

ПРАКТИЧНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МОНОЛІТНИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ, ПІДСИЛЕНИХ СТАЛЕВИМИ БАЛКАМИ

Шапоренко Ю.І., к.т.н., с.н.с.,

shapory@ukr.net, ORCID: 0009-0009-7356-6906

ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

вул. Преображенська, 5/2, Київ, 03037, Україна

Анотація. Розглянуто метод підсилення монолітних залізобетонних плит перекриттів сталевими балками в нижній зоні. З кінця 1990-х років і по теперішній час житлове і цивільне будівництво в нашій країні базується на монолітно-каркасній технології де переважно застосовуються плоскі плити перекриття. Перекриття найчастіше потребують підсилення в наслідок пошкоджень, викликаних різними причинами або при зміні архітектурно-планувальних рішень. Підсилення таких перекриттів сталевими балками у будівельній практиці застосовується досить часто, особливо у випадках, коли не можливо виконати повне розвантаження конструкції перекриття. Конструктивні рішення такого методу підсилення напрацьовані давно і мають досить багато варіацій. Однак, якщо проаналізувати нормативну базу в сфері реконструкції і підсилення, то можна виявити певну недостачу розрахункових методів для аналізу підсилених конструкцій. Перекриття в системі монолітного каркасу є багатократно статично-невизначеною конструкцією, тому його адекватний розрахунок без застосування сучасних програмних комплексів навряд чи можливий.

Виконано огляд чинної нормативної бази в сфері реконструкції і підсилення. Розглянуто ряд публікацій в фахових виданнях, присвячених цій темі і розрахунковим підходам при проєктуванні підсилень. Проаналізовано конструктивні особливості підсилення розвантажувальними балками. Запропоновано практичну методику розрахунку монолітних плит перекриттів, підсилених балками в нижній зоні за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР. Методика базується на врахуванні початкового деформованого стану плити перекриття. Розрахунок ведеться кроково-ітераційним методом з врахуванням фізично-нелінійних властивостей залізобетону і життєвого циклу конструкції. Особливу увагу приділено методиці моделювання зони контакту «плита-балка підсилення». Зона контакту моделюється за допомогою односторонніх в'язей, які сприймають тільки зусилля стиску.

Наведений алгоритм розрахунку апробований автором при проєктуванні багатьох об'єктів, які були реалізовані і успішно експлуатуються вже тривалий час.

Ключові слова. Плита перекриття, балка підсилення, модель, розрахунок.

Вступ. В Україні експлуатується значна кількість будинків з монолітними з.б. плитами перекриттів. Необхідність підсилення таких конструкцій в практиці проєктування і будівництва виникає дуже часто. Перекриття найчастіше потребують підсилення в наслідок пошкоджень, викликаних різними причинами або при зміні архітектурно-планувальних рішень (збільшення навантажень, необхідність виконання отворів під нові комунікації і т.п.). Повномасштабна війна ще більше загострила це питання. Виходячи з цього, очевидно, що розробка практичних методів розрахунку підсилених конструкцій з застосуванням доступних програмних комплексів є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукова спільнота будівельної галузі України завжди приділяла значну увагу питанню підсилення і відновлення конструкцій. В роботах [1, 2] виконано ретельне узагальнення минулого досвіду конструювання і розрахунків підсилення залізобетонних конструкцій. Регулярно видаються навчальні посібники [3-5]. У фахових виданнях публікуються та узагальнюються результати експериментальних досліджень різних типів підсилення [6-8]. Науковці розробляють

оригінальні методи розрахунку підсиленних конструкцій в тому числі і з застосуванням різних програмних комплексів [9-13]. Впроваджуються ефективні рішення для ремонту і повної заміни конструкцій, пошкоджених в наслідок агресії російської федерації [14].

Нормативна база України в частині реконструкції, ремонту і підсилення конструкцій представлена ДСТУ [15], частково ДБН [16, с.35-37], котрі встановлюють загальні вимоги до проектування і виконання підсилення конструкцій і основ. Технічний стан конструкцій визначається згідно ДСТУ [17]. Розрахунки конструкцій за граничними станами мають виконуватися за загальними правилами згідно ДБН [18, 19]. Навантаження та впливи визначаються за вказівками ДБН [20, 21]. Допустимі прогини і переміщення регламентовано ДСТУ [22]. З іноземних нормативних джерел варто відзначити стандарт США АСІ 562 [23], який був розроблений для інтеграції з загальними будівельними нормами. В Європі за відсутності спеціалізованого стандарту застосовуються EN 1990 [24]. Практично всі згадані нормативи в сфері підсилення містять одну спільну рису – методологія розрахунків в них регламентується в досить стислому обсязі, акцент зроблено на загальні вимоги. Такий підхід надає фахівцям-проектувальникам можливість проявити креативність та гнучкість у процесі оцінки та проектування підсилення, забезпечуючи при цьому необхідний рівень надійності конструкцій.

Мета та завдання. Розробка практичної методики розрахунку монолітних з.б. плит перекриттів, підсиленних сталевими балками в нижній зоні з застосуванням ПК ЛІРА-САПР.

Матеріали та методи дослідження. Аналіз нормативної бази та спеціалізованої літератури в сфері підсилення залізобетонних конструкцій. Побудова розрахункових скінчено-елементних моделей конструкцій, аналіз результатів розрахунків.

Результати дослідження. Підсилення з.б. перекриттів підведенням знизу розвантажувальних металевих балок є, напевно, найпоширенішим і найпростішим технічним рішенням. Найчастіше використовуються прокатні двотаври та коробчасті перерізи зі швелерів (рис. 1). Конструкція балки може виконуватись як з додатковими тяжами так і без них. Рішення без тяжів є кращим з точки зору менших габаритів перерізу і відсутності додаткових пошкоджень плити отворами під тяжі. Балки можуть опиратися безпосередньо на вертикальні елементи каркасу або на інші металеві балки (створюється балкова клітина). Опорні вузли балок найчастіше виконуються шарнірними, за допомогою механічних або хімічних анкерів (рис. 1, в). Створення жорстких опорних вузлів балок підсилення, як правило ускладнене і на практиці реалізується не часто.

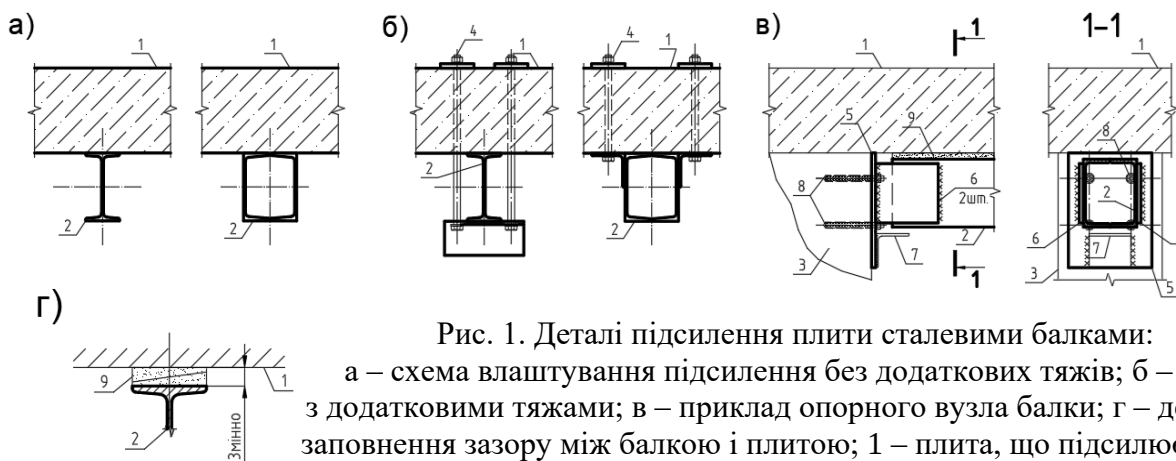


Рис. 1. Деталі підсилення плити сталевими балками:

