

О.О. Калмиков¹, К.О. Бінкевич^{1,2}, Є.О. Паша¹¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна,²ПАТ «ТРЕСТ ЖИТЛОБУД-1», м. Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ ЇХ ПІДСИЛЕННІ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ СТИСНУТОЇ ЗОНИ

Запропоновано метод підсилення перекриттів, що зазнали руйнацій від вибухових впливів. Розглянуто плити перекриття зі значними uszkodженнями: зниження несучої здатності, тріщини в розтягнутій зоні, перевищений нормативний прогин. Запропоновано виконання плити нарощування у стиснутій зоні та об'єднання з існуючою плитою за допомогою анкерів. Моделювання «Ліра САПР» показало відповідність відновленої конструкції нормативним обмеженням.

Ключові слова: панельний будинок, підсилення, відновлення, панель перекриття, розрахунок нарощеної плити перекриття.

Постановка проблеми

Станом на жовтень 2024 року Україна продовжує потерпати від постійних ракетних та артилерійських обстрілів з боку російської федерації не тільки вздовж лінії бойового зіткнення, але й далеко від лінії фронту, внаслідок чого кількість повністю або частково зруйнованих будівель продовжує зростати [1]. Особливо чисельних та складних пошкоджень зазнав житловий фонд, зокрема – багатоповерхові житлові будинки, більшість з яких була зведена в 1980-х рр. за типовими серіями. Це, головним чином, панельні будинки, які мають уніфіковану структуру, що, в свою чергу, дозволяє застосовувати стандартні рішення для відновлення та підсилення їх основних несучих конструкцій. В даній роботі пропонується вдосконалений метод підсилення плоских плит перекриттів, що постраждали від дії вибухових уражень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Підсилення збірних плит перекриттів у багатоповерхових будинках, які зазнали деструкцій внаслідок ракетного чи артилерійського обстрілу, що могли надалі супроводжуватись пожежею, є важливим завданням для відновлення їхньої несучої здатності та подальшої безпечної експлуатації будівлі. Основні методи підсилення залежать від ступеня пошкодження, типу плити, а також конструктивних особливостей будівлі. Зокрема, серед найбільш розповсюджених методів підсилення плит перекриттів можна назвати наступні:

– монтаж додаткових сталевих або

залізобетонних балок;

- наливні або монолітні зміцнюючі шари;
- ін'єктування тріщин;
- попереднє напруження (післянапруження);
- застосування зовнішнього армування з

композитних матеріалів (FRP).

Вибір конкретного методу або їх комбінації залежить від ступеня пошкодження, економічної доцільності та технічних можливостей реалізації на об'єкті. Слід зазначити, що важливим моментом перед виконанням таких робіт є оцінка технічного стану конструкції. У дослідженні Отроша Ю.А. [2] представлено методику оцінки технічного стану будівельних конструкцій житлових будинків під впливом силових та високотемпературних навантажень, яка, спираючись на аналіз технічної та нормативної документації, дозволяє визначити параметри і критерії стану конструкцій та проаналізувати потенційні відмови і пошкодження. Також в статті наведено приклад встановлення технічного стану перекриттів та стін житлової будівлі в м. Києві після пожежі, та надано рекомендації щодо відновлення стін і демонтажу плит перекриттів. В дослідженнях [3,4] висвітлено основні аспекти обстеження та оцінки технічного стану житлових будинків, що постраждали внаслідок військової агресії РФ на території України. Авторами [3] виконано фіксацію дефектів та пошкоджень, виконано перевірочні розрахунки та надано рекомендації щодо підсилення та ремонту основних несучих конструкцій цегляної п'ятиповерхової будівлі. В роботі [4] розглянуто більш складний випадок часткового руйнування 27-поверхового монолітного каркасного будинку. Авторами виконано комплекс робіт, що включав не лише обстеження і виконання перевірочних розрахунків,

але й надання технічних рішень щодо відновлення будівлі з урахуванням часткового демонтажу конструкцій 17-22 поверхів. Слід також згадати статтю [5], присвячену розробці конструктивних рішень з відновлення панельних будинків, пошкоджених внаслідок влучання об'єктів ураження, з використанням технології 3D друку бетоном. Авторами наведено приклад відновлення панельної багатоповерхівки в м. Харкові з використанням вбудованого каркасу, що складається з монолітних колон та поясів.

Що ж стосується дослідження підсилення власне конструкцій перекриттів, то в роботі Скорука О. [6] запропоновано конструктивне рішення з відновлення несучої здатності та деформативності існуючих круглопустотних плит перекриттів виробничої будівлі. Рішення базується на використанні металевих балок, які встановлюються в штробах, що влаштовані в порожнинах вздовж плити, армованої фібробетонної плити зверху та додаткових металевих балках поперечного напрямку, що встановлюються під плитою. Слід зазначити, що подібне рішення не підходить для використання в панельних будинках через малу товщину панелей перекриттів та неможливість установа будь-яких металевих балок підсилення всередині конструкції, а також через обмежену висоту поверхів.

