

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ В УМОВАХ ЗБІЛЬШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано оцінку технічного стану залізобетонного перекриття реальної житлової будівлі в умовах збільшення експлуатаційних навантажень. Проведено візуальне та інструментальне обстеження багатопорожнистої попередньо напруженої плити перекриття, за результатами якого виявлено надмірні прогини та залишкові деформації конструкції. Виконано моделювання напружено-деформованого стану плити з оцінкою несучої здатності за нормальними і похилими перерізами з урахуванням фактичних навантажень та технічного стану конструкції. При моделюванні встановлено, що внаслідок будівельних помилок, здійснених при улаштуванні теплої підлоги над плитами перекриття, яка виявилася занадто масивною, спостерігається перевищення розрахункових напружень у небезпечних перерізах плити над допустимими значеннями. Це свідчить про аварійний технічний стан перекриття та необхідність виконання невідкладних заходів щодо підсилення або розвантаження конструкції. Запропоновано застосування систем зовнішнього композитного армування на основі карбонового волокна як ефективного способу відновлення несучої здатності перекриття.

Ключові слова: технічний стан, залізобетонне перекриття, багатопорожнисті плити, несуча здатність, прогини, деформації, перевантаження конструкції, підсилення, карбонове волокно, композитне армування.

Abstract

This study evaluates the technical condition of a reinforced concrete floor slab in a real residential building under conditions of increasing operational loads. A visual and instrumental inspection of the multi-hollow prestressed floor slab was conducted, the results of which revealed excessive deflections and residual deformations of the structure. A simulation of the stress-strain state of the slab have been performed, including an assessment of the load-bearing capacity for normal and inclined sections, taking into account the actual loads and the technical condition of the structure. The simulation revealed that, due to construction errors made during the installation of the underfloor heating system above the floor slabs, which proved to be excessively massive, the calculated stresses in the critical sections of the slab exceed the permissible values. This indicates an emergency technical condition of the floor structure and the need for immediate measures to strengthen or unload the structure. It was established that the design forces exceed the allowable values, indicating the critical technical condition of the floor slab and the need for urgent measures to reinforce or unload the structure. The use of external composite reinforcement systems based on carbon fiber is proposed as an effective method for restoring the load-bearing capacity of the floor slab.

Keywords: technical condition, reinforced concrete floor structure, hollow-core slabs, load-bearing capacity, deflections, deformations, structural overload, reinforcement, carbon fiber, composite reinforcement.

Вступ

У сучасних умовах експлуатації житлових будівель спостерігається тенденція до збільшення навантажень на існуючі несучі конструкції, зокрема перекриття та покриття. Це пов'язано зі зміною функціонального призначення приміщень, переплануванням, встановленням додаткового обладнання, а також підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик будівель [1 – 3].

Залізобетонні плити перекриття є одним із основних несучих елементів будівельних конструкцій, які сприймають постійні та тимчасові навантаження і передають їх на вертикальні несучі елементи. Порушення їхньої несучої здатності або експлуатація в умовах перевантаження може призводити до розвитку деформацій, тріщиноутворення, зниження жорсткості та, у аварійних випадках, до втрати несучої здатності конструкції [5].

У зв'язку з цим актуальним є питання своєчасної оцінки технічного стану залізобетонних перекриттів, які експлуатуються в умовах збільшених навантажень, з метою виявлення дефектів, визначення фактичної роботи конструкції та встановлення необхідності її підсилення.

Результати дослідження

Дослідження стану перекриття проводилися на прикладі житлової будівлі, розташованої у приватному секторі міста Вінниці. Будівля безкаркасна, двоповерхова з підвалом, із зовнішнім та внутрішніми несучими стінами та залізобетонними перекриттями. Об'єктом дослідження є залізобетонне перекриття будівлі, виконане із багатопустотних попередньо напружених плит типу ПБ 63.12.8, виготовлених за екструзійною технологією (рис. 1).



Рис. 1 – Залізобетонна перекриття будівлі з екструзійних багатопустотних плит

Будівля експлуатується в умовах зміни навантажень, що пов'язано з переплануванням приміщень та збільшенням експлуатаційних впливів на перекриття внаслідок зведення масивної підлоги, в якій прокладається система опалення. Довжина плит перекриття становить 6,3 м, ширина — 1,2 та 1,5 м. У подальшому моделювання виконано для плит шириною 1,2 м (рис. 2).