- а – схема влаштування підсилення без додаткових тяжів; б – те ж, з додатковими тяжами; в – приклад опорного вузла балки; г – деталь заповнення зазору між балкою і плитою; 1 – плита, що підсилюється; 2 – балка підсилення; 3 – вертикальні елементи каркасу; 4 – додаткові тяжі; 5, 6 – опорні пластини; 7 – монтажний столик; 8 – анкери; 9 – заповнення зазору (ц.п. розчин та сталеві клини)

На першому етапі, балка підсилення має бути щільно притиснута до низу плити за допомогою домкратів (рис. 2, а). При цьому, щільний контакт між плитою і балкою існуватиме тільки в деякій зоні в середині прольоту (рис. 2, б). Поза цією зоною завжди

виникатиме зазор, який заповнюється ц.п. розчином. За необхідності в зазорі можуть бути розміщені елементи розклинювання верхнього поясу балки.

При розробці схеми розташування балок підсилення слід узгоджувати її з архітектурно-планувальними рішеннями (розташовувати балки над перегородками). Це дозволяє покращити естетичний вигляд об'єкта і підвищує вогнестійкість балки. В будь-якому випадку, відкриті поверхні сталевих балок мають бути захищені вогнезахисним покриттям.

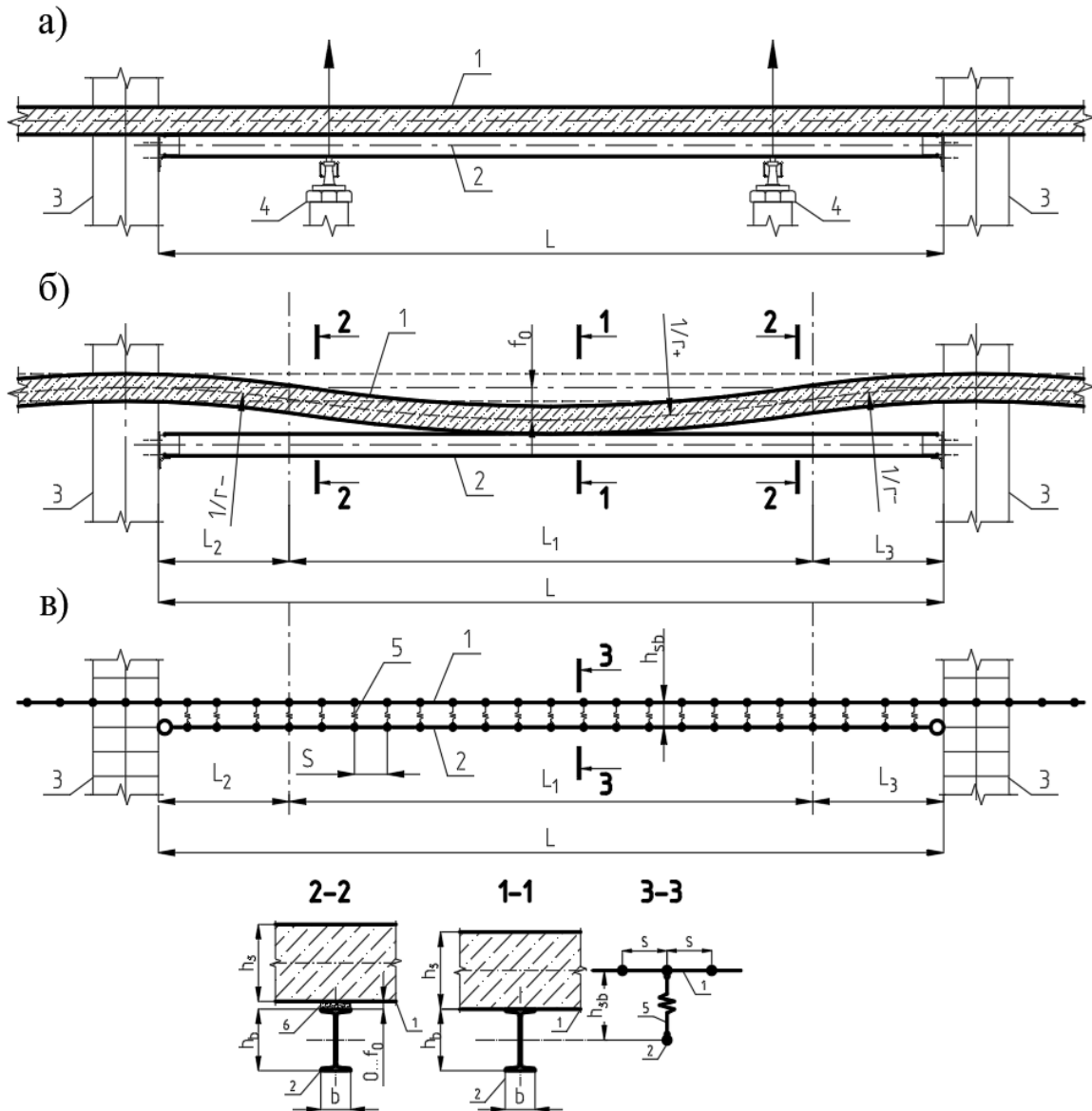


Рис. 2. До складання розрахункової схеми: а – схема влаштування підсилення плити балкою; б – те ж, з гіпертрофованими для наочності деформаціями плити; в – скінчено-елементна інтерпретація схеми; 1 – плита, що підсилюється; 2 – балка підсилення; 3 – вертикальні елементи каркасу; 4 – монтажні домкрати; 5 – односторонні в'язі стиску; 6 – заповнення зазору; L – розрахунковий проліт; L_1 – довжина зони додатної кривизни; L_2 , L_3 – довжини зон від'ємної кривизни; f_0 – початковий прогин плити на момент підсилення; h_s – товщина плити; h_b – ширина балки; h_{sb} – розрахункова висота посиленої конструкції в скінчено-елементній моделі; s – крок триангуляції моделі

Методика розрахунку, яка пропонується в даній роботі, розроблена для балок без додаткових тяжів (рис. 1, а) і базується на таких основних засадах. На момент підсилення плита перекриття вже отримала певні прогини f_0 (рис. 2, б). На практиці, як правило (але не завжди), може бути знята частина впливу на плиту від ваги перегородок, підлог і, зрозуміло,

тимчасових навантажень. Прогин від власної ваги плити при більш-менш значних прольотах компенсувати досить складно. В такому випадку, деформована поверхня плити характеризується наявністю зон L_1 додатної кривизни в прольотах і зон L_2, L_3 від'ємної кривизни поблизу опор. В зоні L_1 спільна робота плити і балки підсилення забезпечується силами тертя і має односторонній характер (стиск). В зонах L_2, L_3 спільна робота без додаткових конструктивних заходів неможлива. Підсилення включається в роботу відразу після закріплення балки на опорах і демонтажу монтажних домкратів.