В роботі [7] авторами запропонована методика раціонального проектування сталезалізобетонних конструкцій і елементів перекриттів, яка дозволяє здійснювати підсилення збірних залізобетонних елементів за допомогою сталевих профілів і арматурних каркасів та сіток. Схожі рішення запропоновані авторами у [8] для відбудови п'ятиповерхового житлового будинку в м. Львів, що зазнав пошкоджень внаслідок влучання двох снарядів та подальшого розвитку пожежі. Підсилення пошкоджених круглопустотних плит перекриттів передбачається виконувати шляхом утворення штроб в порожнинах плити та встановлення в них додаткових арматурних каркасів одночасного з влаштуванням зверху плити армованої набетонки.

В статті [9] розглядається проблема зміцнення плити перекриття за рахунок надання їй геометрії похилої оболонки, тобто за допомогою надання плиті будівельного вигину чи зворотного підйому. Авторами представлено уточнений розрахунок плит з будівельним вигином на базі теорії товстих пластин та оболонок.

В останні роки в Україні є тенденція до збільшення кількості дослідницьких робіт, присвячених питанням використання композитних матеріалів не лише для нового будівництва, але й для реконструкції. У дослідженні [10] проведено

порівняльний аналіз підходів до підсилення будівельних конструкцій шляхом зовнішнього армування із застосуванням фіброармованих систем порівняно з традиційним методом із використанням сталевих арматур. У статті наведено приклад дослідження залізобетонних балок в існуючому механічному цеху, де після оцінки їх технічного стану були розроблені конкретні заходи для підсилення з використанням ФАС. За результатами дослідження відзначається, що ФАС є більш ефективними для покращення міцності та довговічності конструкцій при одночасному зниженні ваги додаткових елементів та акцентується увага, що композиційні матеріали дозволяють продовжити експлуатацію конструкцій з мінімальними змінами в архітектурі, а також зменшують час і витрати на ремонт. Також застосування композитів при реконструкції описано в роботі [11].

В багатьох роботах, які висвітлюють питання відновлення пошкоджених будинків внаслідок бойових дій, зазначається, що несучі конструкції в результаті отриманих деструкцій потребують повної заміни без збереження [12].

Серед позначених засобів підсилення конструкцій перекриттів жоден з перерахованих не здатен задовольнити випадок відновлення панельного будинку в повній мірі. Адже використання розвантажувальних елементів зверху або знизу панелі призведе до зменшення висоти приміщення або підняття рівня підлоги, що в умовах обмеженої висоти квартир в панельних будинках є неможливим. Влаштування металевих балок в «тілі» панелі послабить жорсткість будівлі та потребуватиме додаткових заходів із забезпечення жорсткості будівлі в горизонтальному напрямі. Найбільш доцільним варіантом підсилення перекриттів панельних будинків нами ввижається використання армованих набетонки, при забезпеченні їх надійної сумісної роботи з існуючою пошкодженою панеллю.

Мета статті

Метою даної роботи є розробка конструктивного рішення з підсилення деструктованих панелей перекриттів багатоповерхових житлових будинків, що полягає в підборі товщини та армування плити нарощування, а також визначенні перерізів елементів анкерного з'єднання з подальшим чисельним аналізом отриманого конструктиву в середовищі ПК «Ліра САПР», фундованого методом скінчених елементів. Подальше впровадження запропонованого рішення передбачає проектування та реалізацію конструкції на реальних об'єктах в місті Харкові.

Виклад основного матеріалу

На підставі виконаного аналізу запропоновано конструктивне рішення підсилення панелей перекриттів, що полягає у влаштуванні додаткової монолітної залізобетонної плити в стиснутій зоні

зверху існуючої пошкодженої плити [13,14]. Сумісна робота надбетонки та існуючого перекриття забезпечується за допомогою анкерних з'єднань, які сприймають дотичні напруження що виникають в площині між старим і новим бетоном.

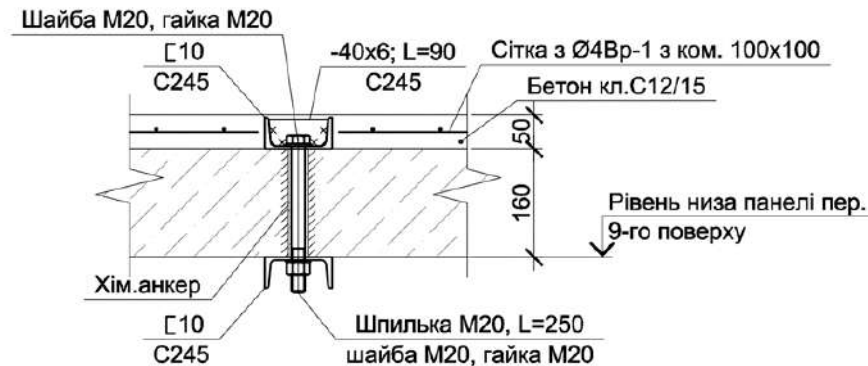


Рис. 1. Пропоноване конструктивне рішення плити нарощування панелі перекриття

Підсилення виконується поетапно. Спочатку, перед основними роботами, існуюча плита розвантажується та піднімається на 10 мм у центральній частині прольоту, що дозволяє розташувати її вище горизонту. Для цього використовують інвентарні розтискні стійки та ригелі. Після розвантаження і вирівнювання плити необхідно зафіксувати отримане положення конструкції та здійснити частковий демонтаж

