

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3\(41\)-480-486](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3(41)-480-486)

УДК 624.042.7/8:624.131.53

**Денис Михайлович Зезюков¹, Микола Миколайович Махінко²
Дар'я Сергіївна Нечепуренко³**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Український державний університет науки і технологій,

ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпро, Україна)

E-mail: zdmcomua@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7451-992X>. ResearcherID: ACR-2491-2022

²кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Український державний університет науки і технологій,

ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпро, Україна)

E-mail: kolia2785@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5541-8672>. ResearcherID: ABD-7168-2021

³кандидат технічних наук, доцент кафедри організації і управління будівництвом

Український державний університет науки і технологій,

ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпро, Україна)

E-mail: Nechepurenko.daria@pdaba.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9292-4790>. ResearcherID: ABS-9162-2022

ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ КАТЕГОРІЙ ПОШКОДЖЕННЯ КРУПНОПАНЕЛЬНИХ ЧАСТКОВО ЗРУЙНОВАНИХ БУДИНКІВ ПІСЛЯ ДИНАМІЧНИХ І ВИБУХОВИХ ВПЛИВІВ

У статті представлено аналіз раціональності та економічної ефективності посилення та капітального ремонту частково зруйнованих великопанельних будівель відповідно до визначеної категорії пошкоджень внаслідок динамічних та ударних впливів, отриманих у результаті бойових дій. Виходячи з практичної та економічної доцільності, проаналізовано можливі методи та способи підсилення великопанельних будівель та запропоновано показник інтегрального зносу для віднесення до граничної категорії пошкоджень.

Ключові слова: великопанельні будівлі; категорії руйнування; методи підсилення; капітальний ремонт.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Великопанельні будівлі становлять значну частину житлового фонду пострадянських країн, включаючи Україну, де їхня частка сягає понад 40 % багатопверхової забудови. Спочатку ці конструкції проектувалися для швидкого індустріального складання та експлуатації в умовах невисоких динамічних впливів, проте сучасні чинники впливу суттєво змінили умови їхньої експлуатації. Основним параметром на 2025 рік є воєнні дії, що продовжуються на території країни та призводять до часткових і повних пошкоджень житлових масивів: вибухові та ударні хвилі мають динамічний характер, аналогічні сейсмічним впливам, викликаючи як повні руйнування конструктивних систем, так і локальні обвалення, у тому числі пошкодження стиків між панелями.

Постановка проблеми. Проблема раціональності та економічної ефективності посилення та капітального ремонту великопанельних будівель стає одним із ключових інженерних завдань, що має не лише наукове, а й велике соціальне значення, враховуючи обмеженість застосування окремих положень та наказів щодо такого завдання [1]. Ця проблема пов'язана з питаннями безпеки населення, продовження терміну служби будівель та економічної доцільності вжитих заходів.

Аналіз досліджень і публікацій. Вивчення статистики результатів досліджень щодо пошкодження та посилення панельних будівель під динамічними та сейсмічними навантаженнями ведуться з 1970-х років. У класичних роботах наголошувалося на слабких місцях великопанельних будівель, якими є стикові з'єднання між панелями [3]. Руйнування при Спітакському землетрусі (1988, Вірменія) підтвердили, що саме ушкоджені зварні вузли призводять до прогресуючих (лавиноподібних) обвалів [5].

У міжнародній літературі багато уваги приділено вразливості збірних конструкцій (precast large panel buildings) при динамічних і ударних впливах. У дослідженнях FEMA (США) та Eurocode (ЄС) зазначено, що без спеціальних заходів панелі мають низьку пластичність і обмежену енергоємність [6].

Практичні спостереження за будинками в Грузії, Вірменії, Казахстані та Румунії показали, що великопанельні системи особливо вразливі до комбінованих динамічних впливів:

- 1) руйнування зварних закладних деталей у стиках між панелями та випадання панелей;
- 2) усунення або випирання панелей через крихке руйнування стиків;
- 3) поява прогресуючих тріщин у зонах сполучення панелей [7].