ПК ЛІРА-САПР надає можливість моделювати спільну роботу плити і балки через односторонні в'язі. В бібліотеці скінчених елементів комплексу присутні відповідні елементи, коректність застосування яких теоретично обґрунтована [25]. При кроково-ітераційному розрахунку в'язі, в яких виникає розтяг, автоматично виключаються з розрахунку.

Основні етапи розрахунку продемонструємо на реальному прикладі з власної інженерної практики.

1. *Вихідні дані.* Прийнято рішення перепрофілювати ділянку 3-поверхової стилобатної частини під ТРЦ. Конструкції каркасу вже побудовані. Переважний крок колон 8.4×8.4 м, перерізи колон 500×500 і 600×600 мм, товщина плити перекриття 300 мм, плита безбалкова і безкапітельна. Поставлена задача: виконати нові прорізи в перекритті по нових об'ємно-планувальних рішеннях (рис. 3). Прорізи мають виконуватися дисковою пилкою, безударним методом. Робоча документація на виконані конструкції в наявності, армування відоме, клас бетону конструкцій відповідає проекту (С25/30).

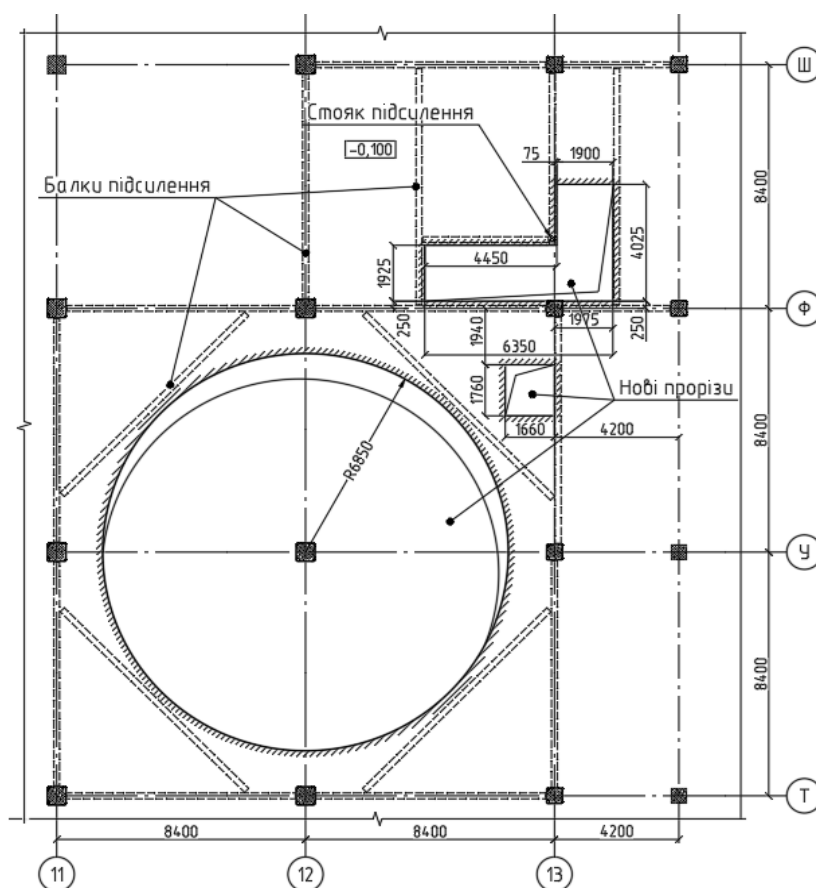


Рис. 3. Фрагмент конструктивного плану з новими прорізами у перекритті і балками підсилення

2. *Формування розрахункової моделі.* Розрахунок виконуємо в ПК ЛІРА-САПР в фізично-нелінійній постановці. Загальний вигляд розрахункової моделі наведено на рис. 4. Переважний крок триангуляції плити $S=200$ мм. Колони каркасу змодельовані скінченим

елементом (далі СЕ) типу 210 – фізично-нелінійний стержень; плита перекриття моделюється СЕ типу 242 і 244 – трикутні та чотирикутні фізично-нелінійні елементи оболонки. Зона контакту між плитою перекриття і сталеву балкою моделюється СЕ типу 262 – пружна одностороння в'язь. Щодо моделювання сталевих балок то в ПК ЛІРА-САПР для стандартних прокатних профілів не передбачена можливість врахування фізичної нелінійності, тому балки підсилення моделюються лінійним СЕ типу 10. На перший погляд використання лінійних елементів в кроково-ітераційному розрахунку видається не коректним. Однак, якщо виконати тестові розрахунки з фізично-нелінійними СЕ типу 210 і перерізом, що відповідає стандартному прокатному профілю, то можна впевнитися, що результати як за переміщеннями так і за зусиллями для СЕ 10 і 210 будуть близькими. Тому застосування СЕ типу 10 для практичних розрахунків є виправданим. Для цього типу СЕ в ПК ЛІРА-САПР розроблені підсистеми підбору і перевірки сталевих перерізів, які дуже суттєво економлять час проектувальника.

3. *Моделювання життєвого циклу конструкції* виконано за допомогою системи «Монтаж». Виділено 4 монтажні стадії (рис. 4, 5): Стадія 1 – модель містить побудовані конструкції з.б. каркасу, завантажені власною вагою; Стадії 2...4 – до моделі додано конструкції підсилення і видалено СЕ нових прорізів, прикладаються постійні навантаження від перегородок, підлог та тимчасові корисні навантаження. Всі навантаження задано згідно з проектною документацією, з урахуванням вимог чинних норм [20, 21].