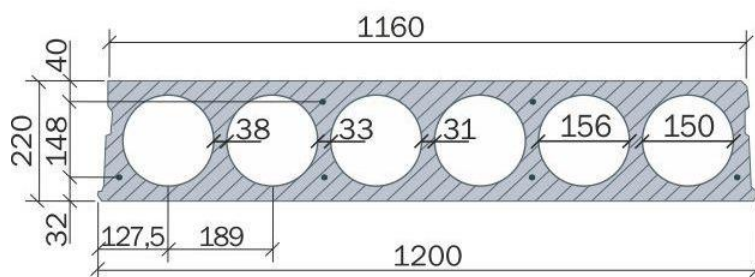


Рис. 2 – Схема перерізу плити ПБ 63.12.8

Візуальне обстеження конструкції виконувалося з метою виявлення дефектів, оцінки фактичного напружено-деформованого стану залізобетонного перекриття та попереднього встановлення ознак перевантаження за методикою [1, 3]. Обстеження проводилось із застосуванням інструментальних вимірювань. При обмірах встановлено, що розрахунковий проліт плити становить 6,095 м.

Під час проведення візуального огляду перекриттів були зафіксовані надмірні прогини окремих плит, у порівнянні із граничними значеннями, зазначеними у нормативі [4], які проявляються у вигляді нерівностей поверхні стелі із значним відхиленням від теоретичної горизонтальної площини. Деформації мають плавний характер і найбільш виражені в середній частині прольоту, що є характерною ознакою роботи плити на згин при перевищенні експлуатаційних навантажень (рис.3).



Рис. 3 – Надмірний прогин залізо-бетонної плити перекриття

Для уточнення величини прогинів виконано інструментальні вимірювання із застосуванням лазерного рівня (нівеліра) та вимірювальної рейки. Вимірювання проводились шляхом створення умовної горизонтальної базової площини за допомогою лазерного променя з подальшим визначенням відхилень поверхні плити у характерних точках прольоту (опори, третини прольоту, центр). За результатами вимірювань встановлено, що максимальні відхилення від горизонтальної площини зафіксовані в центральній зоні плити. Прогини визначались як різниця між відмітками опорних ділянок та середини прольоту.

Отримані результати свідчать про наявність залишкових деформацій, які перевищують допустимі експлуатаційні значення для даного типу конструкцій. Характер прогинів є незворотним, що може вказувати на втрату частини пружної роботи плити та перехід конструкції у стадію часткового тріщиноутворення бетону в розтягнутій зоні.

Інженерні розрахунки залізобетонного перекриття виконувались з метою оцінки його фактичної несучої здатності та перевірки роботи конструкції в нормальних і похилих перерізах з урахуванням виявлених під час обстеження дефектів та збільшених експлуатаційних навантажень. Розрахункова схема плити приймалась відповідно до фактичних умов опирання як еквівалентна однопролітна балка, що працює на згин під дією рівномірно розподіленого навантаження.

На першому етапі виконано збір навантажень, який включав визначення постійних та тимчасових складових. До постійних навантажень віднесено власну вагу залізобетонної плити, вагу конструктивних шарів підлоги (стяжка, гідроізоляція, покриття), а також умовне навантаження від перегородок. Тимчасове навантаження приймалось відповідно до функціонального призначення приміщення та враховувало експлуатаційні впливи від людей, меблів та обладнання. Сумарне нормативне навантаження визначалось як сума постійної та тимчасової складових із подальшим введенням коефіцієнтів надійності для отримання розрахункового значення. Повний розрахунковий тиск, враховуючи постійні та тимчасові впливи на конструкції плити склав 15,3 кПа, експлуатаційний тиск – 12 кПа. Водночас, згідно з маркуванням, плита може витримувати навантаження до 8 кПа.

При моделюванні напружено-деформованого стану встановлено максимальні значення згинального моменту та поперечної сили у одній плиті від розрахункових навантажень, $M_p = 82,37$ кН·м, $Q_p = 54,06$ кН. Згинальний момент від експлуатаційних навантажень, $M_e = 64,63$ кН·м; експлуатаційне значення поперечної сили – $Q_e = 42,42$ кН.