тимчасових пристроїв. Для цього планується виготовлення композитних елементів (монтажних прогонів), що складаються з бетонного компонента (залізобетонної плити) та конструкційної сталі (прокатних сталевих балок), з'єднаних анкерними елементами, які забезпечують зсувову фіксацію, запобігаючи поздовжньому ковзанню та розшаруванню між компонентами.

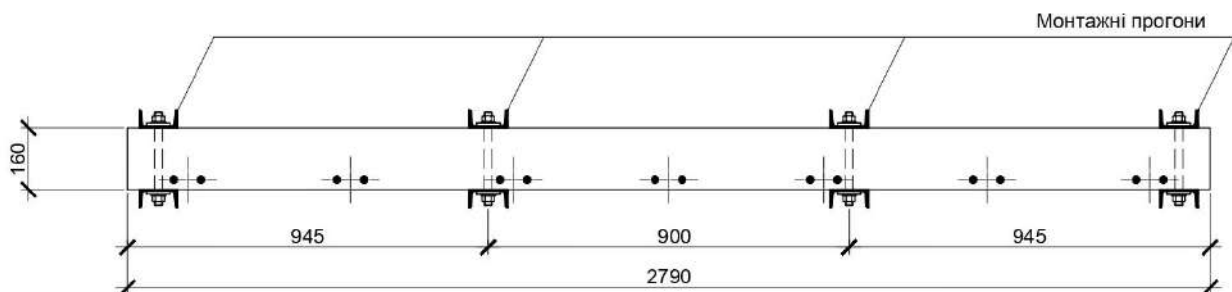


Рис. 2. Влаштування монтажних прогонів

На основі аналізу результатів обстеження багатоповерхових панельних будинків в м. Харкові, для тестування запропонованої конструкції приймаються панелі перекриттів, що мають ступінь пошкодження 1-3 згідно класифікації, наведеної в роботі [14]. Дані категорії передбачають наступні пошкодження: зниження несучої здатності, яке не перевищує 50%; міцність бетону не менше за проектне значення; потемніння від впливу пожежі незначне – до темно рожевого відтінку; захисний шар по кутах плити відколюється на глибину не більше 20 мм; наявні тріщини в розтягнутій зоні плити мають ширину розкриття не більше ніж 2 мм;

максимальний прогин виходить за межі нормативних обмежень.

Як об'єкт впровадження запропонованого рішення обрано дев'ятиповерховий панельний житловий будинок із трьома під'їздами, що розташований за адресою вул. Наталії Ужвій, 64 у Харкові. Внаслідок численних влучань об'єкт зазнав серйозних пошкоджень (Рис. 3): значних руйнувань основних несучих конструкцій у 1-му та 3-му під'їздах на 6–9 поверхах, де пошкоджено як зовнішні, так і внутрішні стінові панелі, плити перекриття та покриття, а також внутрішні перегородки, оздоблення та комунікації. На деяких

ділянках плит перекриття спостерігаються тріщини та уламкові пошкодження, а зовнішні стінові панелі також мають численні уламкові ураження. Загалом будівля зазнала значного руйнування віконного скління та рам, а фасад частково пошкоджено. Споруда була зведена у 1980-х роках за типовим проектом №163, розробленим інститутом «Харківпроект». Несучі стіни мають товщину 160 мм і розташовані з кроком 6 м вздовж повздовжніх осей будівлі, а плити перекриття спираються на них через шар цементно-піщаного розчину та з'єднуються з допомогою закладних деталей і монтажного зварювання.

Результати натурних випробувань бетону пошкоджених плит перекриттів свідчать про відповідність класу міцності бетону характеристикам С16/20. Лабораторне тестування зразків арматури показало, що її властивості відповідають характеристикам арматури А600 на відповідність стандарту ДСТУ 3760-2019 [14]. для 11 секунд

За результатами натурних випробувань бетону пошкоджених плит перекриттів встановлено, що

клас міцності відповідає С16/20. Лабораторне дослідження зразків арматури підтвердило, що властивості арматурної сталі відповідають стандарту арматури А600 згідно з ДСТУ 3760-2019 [14].