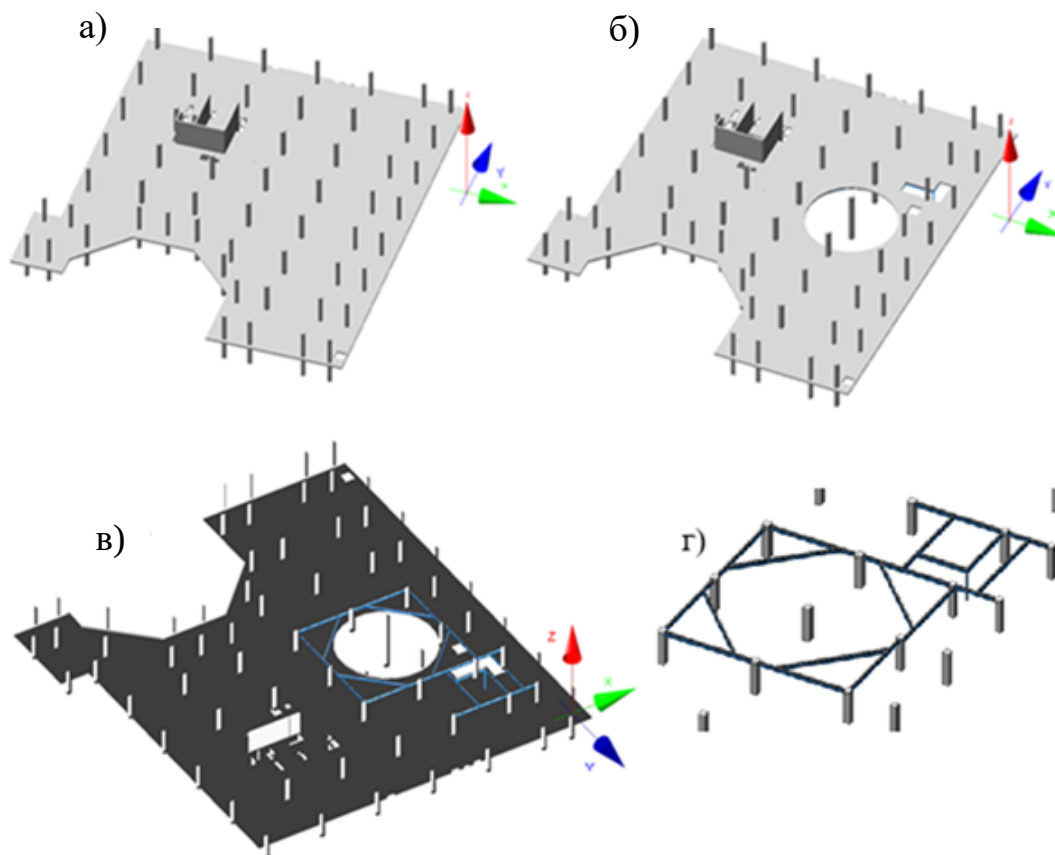


Рис. 4. Загальний вигляд розрахункової моделі перекриття:
а – до вирізання нових прорізів (Стадія 1); б – з новими прорізами (Стадії 2-4);
в – Стадії 2-4 – вид з низу; г – фрагмент конструкцій підсилення

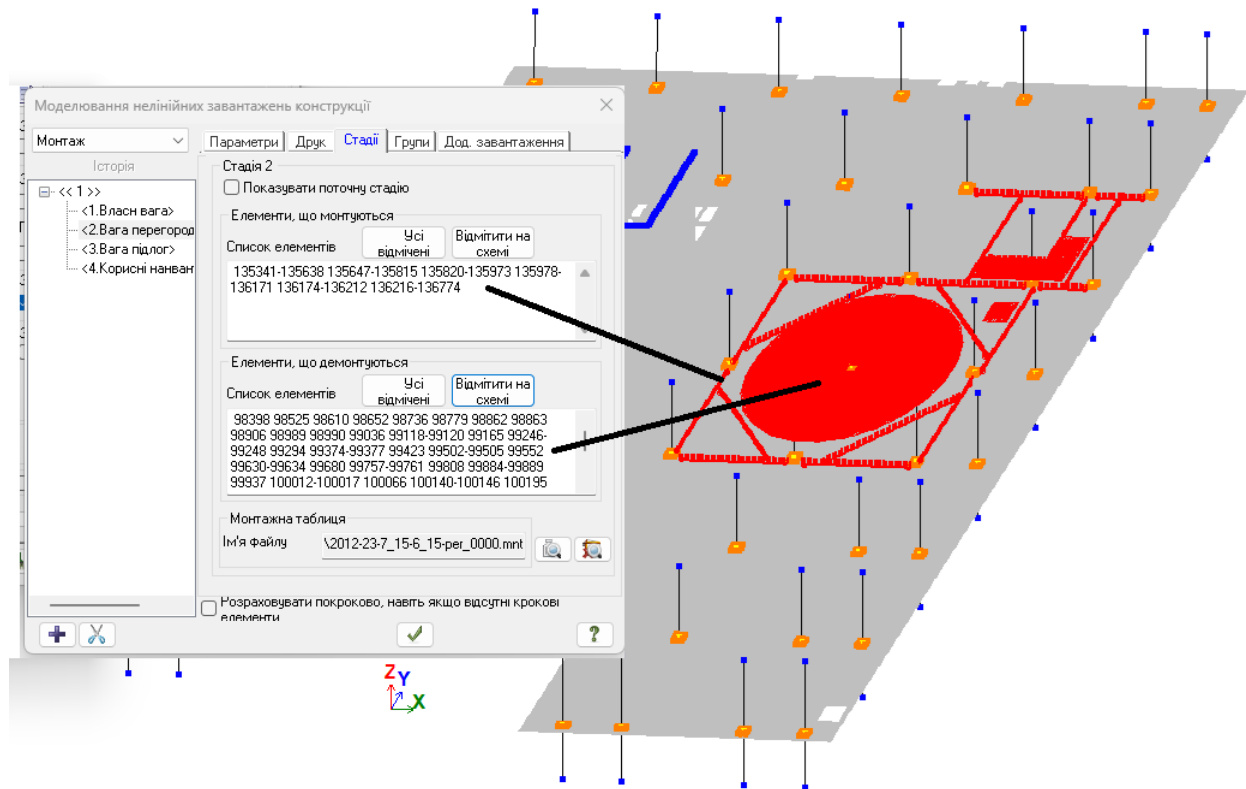


Рис. 5. Приклад вихідних даних до моделювання життєвого циклу конструкції в системі «Монтаж»

4. *Характеристики жорсткості елементів моделі.* Для залізобетонних елементів, які існують, характеристики жорсткості призначено з урахуванням фактичного армування. Для бетону прийнято залежність 15 – експоненціальний закон деформування для залізобетону (рис. 6). Для арматури залежність 11 – експоненціальний закон деформування (рис. 7).

Для сталевих балок підсилення попередньо прийнято прокатний двотавр 35Б1.