Розрахунок міцності за нормальними перерізами виконувався на дію згинального моменту за аналітичною методикою, запропонованою у джерелах [8 – 10]. Граничне значення моменту визначалося для найбільш небезпечного перерізу в середині прольоту. Отримане значення моменту порівнювалось із розрахунковою несучою здатністю залізобетонного перерізу, яка визначалась з урахуванням фактичних геометричних параметрів плити, класу бетону та характеристик робочої арматури, визначених при

обстеженні. Оскільки при обчисленнях було встановлено, що стиснута зона бетону знаходиться в умовній полиці приведенного таврового перерізу плити ($x_1 = 18,1 \text{ мм} < h_{\text{eff}} = 40 \text{ мм}$), граничний згинальний момент було обчислено за виразом (1).

$$M_u = A_s \cdot f_{pd} \cdot \left(d - \frac{x_1 \cdot (1 + \lambda + \lambda^2)}{3 \cdot (\lambda + 1)} \right) [\text{кН} \cdot \text{м}] \quad (1)$$

В результаті обчислень встановлено, що $M_u = 41.38 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Оскільки $M_u = 41.38 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_p = 82.37 \text{ кН} \cdot \text{м}$, умову міцності нормального перерізу плити не виконано, коефіцієнт використання перерізу $\alpha = 1.99 > 1$. Результати перевірки показали, що розрахунковий згинальний момент перевищує граничну несучу здатність перерізу, що свідчить про недостатню міцність конструкції в зоні розтягу. Це підтверджує непридатний до нормальної експлуатації стан конструкції плити за перевантаженою канатною арматурою.

Окрім цього, $M_u = 41.38 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_e = 64.63 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (згинальний момент від експлуатаційних впливів). Проявляться ознаки аварійного стану. І, нарешті, оскільки $M_u = 41.38 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{\text{пост.е}} = 54.09 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (згинальний момент від експлуатаційних постійних впливів), плита вимагає негайного підсилення або розвантаження.

Також було виконано перевірку міцності за похилими перерізами на дію поперечної сили. Максимальна поперечна сила визначалась у приопорних зонах плити. Перевірка здійснювалась за алгоритмом, наведеним у [8 – 10], шляхом порівняння розрахункового зусилля з несучою здатністю бетону за відсутності поперечного армування, яке технологічно неможливе при екструзійній технології формування, за функціональними виразами (2) та (3).

$$V_{Rd,c} = \left[c_{Rd,c} \cdot k(100\rho_L \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d, [\text{кН}] \quad (2)$$

$$V_{Rd,c} = \left[V_{\text{min}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d, [\text{кН}] \quad (3)$$

В результаті обчислень встановлено, що $V_{Rd,c} = 45,80 \text{ кН}$. Оскільки $V_{ed} = 54,06 \text{ кН} > V_{Rd,c} = 45,8 \text{ кН}$, умову міцності за похилими перерізами не виконано. $\alpha = V_{ed} / V_{Rd,c} = 54.06 / 45.8 = 1.18$. Отримані результати розрахунку свідчать про перевищення розрахункової поперечної сили над несучою здатністю плити за похилими перерізами на 18%. Оскільки пустотна плита перекриття екструзійного виготовлення конструктивно не передбачає наявності поперечного армування, внаслідок чого її несуча здатність за дією поперечних сил обмежена.

У зв'язку з перевищенням граничних значень поперечної сили та недостатньою несучою здатністю похилих перерізів подальша експлуатація конструкції без виконання відповідних інженерних заходів з підсилення або розвантаження є недопустимою.

Отримані результати інженерних розрахунків у поєднанні з даними візуального та інструментального обстежень свідчать про те, що залізобетонне перекриття працює в умовах суттєвого перевищення навантажень. У процесі перевірки встановлено недостатню несучу здатність конструкції як у нормальних, так і в похилих перерізах. Розрахункові зусилля перевищують допустимі значення, що підтверджується наявністю надмірних прогинів та значних залишкових деформацій плити перекриття.

Під час візуального обстеження конструкції ознак понаднормативного тріщиноутворення виявлено не було, однак зафіксовано суттєві відхилення поверхні перекриття від горизонтальної площини. Максимальні прогини спостерігаються в центральній частині прольоту та мають сталий характер, що свідчить про втрату необхідної жорсткості конструкції та її роботу в перенапруженому стані. Встановлено, також, що фактичні навантаження перевищують несучу здатність плити перекриття. Перевірка нормальних перерізів показала недостатній запас міцності за згинальними моментами, а перевірка похилих перерізів підтвердила наближення конструкції до граничного стану за дією поперечних сил.

Таким чином, технічний стан залізобетонного перекриття оцінюється як аварійний. Подальша експлуатація конструкції без виконання відповідних інженерних заходів є недопустимою, оскільки може призвести до подальшого збільшення деформацій та втрати несучої здатності перекриття.