В будівлі частково виконано демонтаж обвалених конструкцій до рівня 6 поверху. Схема пошкоджених панелей перекриттів, які можливо відновити без демонтажу, на рівні 8 поверху в 3 під'їзді наведена на рис. 4. За результатами обстеження технічного стану будівлі виявлено, що перекриття має вигляд суцільних збірних залізобетонних панелей заводського виготовлення. Панелі виконані з важкого бетону, мають висоту перерізу 160 мм, габарити в плані 6х3м. Обпирання виконується на два канти. В поперечному напрямку плита армована арматурою Ø5Вр-І з кроком 300 мм. У повздовжньому напрямку армування виконано попередньо напруженою арматурою Ø16А600 (по 2 стрижні) з кроком 420 мм. Втрата несучої здатності плити складає до 50% від проектної.



Рис. 3. Загальний вигляд будівлі після обстрілу

Перший етап розрахунку. Розрахунок монтажних прогонів.

Збір навантажень виконується у відповідності до ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та впливи». Крок розташування прогонів, враховуючи крок робочого армування існуючої панелі перекриття, прийнято 900 мм. Виконання розрахунків монтажних прогонів виконувалось у відповідності до ДБН В.2.3-37641918-553:2013 «Мости та труби. Сталезалізобетонні конструкції». Виконання

розрахунків проведено в середовищі програмного комплексу «Ліра САПР» (ліц. №7293-22).

Необхідна площа додаткового армування розтягнутої зони прямокутного перерізу визначається з умови рівноваги (без врахування додаткового армування в стиснутій зоні) виходячи із залежності:

$$M_y = 0.85R_a F_a h_0 + 0.85R_{ad} F_{ad} h_0, \quad (1)$$

де R_a – зусилля в існуючому армуванні плити;
 F_a – площа існуючого армування плити;
 h_0 – робоча висота перерізу;
 $R_{ад}$ – необхідна площа додаткового армування;
 $F_{ад}$ – зусилля в додатковому армуванні.

З виразу (1) можна визначити необхідну площу додаткового армування в розтягнутій зоні:

$$F_{ад} = M_y - \frac{0.85R_aF_a h_0}{0.85R_{ад} h_0} \quad (2)$$

Згідно виконаних розрахунків, необхідна площа додаткового армування складає 6.4 см², проте в запас, для врахування деформативності та виконання

отворів для анкерних з'єднань, прийнято швелер №10У за ДСТУ 3436-96 [17] з площею поперечного перерізу $F = 10.9 \text{ см}^2$.

Несуча здатність перерізу визначається за формулою:

$$M = R_a F_a (h_0 - 0.5x) + R_{ад} F_{ад} (h_0 + a_0 - 0.5x) > M_y \quad (3)$$

В даному випадку, $M = 45.96 \text{ кНм} > M_y = 34.13 \text{ кНм}$, тобто умова виконана.



Рис. 4. Пошкоджені плити перекриття, що потребують відновлення.

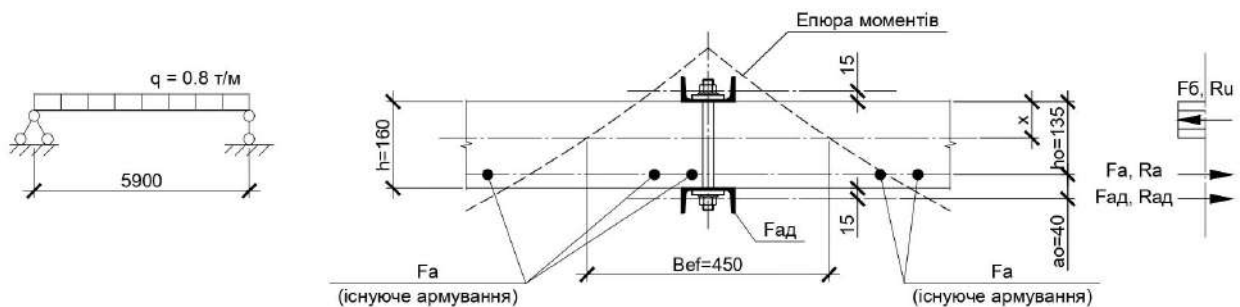


Рис. 5. Розрахункова схема монтажного прогону

За рахунок об'єднання анкерами прогон та існуюча панель перекриття матимуть однакові сумісні деформації, а напруження перерозподіляться пропорційно жорсткостям цих елементів. Кріплення анкерів виконується за допомогою хімічної суміші на основі двокомпонентної епоксидної смоли, якою заповнюється отвір після встановлення сталевого

болта. Конструктивно анкери розташовуються із кроком 500 мм.

Для перерізу, як для умовно пружного елемента, прийнято лінійну залежність між напруженнями та деформаціями. Вплив непружного характеру деформацій бетону враховується за допомогою приведенного модулю деформації, який складає $E_{cd} =$

0.85-20 ГПа = 17 ГПа.

Результати розрахунку, виконані в середовищі

ПК «Ліра САПР» (ліц. №7293-22), наведені на рис. 6-8.