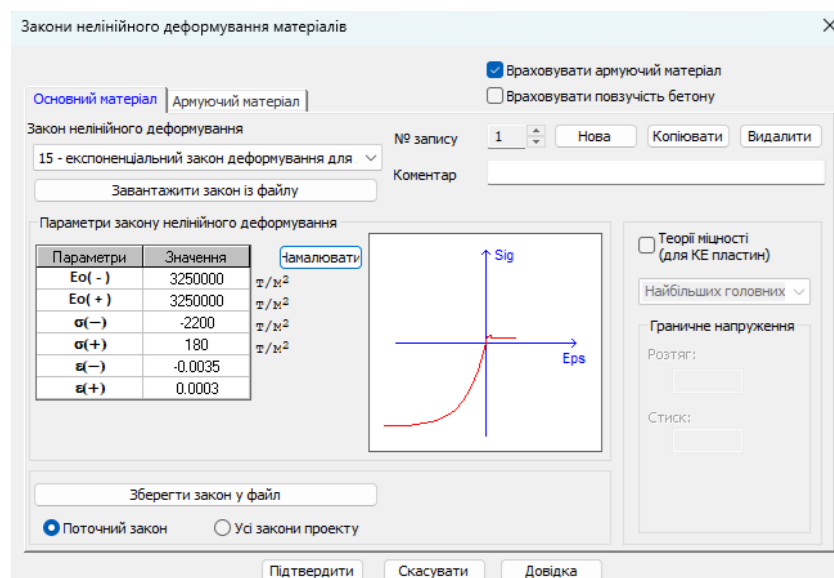


Рис. 6. Вихідні дані для врахування фізично-нелінійних властивостей бетону

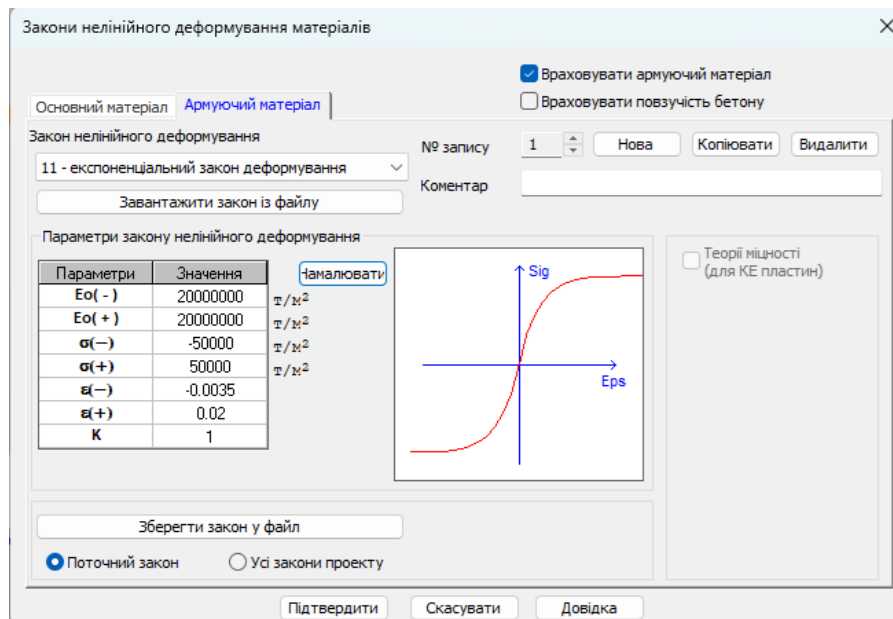


Рис. 7. Вихідні дані для врахування фізично-нелінійних властивостей арматури

Характеристики жорсткості односторонніх в'язей СЕ 262 визначаються наступним чином. Жорсткість елемента R є величина обернена його податливості. В даному випадку, податливість елемента буде дорівнювати абсолютній деформації стиску бетону Δ_c плити на верхньому поясі сталевій балки (рис. 8). При дії одиничної зосередженої сили $N = 1$ кН, для кожного вузла моделі податливість можна визначити за формулою:

$$\Delta_c = \frac{\sigma_c \cdot h_s}{E_c} = \frac{N \cdot h_s}{b \cdot S \cdot E_c} = \frac{1 \cdot 0,3}{0,155 \cdot 0,2 \cdot 3,25 \cdot 10^7} = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad (1)$$

$$R = \frac{N}{\Delta_c} = \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-6}} = 303030 \frac{\text{кН}}{\text{м}}, \quad (2)$$

де σ – напруження в бетоні на верхньому поясі балки підсилення від одиничної сили; E_c – середнє значення початкового модуля пружності бетону; інші позначення – див. рис. 8.

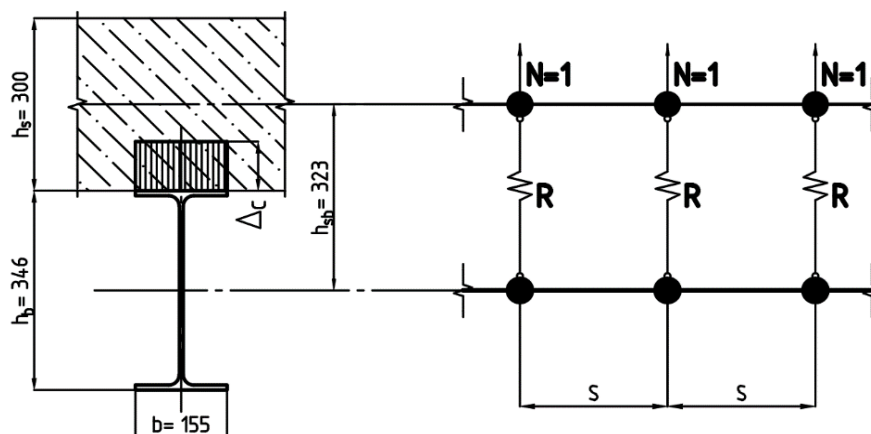


Рис. 8. До визначення жорсткості односторонніх в'язей СЕ 262

5. *Аналіз результатів розрахунку.* Для забезпечення механічного опору, стійкості та нормальної експлуатації конструкції, вона має бути перевірена за обома групами граничних станів. Перевірки підлягають наступні параметри:

- міцність з.б. конструкцій, що підсилюються;
- міцність і стійкість сталевих балок підсилення;
- прогини підсиленого перекриття;
- ширина розкриття тріщин в з.б. конструкціях.

На рис. 9 наведено зусилля в односторонніх в'язях на контакті «плита-балка». Як бачимо, в роботу включається тільки частина в'язей в зонах максимальних прогинів плити, що в цілому відповідає очікуванням (рис. 1, б). Кількість включених а роботу елементів в'язей, очевидно, залежить від жорсткості плити – чим менша жорсткість тим більше в'язей включиться в роботу.

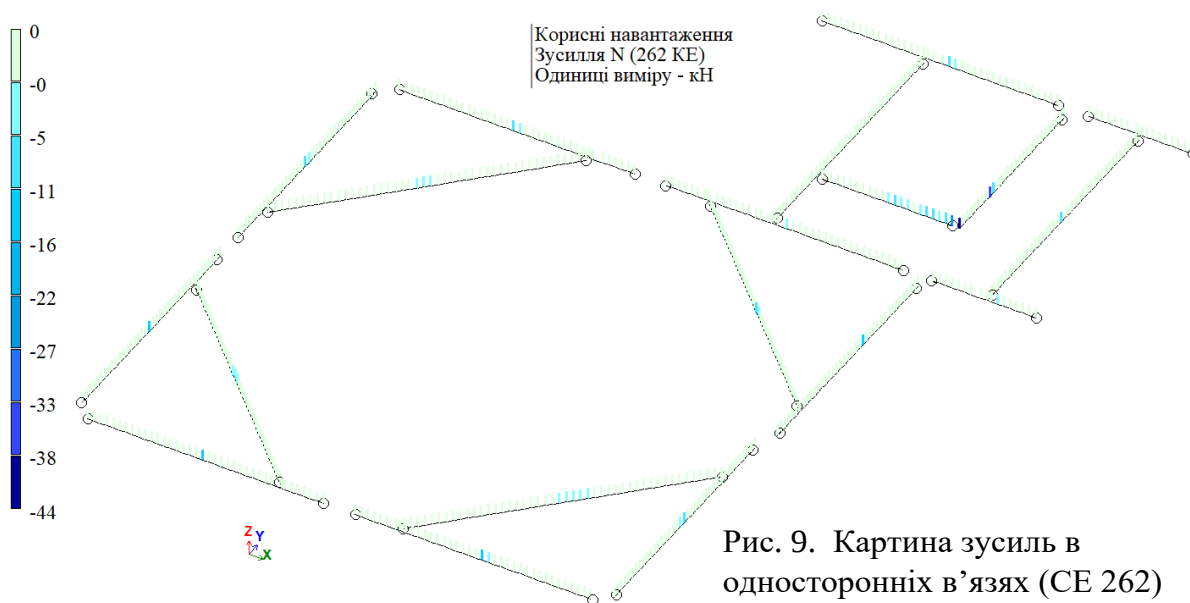


Рис. 9. Картина зусиль в односторонніх в'язях (СЕ 262)

При виконанні розрахунків в фізично-нелінійній постановці, ПК ЛПА-САПР дає можливість візуалізувати руйнування конструкцій. На рис. 10 наведено картину руйнування моделі. Як бачимо, при врахуванні фактичного армування конструкцій повністю зруйновані елементи відсутні, ширина розкриття тріщин не перевищує вимог (0.3 мм) чинних норм [18].