У сучасних публікаціях зустрічається аналіз нових методів посилення: застосування FRP (Fiber Reinforced Polymers) – композитів (матеріали на основі полімерів, армованих волокнами (скляними, вуглецевими або арамідними)); UHPC (Ultra High Performance Concrete Jackets) – обойм з ультрависокоміцного цементного матеріалу з міцністю на стиск 150-250 МПа), влаштування монолітних поясів та діафрагм жорсткості [8, 9]. Їхня ефективність підтверджена експериментальними випробуваннями та розрахунками, проте питання масового впровадження у відновлення житлового фонду залишаються відкритими.

Мета статті полягає в аналізі раціональності технічних та економічних аспектів планування посилення та капітального ремонту великопанельних будівель відповідно до визначеної категорії пошкоджень з частковими руйнуваннями внаслідок динамічних та ударних впливів, отриманих у результаті бойових дій.

Основними завданнями статті є:

- 1) аналіз характерних пошкоджень панельних будівель при динамічних та ударних впливах;
- 2) аналіз існуючих способів посилення та капітального ремонту;
- 3) оцінка доцільності підсилень у контексті частково пошкодженого житлового фонду масової забудови;
- 4) запропонування рекомендації щодо вибору стратегії: посилення, капітальний ремонт чи відсутність економічної раціональності їх реалізації;
- 5) питання економічної ефективності при прийнятті рішень щодо повного демонтажу та нового будівництва.

Виклад основного матеріалу. Характерні ушкодження великопанельних будівель можна класифікувати за такими типами:

1. Стикові руйнування: розриви зварних з'єднань, ослаблення замонолічених вузлів, випадання окремих елементів.
2. Тріщиноутворення: розвиток діагональних та вертикальних тріщин у місцях сполучення, розкриття тріщин на торцях панелей.
3. Локальна втрата несучої здатності: відколи бетону, оголення арматури та корозія закладних деталей.
4. Глобальні деформації: перекоси поверхів, втрата просторової жорсткості.
5. Ушкодження основ та фундаментів: осадка основ, нерівномірні деформації.

Місця стиків та контактні поверхні панелей часто мають нещільний контакт із бетоном/герметиком, туди проникає волога, хлориди та CO_2 , що викликає прискорену електрохімічну корозію закладних деталей. Корозія закладних деталей та зварних швів, видавлювання/відшарування захисного шару бетону внаслідок утворення продуктів корозії веде до зменшення жорсткості та міцності стиків з'єднання між панелями. Якщо закладна деталь у стикі не захищена або має повітряні прошарки між бетоном замонолічування, при періодичному чи постійному зволоженні та наявності агресивних середовищ (хлориди, CO_2 , реагенти) вона може втрачати до 0,1-0,2 мм/рік, та за 10-15 років зменшити перетин на 1-2 мм [4]. Отже, приймаючи середній період експлуатації великопанельних будівель масової забудови, що дорівнює на сьогодні 50 років, а також власний досвід технічного обстеження великопанельних будівель різних серій, корозія закладних деталей у стиках може досягати 3-5 мм, часто при впливі тільки періодичного зволоження.

Описані дефекти посилюються впливом динамічних та ударних навантажень військового характеру (ударні хвилі, артобстріли), що робить проблему особливо актуальною для України, при цьому типовими uszkodженнями панельного будинку при динамічних та ударних навантаженнях є: прогресуючі тріщини в стиках; руйнування зварних закладних деталей; перекид та випадання панелей та деформації перекриттів.