У зв'язку з цим необхідним є виконання комплексу невідкладних заходів щодо забезпечення безпечної експлуатації перекриття будівлі. Розвантаження шляхом розбирання конструкцій підлоги, виготовленої з монолітного бетону, є занадто трудомістким. Тому необхідне підсилення конструкцій.

Висновки

У результаті проведеного візуального обстеження та інженерних розрахунків виконано оцінку технічного стану залізобетонного перекриття на прикладі реальної житлової будівлі в умовах збільшення експлуатаційних навантажень. Під час обстеження встановлено наявність надмірних прогинів та залишкових деформацій плити перекриття, що свідчить про зниження жорсткості конструкції та її роботу в перенапруженому стані. Інструментальні вимірювання підтвердили значні відхилення поверхні перекриття від горизонтальної площини. На основі отриманих геометричних параметрів та фактичних навантажень виконано моделювання напружено-деформованого стану та розрахунок несучої здатності плити за нормальними і похилими перерізами. Результати розрахунків показали перевищення розрахункових зусиль над допустимими значеннями, що свідчить про недостатню несучу здатність перекриття в існуючих умовах експлуатації.

Для забезпечення безпечної експлуатації будівлі необхідним є виконання комплексу невідкладних заходів, спрямованих на зменшення навантаження на перекриття або відновлення його несучої здатності. Вибір способу підсилення повинен здійснюватися з урахуванням фактичного технічного стану плити, величини перевантаження, умов експлуатації будівлі та архітектурно-планувальних обмежень приміщення. Одним із найбільш ефективних сучасних способів підсилення залізобетонних перекриттів є застосування систем зовнішнього композитного армування на основі карбонового волокна. Даний метод дозволяє збільшити несучу здатність конструкції без суттєвого збільшення власної ваги перекриття та без зміни геометричних параметрів приміщення.

Технологія підсилення передбачає приклеювання карбонових тканин до нижньої розтягнутої зони тимчасово розвантажених плит за допомогою спеціальних епоксидних клеїв. На припорних ділянках рекомендується використання додаткових армуючих стрічок. Композитні елементи сприймають частину розтягуючих зусиль, що дозволяє збільшити міцність, зменшити деформації та підвищити загальну жорсткість конструкції. Завдяки високій міцності карбонового волокна на розтяг забезпечується ефективне підсилення навіть при незначній товщині армувального шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 9237:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-01-09]. [На заміну ДСТУ-Н Б.В.1.2-18:2016]. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДЦ, 2024. 74 с. (Національний стандарт України).
2. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд зі зміною 1. К.: МінРеґіонБуд України, 2022. 37 с. (Державні будівельні норми України).
3. Клименко Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навчальний посібник. – К., 2004. – 304 с.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. [На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85]. К.: Мінбуд України, 2006. 10 с. (Національний стандарт України).
5. Попов В.О. Інженерний досвід інструментального обстеження аварійних залізобетонних ребристих плит покриття виробничої будівлі / В.О. Попов, І.О. Чорна, Т. С. Мицик / Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025) – Електрон. текст. дані. – 2025. С. 1891 – 1895. Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/914/1598/2915-1>
6. Попов В.О. Досвід підсилення залізобетонних плит покриття зруйнованих внаслідок дії поперечних сил / О.В. Войцехівський, В.О. Попов, Г.О. Войцехівський / Матеріали міжнародної наукової конференції Build Master Class-2025 26.11-28.11.2025 in Kyiv National University of Construction and Architecture Ukraine, Kyiv, Povitrianykh Syl ave. 31 – Електрон. текст. дані. 2025. С. 191 – 193. Режим доступу: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/37/BMC-2025.pdf>
7. Попов В.О. Моделювання напружено-деформованого стану компактних сталевих балочних конструкцій для раціонального підсилення аварійних залізобетонних ребристих плит покриття / В.О. Попов, Д.М. Байда, А.В. Попова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2024-2. С. 17 - 25. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-17-25>
8. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. К.: МінРеґіонБуд України, 2009. (Державні будівельні норми України).
9. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінбуд України, 2010. (Національний стандарт України).
10. Войцехівський О.В., Журавський О.Д., Попов В.О. В65 Основи проектування елементів залізобетонного каркасу багатоповерхової будівлі. Курсове та дипломне проектування. Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2018, - 191 с.

Попов Володимир Олексійович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Повзун Анастасія Євгенівна — студентка кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: povzunnanya@gmail.com. ORCID 0009-0000-8067-9700

Popov Vladimir O. — Ph.D. Assistant Professor of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Povzun Anastasiya Y. — student of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: povzunnanya@gmail.com. ORCID 0009-0000-8067-9700