони A_c визначається за формулою:

$$A_c = A \left(1 - \frac{2e_0}{h} \right). \quad (5)$$

Зменшення площі перерізу елемента A та висоти перерізу h тягне за собою і зменшення величини A_c .

Однак у формулі (4) присутній і множник, величина якого зростає при зменшенні висоти перерізу h – коефіцієнт ω , який визначається як $1 + e_0/h$.

Для розрахунку згинальних елементів передбачені формули:

$$M \leq R_{tb} W, \quad (6)$$

$$Q \leq R_{tw} b z. \quad (7)$$

Зменшення розмірів перерізу приведе до зменшення значень моменту опору перерізу кладки W , в залежності від особливостей розвитку пошкоджень може зменшити плече внутрішньої пари сил $z = 2h/3$ та (або) ширину перерізу b .

Для розрахунку кладки на зріз за горизонтальними неперев'язаними швами та перев'язаними швами для бутової кладки наведена формула:

$$Q \leq (R_{sq} + 0,8n\mu\sigma_0)A. \quad (8)$$

Аналогічно до попередніх перевірок втрата перерізу кладки відобразиться на зменшенні розрахункової площі перерізу A , проте з невеликим збільшенням значення середнього напруження від стискаючої сили σ_0 .

Для розрахунку елементів на головні розтягуючі напруження передбачена формула:

$$Q \leq \frac{R_{tq} A_c}{\gamma} \quad (9)$$

При цьому розрахунковий опір сколюванню кладки визначається за формулою:

$$R_{tq} = \sqrt{R_{tw}(R_{tw} + \sigma_0)} \quad (10)$$

Вплив значення середнього напруження від стискаючої сили σ_0 є аналогічним до перевірки кладки на зріз, тому при зменшенні розрахункової

площі перерізу A_c отримаємо деяке збільшення величини розрахункового опору $R_{тq}$.

Виникнення тріщин. При виникненні тріщин результатом є місцеве руйнування кладки по швах та(або) кладці зі зниженням жорсткості конструкцій та вузлів, розділенням на окремі менші за розміром елементи, зміною геометричних параметрів конструкції та виключенням пошкоджених елементів з роботи.

Вертикальні тріщини, що проходять в тілі конструкцій, можуть розділяти суцільний масив кладки на окремі ділянки, що зменшує площу суцільного поперечного перерізу елемента. В такому випадку врахування тріщин при розрахунках на несучу здатність буде за такими напрямками, як це описано для втрати перерізу. Слід наголосити, що при розрахунку на центральний та позацентровий стиск елементи, розділені на окремі частини, очевидно мають більшу гнучкість, ніж суцільний масив.

Якщо має місце горизонтальна тріщина в кладці, то при її перевірці на зріз за формулою (8) величина її відповідного розрахункового опору R_{sq} в перерізі з тріщиною буде дорівнювати нулю. А в перевірці буде задіяний тільки другий член формули (8), який відповідає за сили тертя. При перевірці кладки на центральний та позацентровий стиск при цьому розрахунковий опір на стиск R буди меншим завдяки втраті зчеплення між кладкою та розчином, погіршення умов їх контакту та мікроруйнуванням розчину вздовж берегу тріщини. Ступінь такого зниження слід окремо теоретично та експериментально проаналізувати, а до цього в деякий запас можна приймати опір кладки при мінімальній міцності розчину $0 \dots 0,2$ МПа.

Похилі тріщини від головних розтягуючих напруг проходять, як правило, по косій штрабі. При цьому відбувається сумісне руйнування кладки за дотичними та нормальними розтягуючими напругами в горизонтальних швах (роботу вертикальних швів не враховують), тобто на зріз та розтяг по неперев'язаних ступінчасто розташованих швах. Отже вплив похилої тріщини по косій штрабі на остаточну несучу здатність кладки є аналогічним утворенню горизонтальної тріщини від згину та(або) зрізу (зсуву).

Зменшення марки розчину кладки. Марка розчину є одним з двох факторів, які безпосередньо визначають значення розрахункових опорів кладки на стиск, розтяг та зріз, тому її зменшення відповідно приводить до зниження даних міцнісних характеристик за залежностями, наведеними у нормативних документах. Через це зменшеним є модуль деформацій, який використовують при складанні розрахункової схеми.

Зменшення марки розчину кладки також може бути врахованим як недотримання прямих вимог проектування будівель з забезпечення їх сейсмостійкості [7], згідно з якими розчини класу міцності на стиск повинні бути не нижчої марки, ніж M50, оскільки зниження марки розчину передбачає зменшення міцності зчеплення з цеглою або каменем у швах.

Недостатня ширина розкриття антисейсмічних швів. Даний дефект майже не враховується при складанні розрахункової схеми, передбачається що при коливаннях сусідні відсіки можуть зазнавати взаємних ударів, врахування яких є достатньо складним розрахунком.

Слід відмітити, що прямі конструктивні вимоги, як правило, стосуються факторів, які не враховують безпосередньо у розрахунках, та є важливою передумовою адекватності розрахунків та(або) додатковою умовою забезпечення необхідної міцності, стійкості та жорсткості у факторах, які розрахунки не охоплюють. Наприклад, необхідність наявності поповерхових монолітних залізобетонних обв'язок є важливою передумовою ефективного перерозподілу та передачі сейсмічних зусиль на вертикальні конструкції. При аналізі небезпечності невиконання тих чи інших прямих конструктивних вимог слід чітко розуміти причини та необхідність їх введення. Детальний аналіз впливу їх невиконання можна провести шляхом відповідних розрахунків з моделюванням відсутності певних елементів, впливу додаткових навантажень тощо.

Окремого дослідження потребує оцінка впливу розвитку пошкоджень в структурі матеріалу конструкцій на зниження енергоємності та пластичності конструктивної системи з відповідним збільшенням коефіцієнту допустимих пошкоджень k_1 з ДБН [7].

Таким чином, характерні дефекти та пошкодження кам'яних конструкцій та будівель можна досить явно врахувати при їх перевірці на несучу здатність та сейсмостійкість за допомогою підходів, викладених в статті. Аналіз впливу невиконання прямих конструктивних вимог може бути більш складним та передбачає добре розуміння причин і необхідності їх введення та, часто, більш складних особливих розрахунків. У подальших дослідженнях слід чисельно деталізувати ступінь впливу характерних пошкоджень на різні види та умови несучої здатності кам'яних конструкцій при сейсмічних впливах.

1. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. – К.: Гудименко С.В., 2008. – 480 с. 2. Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С. Последствия Ташкентского землетрясения. – Ташкент: Издательство «ФАН», 1967. – 144 с. 3. Шкала сейсмічної інтенсивності: ДСТУ Б В.1.1-28:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 79 с. 4. Мартемьянов А.И. Инженерный анализ последствий землетрясений 1946 и 1966 гг. в Ташкенте. – Ташкент: Издательство «ФАН», 1969. – 200 с. 5. Попок К.В. Технічний стан кам'яних будівель в умовах сейсмонезбезпечних територій України / К.В. Попок // Будівельні конструкції: Збірник наукових праць. – К: ДП НДІБК, 2015. – Вип.82 – С.436-443. 6. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП П-22-81. – Офіц. изд. – [Взамен СНиП П-В.2-71; Действ. от 1983-01-01]. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с. 7. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 118 с.