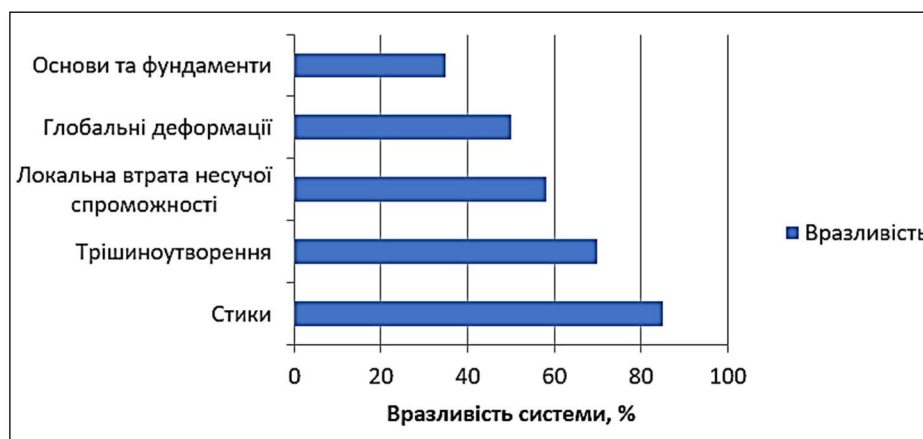


Рис. 1. Типові критерії пошкодження панельних будівель

Джерело: розроблено авторами.

До локальних заходів підсилення можна віднести ін'єктування тріщин та швів цементними та полімерними складами, посилення стиків сталевими анкерами та болтовими з'єднаннями, а також FRP-армування вуглецевими або склокомпозитними стрічками.

Такі методи застосовуються в короткі терміни при незначних uszkodженнях I категорії (згідно з методикою [1]), без переселення мешканців, але дають обмежений приріст жорсткості.

До системних заходів можна віднести влаштування поясів та затяжок по периметру будівель для об'єднання панелей, влаштування вертикальних діафрагм жорсткості, що влаштовуються в сходових клітинах та по торцях будівель, облаштування каркасними рамами із сталі або залізобетону із включенням у спільну роботу та посилення основ та фундаментів.

Ці заходи трудомісткі і вимагають порівняно великих витрат, але значно підвищують загальну жорсткість та стійкість.

Інноваційним методом можна вважати УНРС-обойми – тонкі оболонки з надвисокотривалого бетону. Ці технології рідкісні в масовому застосуванні і сьогодні не розвинені в Україні, але показують високу ефективність в експериментах.

Основною проблемою посилення великопанельних будівель стають стики між панелями, що є найбільш уразливими елементами, і саме від їхньої міцності та пластичності залежить просторова робота будівлі.

До ключових проблем належать такі:

- 1) стики (вузли з'єднання) між панелями будівель проєктувалися для статичних навантажень і не мають достатньої пластичності;
- 2) зварні з'єднання деградують при динамічних та ударних навантаженнях; метал починає кришитися, а наявність корозії прискорює руйнування;
- 3) замоноличені шви часто виконані розчином низької марки, схильним до розтріскування і втрати зчеплення;
- 4) доступ до стиків складний через оздоблення та інженерні комунікації;
- 5) різні серії будинків мають різні конструктивні рішення вузлів, що унеможлиблює єдиний універсальний метод посилення.

До основних методів посилення стиків при капітальному ремонті можна віднести такі:

- 1) влаштування болтових та анкерних зв'язків, а також дублюючих зварних швів.
- 2) ін'єктування швів високоміцними складами з покращеною адгезією.
- 3) введення зовнішніх обойм зі сталі або FRP-композитів для охоплення вузлів та підвищення несучої здатності.

- 4) включення стиків у монолітні залізобетонні пояси та каркаси, що перерозподіляють зусилля.

Приклади з практики капітального ремонту з посиленням:

Україна (Запоріжжя, 2023 р.): у будинках серії 464 було проведено посилення стиків із застосуванням ін'єкційних складів на основі поліуретану. Метод показав високу ефективність при відновленні герметичності та міцності вузлів після пошкоджень від ударної хвилі. Незначні ушкодження I категорії (згідно з методикою [1]).

Вірменія (після Спітакського землетрусу, 1988 р.): масово застосовувалося влаштування монолітних поясів лише на рівні перекриттів із захопленням стиків. Це значно підвищило просторову жорсткість будинків.

Казахстан (Алмати, сейсмонебезпечна зона): практикується зовнішнє армування стиків з використанням FRP-стрічок, що обклеюються по периметру вузлів. Такий метод не вимагає розкриття стін і підходить для будівель, що експлуатуються.

Таким чином, саме стики залишаються «слабкою ланкою» у сейсмостійкості та довговічності панельних будівель. Ефективне їхнє посилення визначає загальну стійкість конструктивної системи.