На рис. 11 наведено прогини перекриття в зоні підсилення. Максимальний прогин $7+25$ мм = 32 мм, що не перевищує вимог норм [22] (допустимий прогин $7900/216=36.6$ мм).

На рис. 12 показані епюри зусиль в балках підсилення. В балках крім згинальних моментів виникають також повздовжні сили. Цей ефект добре відомий і описаний, наприклад, в [26, с. 208...214]. Тому балки підсилення слід розраховувати по [19] як позацентрово-розтягнуті або позацентрово-стиснуті елементи. На рис. 13 показано результат перевірки перерізів балок підсилення в модулі Сталеві конструкції ПК ЛПА-САПР.

У випадку невідповідності розрахункових параметрів вимогам норм слід скоригувати схему підсилення (збільшити переріз балок, змінити схему їх розташування).

Висновки. Розроблено практичну методику розрахунку монолітних плит перекриттів, підсилених сталевими балками за допомогою ПК ЛПА-САПР. Методика дозволяє виконувати розрахунки для забезпечення механічного опору, стійкості та нормальної експлуатації конструкції за обома групами граничних станів. Запропонований алгоритм розрахунку може бути адаптований і при проєктуванні підсилення збірних з.б. плит перекриття.

Наведена методика розрахунку застосовувався автором при проєктуванні багатьох об'єктів, які були реалізовані і успішно експлуатуються вже тривалий час.

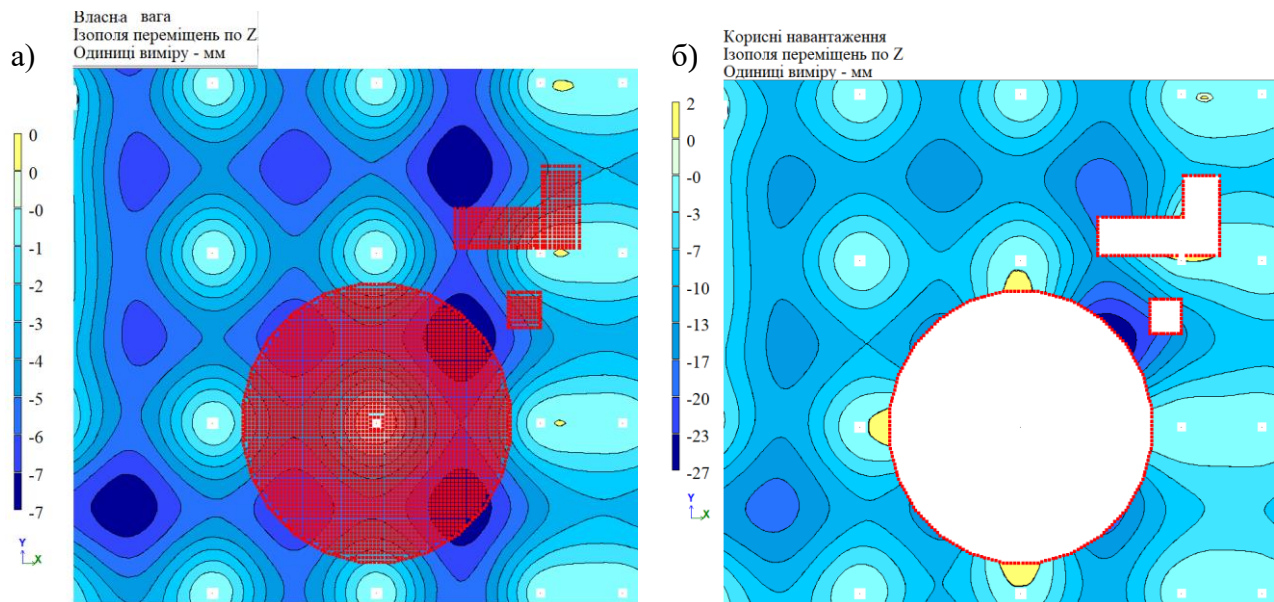


Рис. 11. Прогини підсиленого перекриття: а – прогини від власної ваги до підсилення (Стадія 1); б – прогини від експлуатаційних навантажень після підсилення і виконання нових прорізів (Стадія 4)