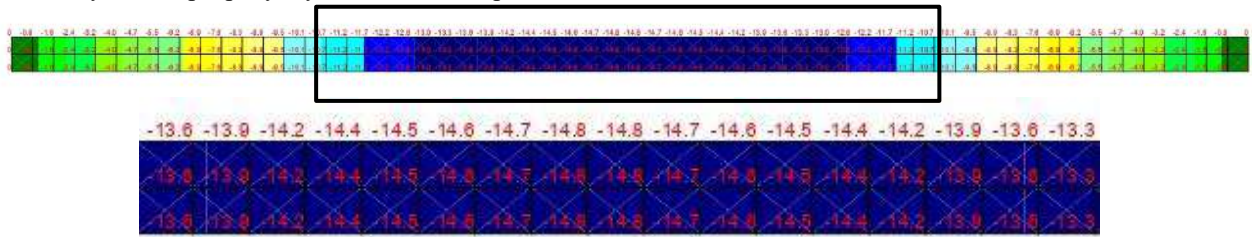


Рис. 6. Вертикальні прогини плити, мм

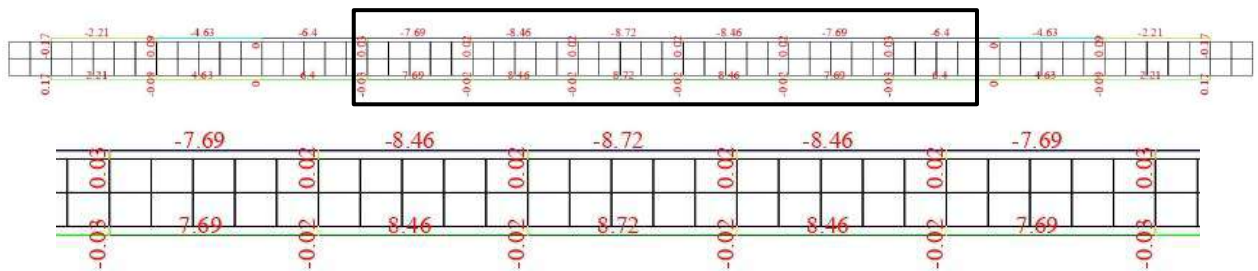


Рис. 7. Зусилля в додаткових елементах конструкції, т

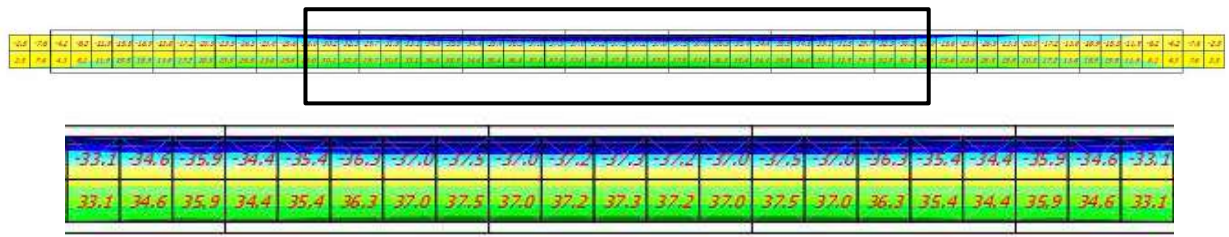


Рис. 8. Напруження в перерізі плити

За результатами розрахунків відзначається, що максимальний прогин не перевищує нормативно допустиме значення, та складає $f = 1.48 \text{ см} < f_i = L/200 = 590/200 = 2.95 \text{ см}$.

Розрахунок анкерного з'єднання

За результатами розрахунків виявлено, що максимальне зсувне зусилля анкерного з'єднання складає $S_N = 2420 \text{ кг}$, а площа перерізу, що буде передавати напруження зсуву на бетон, складає $F_S = 22.3 \text{ см}^2$.

Напруження від місцевої дії зсувних зусиль на бетон складають:

$$\sigma_{\text{міс.}} = 2420/22.3 + 38 = 14.6 \text{ МПа} < f_{\text{ск}} = 150 \text{ МПа.}$$

За допомогою сили тертя T , яка дорівнює зсувному зусиллю і забезпечує сумісну роботу анкера та додаткового армування з коефіцієнтом тертя $f_t = 0.45$, обчислено необхідне внутрішнє зусилля N_6 , яке необхідно створити в анкері:

$$N_6 = 0.9 \cdot \frac{T}{f_t} = 0.9 \cdot \frac{2420}{0.45} = 5980 \text{ кг} = 59.8 \text{ кН.}$$

За вказаним зусиллям підібрано болт М20 класу міцності 8.8 із моментом сухої затяжки 464 Нм.

Додатково переріз розраховано в «Конструкторі перерізів» ПК «Ліра САПР» (ліц. №7293-22) з можливістю нелінійного розрахунку. Для всіх

елементів перерізу обрано 14-й кусочно-лінійний закон деформування. За результатами розрахунку відзначається, що розраховані максимальні нормальні напруження (рис. 9) та прогини не перевищують гранично допустимі.