Економічна ефективність та доцільність, як правило, визначається співвідношенням витрат на посилення та очікуваного продовження терміну служби:

- 1) Локальні заходи (становлять 5-15 % вартості нового будівництва) та продовжують термін служби на 10-15 років.

- 2) Комплексне посилення (становить до 60-70 % вартості нового будівництва) забезпечує до 30-40 років експлуатації.

- 3) Повний демонтаж та нове будівництво економічно доцільно при руйнуванні понад 60 % несучих елементів з огляду на стан стикових з'єднань неповністю зруйнованих частин будівлі у складі єдиного блоку, залишкова міцність яких становить у середньому від 15 до 30 %

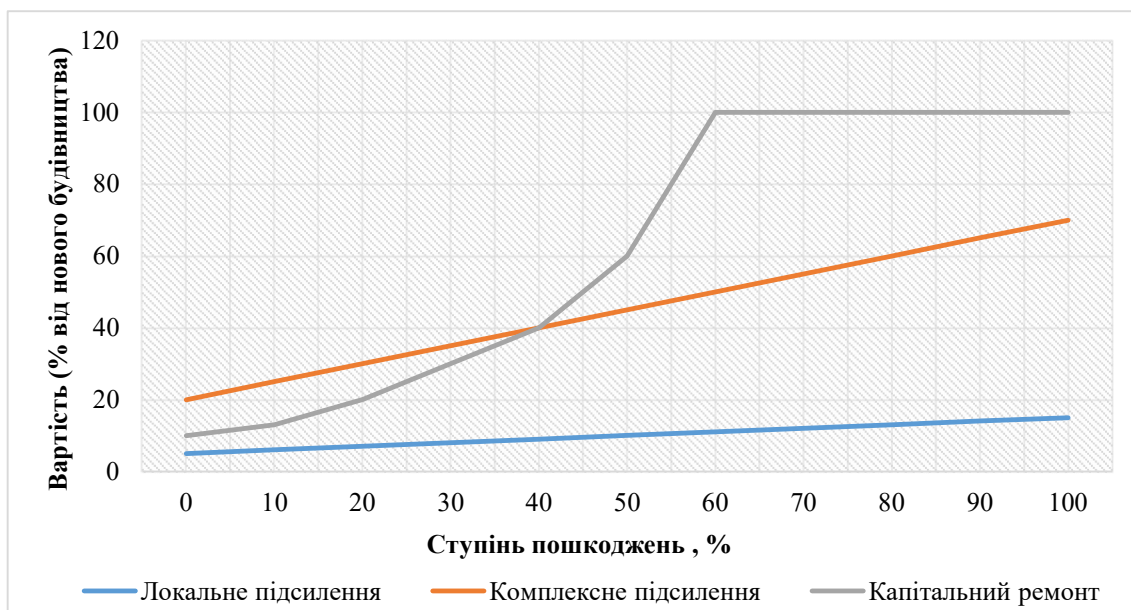


Рис. 2. Графік економічної доцільності відновлення пошкоджених великопанельних будівель
Джерело: розроблено авторами.

Враховуючи соціальні та експлуатаційні фактори, раціональними є методи, що дозволяють виконувати роботи при збереженні житла (без відселення) при незначних руйнуваннях. При цьому застосування FRP-композитів, анкерних сполук та ін'єктування може бути найбільш практичною технологією. При руйнуваннях понад 60 % економічно доцільно планувати демонтаж та нове будівництво сучасних енергоефективних будівель.

Таблиця 1 – Порівняння способів підсилення

Спосіб підсилення	Відносна вартість	Ефективність	Час робіт	Будівля, що експлуатується
Ін'єктування	низька	локальна	короткий	так
Влаштування FRP	низька – середня	середня	короткий	так
Влаштування монолітних поясів	середня	висока	середній	частково
Влаштування діафрагм	висока	висока	тривалий	ні
Вбудова каркасу	дуже висока	максимальна	тривалий	ні
Влаштування UHPC-обойм	середня	висока	середній	частково

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2 – Економічна ефективність

Ступінь пошкоджень	Рекомендована міра	Термін експлуатації	Доля вартості нового будівництва, %
Легкі	локальне підсилення	+ 10-15 років	5-15
Середні	комплексне підсилення	+ 25-30 років	40-60
Важкі	демонтаж	новий термін	100

Джерело: розроблено авторами.

З прикладів досвіду посилення можна навести такі випадки: масове посилення панельних будинків монолітними рамами після землетрусів у Румунії 1977 року; використання залізобетонних діафрагм та сталевих обойм після Спитака у Вірменії; впровадження FRP та металевих зв'язків при ремонті будинків у Казахстані. Ці приклади показують, що комплексний підхід можливий, але потребує довгострокової державної програми.

З основних рекомендацій щодо відновлення частково зруйнованих великопанельних будівель найбільш доцільними можуть бути наступні:

- 1) Розробка типових проєктів посилення для найпоширеніших серій панельних будинків.
- 2) Використання багаторівневих заходів: локальне посилення масового застосування, комплексне – для стратегічно важливих об'єктів (школи, лікарні).
- 3) Підтримка державних програм модернізації житла з урахуванням наслідків воєнних руйнувань.
- 4) Включення економічної оцінки до процесу прийняття рішень, враховуючи соціальний ефект.

Висновки. Великопанельні будівлі мають підвищену вразливість до динамічних і ударних впливів через ослаблені стикові з'єднання та їх знижену жорсткість. Найбільш характерні пошкодження великопанельних будівель найчастіше пов'язані з руйнуванням саме закладних деталей у стиках між панелями та тріщиноутворенням на панелях через наявність нерегулярного, а часом повної відсутності робочого армування. У цілому економічна доцільність діючих заходів значно залежить від масштабу ушкоджень: при часткових руйнуваннях у діючій методиці [1] рекомендується виконання капітального ремонту з локальним посиленням і лише за значних ушкоджень (від 81 %) повний демонтаж

будівлі. При виконанні оцінки для присвоєння категорії ушкоджень не враховується головна проблема, а саме: стан стикових з'єднань неповністю зруйнованих частин будівлі у складі єдиного блоку, залишкова міцність яких становить у середньому від 15 до 30 % і це без урахування зниження жорсткості після динамічного/ударного впливу. Рациональною технічною межею для ухвалення рішення про повний демонтаж будівлі рекомендовано значення 60 %, якщо воно отримане на підставі інтегрального зносу.

У післявоєнний час пріоритетним буде розробка технологій, що дозволяють проводити посилення без повного відселення мешканців. Науковий супровід та розробка типових рішень посилення для масових серій великопанельних будівель мають стати пріоритетом державної політики.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів, Наказ Міністерства розвитку громад та територій No. 144 (2022) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text>.
2. Kovalenko, O. (2022). Dynamic effects of blast loads on precast buildings. *Journal of Civil Engineering*, 2(4), 21-28.
3. Гвоздєв, А. А. (1985). *Стики панелей и их работа в условиях динамических нагрузок*. Стройиздат.
4. Дудышкина Л. А. & Жуковская В. И. (1988). *Ремонт полносборных жилых зданий*. Издательство Стройиздат.
5. Wyllie, L. A., & Filson, J. R. (1988). *Reconnaissance report: Armenia earthquake reconnaissance report. Earthquake Spectra, Special Supplement No. 89/01*. Earthquake Engineering Research Institute (EERI).
6. Applied Technology Council (ATC). (1998). *FEMA 306: Evaluation of earthquake-damaged concrete and masonry wall buildings: Basic procedures manual*. Prepared for the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Redwood City, CA, and Washington, DC: FEMA / ATC.
7. Lungu, D., & Demeter, A. (2004). *Seismic vulnerability of large panel buildings in Romania*.
8. Triantafillou, T. C. (2001). Seismic retrofitting of structures with fibre-reinforced polymers. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 3(1), 57-65. <https://doi.org/10.1002/pse.61>.
9. JRC (Joint Research Centre, European Commission) (2017). *Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions*. Publications Office of the European Union.