Другий етап розрахунку. Розрахунок плити нарощування.

Мета розрахунку – визначення необхідної висоти монолітної плити нарощування зверху панелі перекриття таким чином, щоб наявного в панелі армування було достатньо для сприйняття виникаючого розрахункового згинаючого моменту від збільшеного навантаження. Після виконання бетонних робіт та набуття бетоном проектної міцності, нижнє додаткове армування з швелерів №10 можливо демонтувати, а сумісна робота плити нарощування і панелі буде забезпечена хімічними анкерами.

Висоту плити нарощування (d) отримано за згинаючим моментом збільшеного перерізу, вона складає 30 мм. В запас, для врахування деформативності та тріщиностійкості, прийнято висоту нарощування $d = 50 \text{ мм}$. Бетонування слід виконувати важким бетоном на дрібному

заповнювачі (щебінь фракції 10-20 мм).

Для отримання напружень в перерізі плити виконано моделювання та розрахунок в «Конструкторі перерізів» ПК «Ліра САПР» та в ручному режимі.

Повний прогин плити склав $f = 2.6$ см, що не перевищує гранично допустимого прогину $f_i = 2.95$ см.

Згідно розрахунку, максимальний прогин плити

від побутового навантаження складе $f = 0.22$ см. Після проведення робіт з підсилення, значення даного прогину варто перевірити шляхом натурного випробування.

На рис. 10 та 11 наведено поетапне виконання робіт з підсилення пошкоджених панелей перекриттів з використанням запропонованого методу відновлення

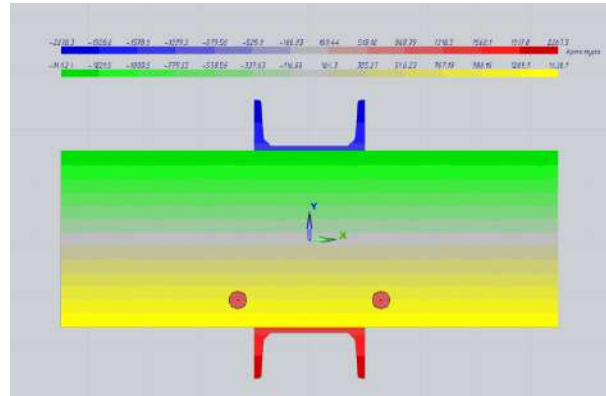
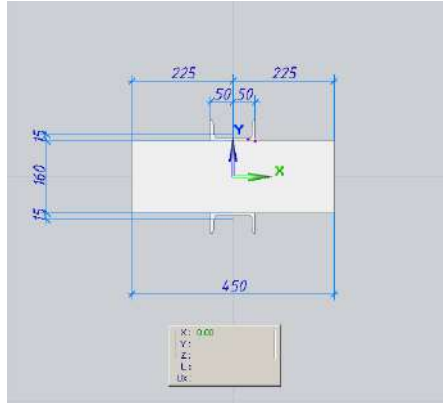


Рис. 9. Поле максимальних нормальних напружень в перерізі

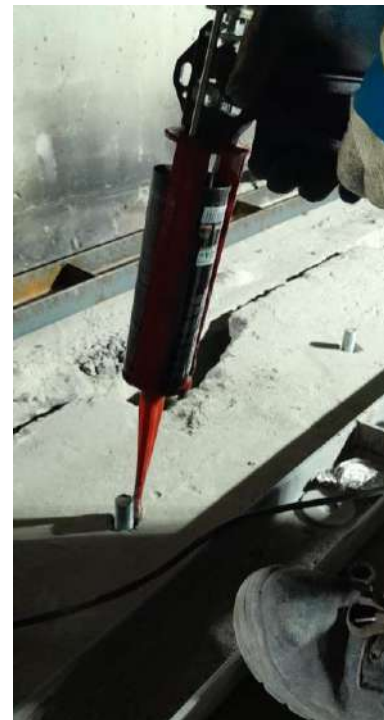


Рис. 10. Загальний вигляд перекриття після першого виконання робіт



Рис. 11. Виконання плити нарощування

Висновки

В роботі наведено конкретний приклад розрахунку та впровадження в практику будівництва пропонованого методу, визначено необхідні атрибути елементів підсилення, такі як необхідну площу армування, мінімально допустиму товщину додаткового бетонного шару, необхідне зусилля в анкерних зв'язках. Чисельні результати розрахунків підтверджують ефективність методу. Зокрема, максимальний прогин плити після підсилення складає 1.48 см, що менше за допустиме значення в 2.95 см. Дані розрахунки демонструють, що запропоноване підсилення забезпечує відповідність конструкції нормативним вимогам міцності та жорсткості, дозволяючи продовжити її безпечну експлуатацію. Запропонований метод підсилення пошкоджених плит перекриттів у панельних будинках є ефективним і доцільним для використання в умовах значних руйнувань, спричинених вибуховими впливами. Рішення, яке полягає в нарощуванні верхньої зони плити із застосуванням залізобетонного шару та анкерного з'єднання, забезпечує сумісну роботу нової та існуючої конструкції.

Література

1. Загальна сума збитків, завдана інфраструктурі України, зросла до майже \$155 млрд — оцінка KSE Institute станом на січень 2024 року (2024). Відтворено з: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-zbitkiv-zavdana-infrastrukturii-ukrayini-zroslo-do-mayzhe-155-mlrd-otsinka-kse-institute-stanom-na-sichen-2024-roku/>.
2. Отрош, Ю. (2017). Оцінка технічного стану стін і перекриттів житлових будинків після пожежі. *Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(46), 212-220. Відтворено з: <https://journals.nupp.edu.ua/znpp/article/view/24>.
3. Табаркевич, Н., Сергійчук, В., Белоконь, А., Табаркевич, О. (2023). Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку, пошкодженого внаслідок військових дій, щодо його придатності до подальшої експлуатації. *Наука та будівництво*, 35(1). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-4>.
4. Лісеній, О., Глуховський, В., Мар'єнков, М., Дубовик, С., Любченко, І., Яковенко, М. (2023). Обстеження, оцінка технічного стану та умови відновлення житлового будинку на проспекті В. Лобановського, 6-А в м. Києві, пошкодженого внаслідок воєнних дій. *Наука та будівництво*, 33(3-4). <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>.
5. Shmukler, V., Reznik, P., Krul, Yu., Volodymyrov, A., Binkevych, K. (2024). Design features of the new system for reconstruction and renovation of large panel buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1376. 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012012>.
6. Скорук, О. (2022). Підсилення конструкцій порожнистих плит перекриття металевими балками та армованим фібробетоном. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (12), 115–125. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.115-125>.
7. Galinska T., Ovsii D., Ovsii O., Ovsii M. (2022) Fundamentals of designing rational (optimal) slab steel-reinforced concrete structures and elements of floors. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 1(58). pp. 55-65.
8. Ilnytskyi, B., Kramarchuk, A., Hladyshch, D., Lytvyniak, O. (2024). The Features of Reconstruction for Floor Slabs of Multistorey Apartment House After Temperature Effects as a Result of Military Operations. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_15.
9. А. М. Смоляр, І. В. Мірошкіна, С. В. Юрченко. Зміцнення елементів перекриття за допомогою будівельного вигину. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2016. Вип. 5. С. 284-291.
10. Руднєва, І., Прядко, І., Прядко, Н., Тонкачєєв, Г. (2020). Особливості та перспективи використання технологій підсилення будівельних конструкцій композиційними матеріалами при реконструкції споруд. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (7), 12–22. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.12-22>.
11. Blikharskyi, Z., Bobalo, T., Kramarchuk, A., Ilnytskyi, B., Vashkevych, R. (2021). Bearing Capacity of Stone Beam Reinforced by GFRP. In: Blikharskyi, Z. (eds) *Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_6.
12. Kramarchuk, A., Ilnytskyi, B., Lytvyniak, O. (2024). Restoration of load-bearing structures in a multi-storey residential building after a fire caused by military operations. *Renowacja konstrukcji nośnych w wielokondygnacyjnym budynku mieszkalnym po pożarze spowodowanym działaniami wojennymi. Budownictwo i Architektura*. 23. 043-053. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.6210>.
13. Калмиков, О., Бінкевич, К. (2024)

Експериментальне встановлення деформативності панелей перекриттів великопанельного житлового будинку після відновлення. Науковий вісник будівництва, 110. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.7>.

14. Бінкевич, К., Володимиров, А., Колчанов, А. (2024). Аналіз деструкцій і методів підсилення збірних залізобетонних панелей перекриттів. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 208. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308565>.