References

1. Pro zatverdzhennia Metodyky provedennia obstezhennia ta oformlennia yoho rezultativ [On approval of the Methodology for conducting surveys and recording their results], Order of the Ministry of Community and Territorial Development No. 144 (2022) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text>.
2. Kovalenko, O. (2022). Dynamic effects of blast loads on precast buildings. *Journal of Civil Engineering*, (2(4)), 21-28.
3. Gvozdev, A. A. (1985). *Styki panelej i ih rabota v usloviyah dinamicheskikh nagruzok [Panel joints and their performance under dynamic loads]*. Vidavniectvo Strojizdat.
4. Dudyshkina, L. A., & Zhukovskaya, V. I. (1988). *Remont polnosbornykh zhilykh zdaniy [Renovation of prefabricated residential buildings]*. Vidavniectvo Strojizdat.
5. Wyllie, L. A., & Filson, J. R. (1988). «Reconnaissance report». Armenia earthquake reconnaissance report, Earthquake Spectra, Special Supplement No. 89/01, EERI.
6. Applied Technology Council (ATC) (1998). FEMA 306: «Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings». Basic Procedures Manual. Prepared for FEMA. Redwood City (CA) / Washington, D.C. : FEMA / ATC.
7. Lungu, D., & Demeter, A. (2004). *Seismic vulnerability of large panel buildings in Romania*.
8. Triantafillou, T. C. (2001). Seismic retrofitting of structures with fibre-reinforced polymers. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 3(1), 57-65. <https://doi.org/10.1002/pse.61>.
9. JRC (Joint Research Centre, European Commission) (2017). «Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions». Publications Office of the European Union.

Отримано 17.09.2025

Denis Zeziukov¹, Mykola Mahinko², Darya Nечepurenko³

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of reinforced concrete structures
Ukrainian State University of Science and Technologies

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro, Ukraine)

E-mail: zdmcomua@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7451-992X>. **ResearcherID:** [ACR-2491-2022](https://orcid.org/0000-0001-7451-992X)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of reinforced concrete structures
Ukrainian State University of Science and Technologies

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro, Ukraine)

E-mail: kolia2785@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5541-8672>. **ResearcherID:** [ABD-7168-2021](https://orcid.org/0000-0001-5541-8672)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Organization and Management
Ukrainian State University of Science and Technologies

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro, Ukraine)

E-mail: Nechepurenko.daria@pdaba.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9292-4790>. **ResearcherID:** [ABS-9162-2022](https://orcid.org/0000-0002-9292-4790)

PROBLEMS OF ASSESSING DAMAGE CATEGORIES OF LARGE-PANEL PARTIALLY COLLAPSED BUILDINGS AFTER DYNAMIC AND EXPLOSIVE IMPACTS

The article presents the analysis of the rationality and economic efficiency of strengthening and major repairs of partially destroyed large-panel buildings in accordance with a certain category of damage due to dynamic and impact effects received as a result of hostilities, which is becoming one of the key engineering tasks, which has not only scientific but also great social significance, given the limited application of certain provisions and orders on recognizing large-panel buildings as destroyed in the appropriate category. This problem is related to the issues of public safety, extension of the service life of buildings and economic feasibility of the measures taken. Based on practical and economic feasibility, possible methods and ways of strengthening large-panel buildings for characteristic damage during dynamic and impact effects are analyzed; assessment of the feasibility of reinforcements in the context of partially damaged housing stock of mass housing; economic efficiency when making decisions on complete dismantling and new construction. The economic feasibility of strengthening measures depends significantly on the damage scale. In case of partial destruction, the current standards recommend performing major repairs with local reinforcement and only in case of significant damage, complete dismantling of the building. When performing the assessment for assigning the damage category, the condition of the butt joints of the building panels as part of a single block is not taken into account, therefore, the article proposes an appropriate indicator of integral wear to assign the building to the limit damage category.

Keywords: large-panel buildings; destruction categories; reinforcement methods; major repairs.

Fig.: 2. **Tabl.:** 2. **References:** 9.