References

1. The total amount of damage caused to Ukraine's infrastructure has grown to almost \$155 billion. KSE Institute estimates as of January 2024. (2024) Retrieved from: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-zroslo-do-mayzhe-155-mlrd-otsinka-kse-institute-stanom-na-sichen-2024-roku/>.
2. Otrosh, Yu. (2017). Technical state estimation of walls and floor slabs of dwellings after a fire. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering, 1(46), 212-220. <https://journals.nupp.edu.ua/znpp/article/view/24>.
3. Tabarkevych, N., Serhiychuk, V., Belokon, A., Tabarkevych, O. (2023). Details of the survey and assessment of the state of residential building damaged due to military actions. Suitability for further operation, Science & Construction. 35 (1). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-4>.
4. Lisenyi, O., Glukhovskiy, V., Maryenkov, M., Dubovik, S., Lyubchenko, I., Yakovenko, M. (2023). Survey, assessment of technical condition and suitability for further operation of the residential building at V. Lobanovsky Avenue, 6-A, Kyiv, which was damaged due to military activities. Science & Construction. 35 (1). <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>.
5. Shmukler, V., Reznik, P., Krul, Yu., Volodymyrov, A., Binkevych, K. (2024). Design features of the new system for reconstruction and renovation of large panel buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1376. 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012012>.
6. Skoruk, O. Reinforcement of cavity floor slab structures with metal beams and reinforced fiber concrete. Building structures. Theory and practice. (12), 115–125. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.115-125>.
7. Galinska T., Ovsii D., Ovsii O., Ovsii M. (2022) Fundamentals of designing rational (optimal) slab steel-reinforced concrete structures and elements of floors. Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 1(58). pp. 55-65.
8. Ilnytskyi, B., Kramarchuk, A., Hladyshch, D., Lytvyniak, O. (2024). The Features of Reconstruction for Floor Slabs of Multistorey Apartment House After Temperature Effects as a Result of Military Operations. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_15.
9. Smolyar, A. Strengthening elements of the overlap by using building bend. Modern technologies and methods of calculations in construction. 2016. Vol. 5. pp. 284-291.
10. Rudnieva, I., Priadko, I., Priadko, N., Tonkacheiev, H. Features and prospects for the use of technologies for strengthening building structures with composite FRP-materials during reconstruction of buildings. Building structures. Theory and practice. (7), 12–22. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.12-22>.
11. Blikharskyi, Z., Bobalo, T., Kramarchuk, A., Ilnytskyi, B., Vashkevych, R. (2021). Bearing Capacity of Stone Beam Reinforced by GFRP. In: Blikharskyi, Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_6.
12. Kramarchuk, A., Ilnytskyi, B., Lytvyniak, O. (2024). Restoration of load-bearing structures in a multi-storey residential building after a fire caused by military operations. Renowacja konstrukcji nośnych w wielokondygnacyjnym budynku mieszkalnym po pożarze spowodowanym działaniami wojennymi. Budownictwo i Architektura. 23. 043-053. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.6210>.
13. Kalmykov, O., Binkevych, K. (2024). Experimental determination of floor panels deformability of a large-panel system building after renovation. Scientific Bulletin of Construction, 110. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.7>.
14. Binkevych, K., Volodymyrov, A., Kolchanov, A. (2024). Analysis of destructions and strengthening methods of precast reinforced concrete floor panels. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport, 208. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308565>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Ватуля, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: КАЛМІКОВ Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.
E-mail – oleg.kalmykov@kname.edu.ua.
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7294-4279>

Автор: БІНКЕВИЧ Костянтин Олександрович, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.
E-mail – kostiantyn.binkevich@kname.edu.ua.
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5112-9870>

Автор: ПАША Єгор Олександрович, магістрант за спеціальністю 192 – будівництво та цивільна інженерія Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.
E-mail – iegor.pasha@kname.edu.ua.
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7294-4279>

THE SPECIFICS OF THE CALCULATION OF FLOOR SLABS WHEN REINFORCING THEM BY INCREASING THE COMPRESSED ZONE

O. Kalmykov¹, K. Binkevych^{1,2}, E. Pasha¹

¹ O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

² PJSC «TRUST ZHYTLOBUD-1»

The article addresses the development of an advanced method for reinforcing damaged floor slabs in multi-story panel buildings, primarily focusing on those affected by explosive impacts during military conflicts. Such damages include a loss of up to 50% of the load-bearing capacity, visible cracks up to 2 mm wide in the tension zone, and excessive deflections beyond normative limits. The proposed reinforcement method involves the addition of a monolithic concrete layer to the compressed zone of the existing slab, achieved using chemical anchors to ensure composite action. Numerical modeling in "LIRA-SAPR" demonstrates that the restored slabs meet the required structural performance standards. The article comprehensively reviews existing reinforcement techniques, including the use of steel or concrete beams, fiber-reinforced polymer (FRP) overlays, and pre-stressing methods, and evaluates their applicability to panel buildings. The limitations of these methods in height-constrained apartments and the challenges of implementing internal steel reinforcements are discussed. The authors propose a novel solution tailored to the unique characteristics of panel buildings, emphasizing the compatibility of the reinforced slab and the existing structure.

Key aspects of the study include determining the optimal thickness and reinforcement layout of the additional slab and designing the anchor connections for effective stress transfer. The practical implementation of the proposed method is illustrated through a case study of a heavily damaged residential building in Kharkiv, which suffered significant structural failures due to missile impacts. The analysis incorporates finite element modeling, material property assessments, and compliance with Ukrainian construction norms.

Results indicate that the maximum deflection of the reinforced slab is significantly reduced to 1.48 cm, well below the allowable limit of 2.95 cm, ensuring both safety and serviceability. The proposed method offers a cost-effective and technically feasible solution for the rehabilitation of damaged residential infrastructure, facilitating the restoration of structural integrity and extending the service life of panel buildings.

Keywords: panel building, reinforcement, restoration, floor slab, calculation of reinforced floor slab.