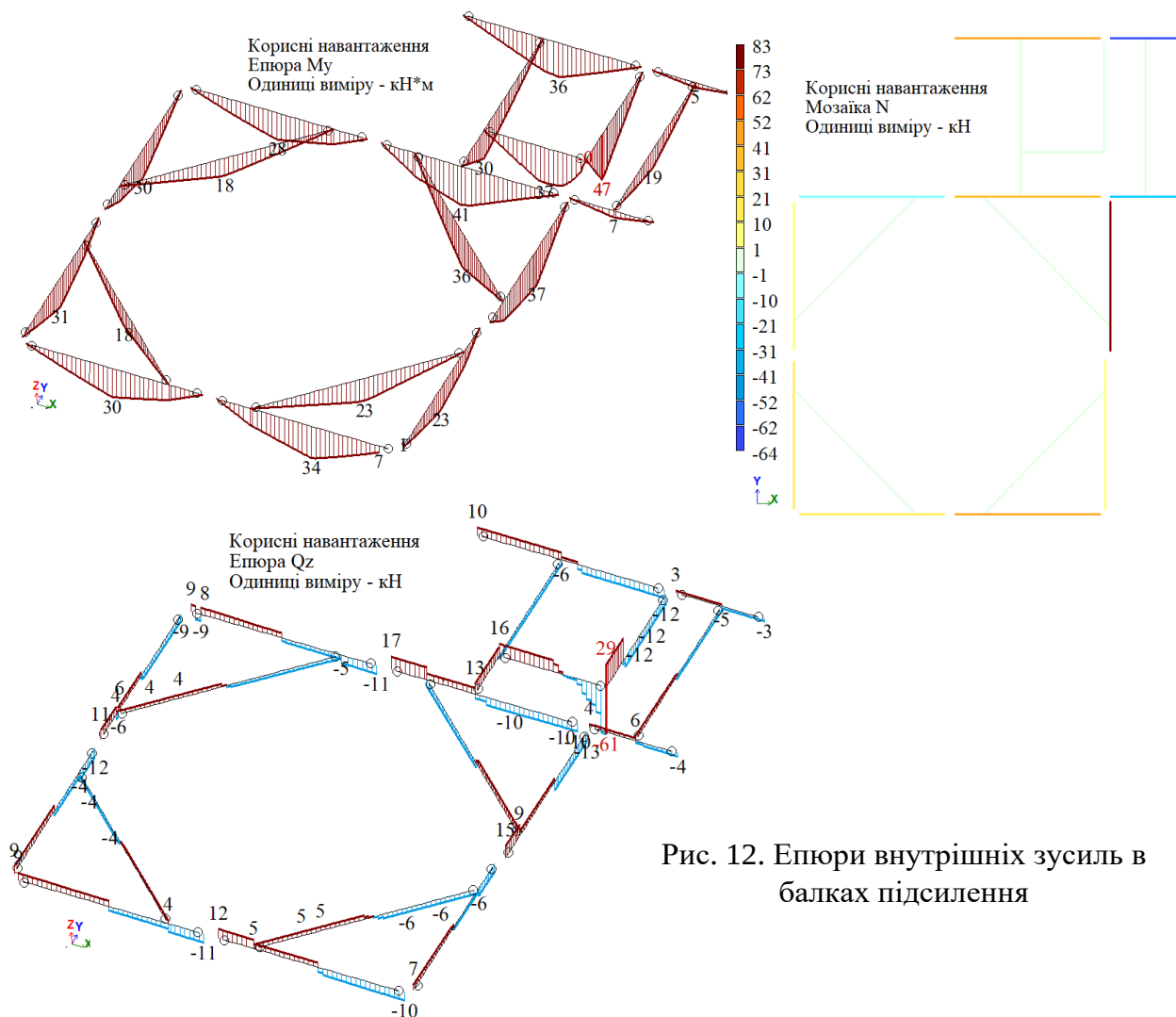


Рис. 12. Епюри внутрішніх зусиль в балках підсилення

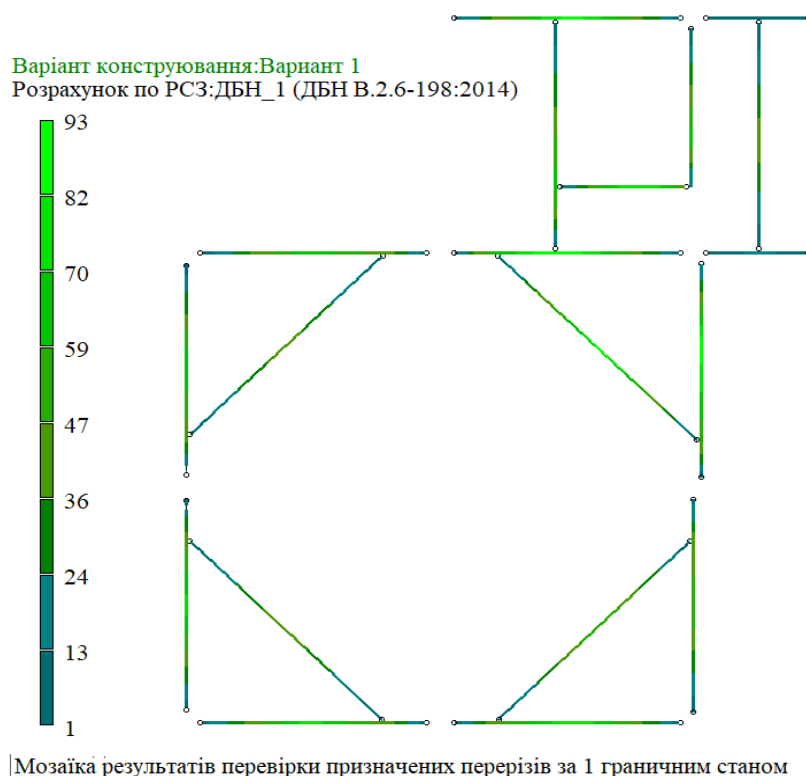


Рис. 13. До перевірки перерізу балок підсилення за першою групою граничних станів

Література

1. Гольшев А.Б., Ткаченко И.Н., Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. Киев: Логос, 2001. 172 с.
2. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б. Гольшев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий и др. Киев: Логос, 2004. 219 с.
3. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: навч. посіб. Київ, 2004. 304 с.
4. Бліхарський, З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд: навч. посіб. Львів: Львівська політехніка, 2008. 108 с.
5. Підсилення конструкцій та будівель: навч. посіб / А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, І.Г. Корнієнко та ін. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 207 с.
6. Постернак О., Постернак М. Вплив невизначеності розрахункової моделі підсилених згинальних елементів. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Збірник наук. праць*. Київ: КНУБА, Вип.10, 2022. С. 158–165.
7. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Римар Я.В., Ковальчук Б.М., Титаренко Р.Ю. Методика експериментального дослідження міцності нормальних перетинів залізобетонних балок, підсилених додатково попередньо напруженою арматурою під навантаженням. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. Львів, 2015. № 823. С. 21-26.
8. Савйовський В.В., Молодід С. Дослідження особливостей підсилення залізобетонних балкових конструкцій зовнішнім армуванням. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. Дніпро, 2017. № 4. С. 29-36.
9. Барабаш М.С., Гензерский Ю.В., Пікуль А.В., Башинська О.Ю. Методи чисельного моделювання композитних матеріалів та конструкцій в ПК «ЛІРА-САПР». *Галузеве машинобудування, будівництво: Збірник наук. праць*. Полтава: Національний університет

"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", 2017. № 48. С. 129-137.

10. Сморгалов Д., Винокур В. Методи розрахунку підсилення залізобетонних конструкцій із застосуванням попередньо напружених канатів з використанням програмних комплексів. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Збірник наук. праць*. Київ: КНУБА, Вип. 15, 2024. С. 41–53.

11. Дмитренко Є. Моделювання сумісної роботи сталевих балкових конструкцій із залізобетонними ребристими плитами перекриття. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Збірник наук. праць*. Київ: КНУБА, Вип. 8, 2021. С. 44–57.

12. Іваник І.Г., Вибранець Ю.Ю., Віхоть С.І. Розрахунок підсилення перекриття сталевих залізобетонною конструкцією. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Збірник наук. праць*. Луцьк: ЛНТУ, Вип. 8, 2017. С. 95-102.

13. Хміль Р.Є., Бліхарський З.Я., Черняк П.Д., Дубіжанський Д.І. Моделювання за допомогою МСЕ НДС згинаних залізобетонних балок підсилених при дії навантаження. *Наука та будівництво: Науково-технічний журнал*. Київ: НДІБК, Вип. 3, 2015. С. 14-16.

14. Журавський О., Журавський Д., Поважнюк О. Особливості відновлення збірних залізобетонних ребристих плит покриттів промислових будівель, зруйнованих обстрілами. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Збірник наук. праць*. Київ: КНУБА, Вип. 15, 2024. С. 185–195.

15. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. ДП "УкрНДНЦ". Київ, 2017. 68 с.

16. ДБН В.2.2-15:2019. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Мінрегіонбуд України. Київ, 2019. 44 с.

17. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. ДП "УкрНДНЦ". Київ, 2024. 74 с.

18. ДБН. В. 2.6-98-2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проєктування. Мінрегіонбуд України. Київ, 2009. 71 с.

19. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проєктування. Мінрегіон України. Київ, 2014. 199 с.

20. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проєктування. Мінрегіон України. Київ, 2020. 59 с.

21. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Мінрегіон України. Київ, 2018. 30 с.

22. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проєктування. Мінбуд України. Київ, 2006. 9 с.

23. ACI 562-21: Code Requirements for Assessment, Repair and Rehabilitation of Existing Concrete Structures. Michigan: American concrete institute, ACI Committee 562, 2021. 88 p.

24. EN 1990: Eurocode – Basis of structural design. The European Union Per Regulation, 2005. 116 p.

25. Олександр Городецький, Дмитро Городецький, Анатолій Пікуль. Конструктивна нелінійність. Односторонні в'язі. Проблеми реалізації. URL: <https://help.liraland.com/uk-ua/high-technology-innovations/structural-non-linearity-one-way-connections-implementation-problems.html>.

26. А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. Компьютерные модели конструкций. Издание второе, дополненное. Киев: Издательство Факт, 2007, 393 с.

References

- [1] A.B. Golyshev, I.N. Tkachenko, *Proektirovaniye usilenii nesushchikh zhelezobetonnykh konstruksii proizvodstvennykh zdanii i sooruzenii*. Kiev: Logos, 2001.
- [2] A.B. Golyshev, P.I. Krivosheyev, P.M. Kozeletskyi I dr., *Usileniie nesushchikh zhelezobetonnykh konstruksii proizvodstvennykh zdanii i prosadochnykh osnovanii*.

- Kiev: Logos, 2004.
- [3] Ye.V. Klymenko, *Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruktsiia budivel i sporud: navch. posib.* Kyiv, 2004.
- [4] Z.Ya. Blikharskii, *Rekonstruktsiia ta pidsylennia budivel i sporud: navch. posib.* Lviv: Lvivska politekhnika, 2008.
- [5] A.M. Plugin, S.V. Miroshnichenko, I.G. Korniyenko ta in, *Pidsylennia konstruktsii ta budivel: navch. posib.* Kharkiv: UkrDAZT, 2012.
- [6] O. Posternak, M. Posternak, "Vplyv nevyznachenosti rozrakhunkovoi modeli pidsylenykh zghynalukh elementiv", *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, vip.10, pp. 158-165, 2022.
- [7] Z.Ya. Blikharskii, R.Ye. Khmil, Ya.V. Rymar, B.M. Kovalchuk, R.Yu. Titarenko, "Metodyka eksperymentalnogo doslidzhennia mitsnosti normalnykh peretyniv zalizobetonnykh balok, pidsylenykh dodatkovoiu poperedno napruzhenoiu armaturoiu pid navantazhenniam", *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Teoriia i praktyka budivnytstva*, no. 823, pp. 21-26, 2015.
- [8] V.V. Saviovskiy, S. Molodid, "Doslidzhennia osoblyvosti pidsylennia zalizobetonnykh balkovykh konstruktsii zovnishnim armuvanniam", *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, no. 4, pp. 29-36, 2017.
- [9] M.S. Barabash, Yu.V. Henzerskyi, A.V. Pikul, O.Yu. Bashynska, "Metody chyselnoho modeliuvannia kompozytnykh materialiv ta konstruktsii v PK «LIRA-SAPR»", *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, no. 48, pp. 129-137, 2017.
- [10] D. Smorkalov, V. Vynokur, "Metody rozrakhunku pidsylennia zalizobetonnykh konstruktsii iz zastosuvanniam poperedno napruzhenykh kanativ z vykorystanniam prohramnykh kompleksiv", *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, vyp. 15, pp. 41–53, 2024.
- [11] Ye. Dmytrenko, "Modeliuvannia sumisnoi roboty stalevykh balkovykh konstruktsii iz zalizobetonnykh rebrystymy plytamy perekryttia", *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, vyp. 8, pp. 44–57, 2021.
- [12] I.H. Ivanyk, Yu.Yu. Vybranets, S.I. Vikhot, "Rozrakhunok pidsylennia perekryttia stale-zalizobetonnoi konstruktsiiei", *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, vyp. 8, pp. 95-102, 2017.
- [13] R.Ye. Khmil, Z.Ya. Blikharskyi, P.D. Cherniak, D.I. Dubizhanskyi, "Modeliuvannia za dopomohoiu MSE NDS zghynanykh zalizobetonnykh balok pidsylenykh pry dii navantazhennia", *Nauka ta budivnytstvo*, vyp. 3, pp. 14-16, 2015.
- [14] O. Zhuravskiy, D. Zhuravskiy, O. Povazhniuk, "Osoblyvosti vidnovlennia zbirnykh zalizobetonnykh rebrystyk plyt pokryttiv promyslovykh budivel, zruinovanykh obstrilamy", *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, vyp. 15, pp. 185-195, 2024.
- [15] DSTU B V.3.1-2:2016. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnykh konstruktsii ta osnov budivel i sporudy. K.: DP "UkrNDNTS", 2017.
- [16] DBN V.2.2-15:2019. Budynky i sporudy. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2019.
- [17] DSTU 9273:2024. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiikist. K.: DP "UkrNDNTS", 2024.
- [18] DBN. V. 2.6-98-2009. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia proektuvannia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2009.
- [19] DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia. K.: Minrehion Ukrainy, 2014.
- [20] DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. K.: Minrehion Ukrainy, 2020.
- [21] DBN V.1.2-14-2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporudy. K.: Minrehion Ukrainy, 2018.
- [22] DSTU B V.1.2-3:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh

- об'єктив. Прогноз і переміщення. Вимоги проєктування. К.: Мінбуд України, 2006.
- [23] ACI 562-21: Code Requirements for Assessment, Repair and Rehabilitation of Existing Concrete Structures. Michigan: American concrete institute, ACI Committee 562, 2021.
- [24] EN 1990: Eurocode - Basis of structural design. The European Union Per Regulation, 2005.
- [25] O. Horodetskyi, D. Horodetskyi, A. Pikul, "Konstruktyvna nelineinist. Odnostoronni viazi. Problemy realizatsii". [Online]. Available: [URL: https://help.liraland.com/uk-ua/high-technology-innovations/structural-non-linearity-one-way-connections-implementation-problems.html](https://help.liraland.com/uk-ua/high-technology-innovations/structural-non-linearity-one-way-connections-implementation-problems.html). Accessed on: May 24, 2025.
- [26] A.S. Gorodeckij, I.D. Evzerov. *Kompyuternye modeli konstrukcii. Izdanie vtoroe, dopolnennoe*. Kiev: Vidavnictvo Fakt, 2007.

PRACTICAL METHOD FOR CALCULATION OF MONOLITHIC FLOOR SLABS STRENGTHENING WITH STEEL BEAMS

Shaporenko Yu.I., PhD., Senior Researcher
 shapory@ukr.net, ORCID: 0009-0009-7356-6906
State Enterprise "Research Institute of Building Constructions"
 5/2, Preobrazhenska St., Kyiv, 03037, Ukraine

Abstract. The method of strengthening of monolithic reinforced concrete slabs with steel beams in the lower zone is considered. From the late 1990s to the present, residential and civil construction in our country has been based on monolithic frame technology, where flat slabs are mainly used. Slabs often need to be strengthening as a result of damage caused by various reasons or when architectural and planning solutions are changed. Strengthening of such slabs with steel beams is used quite often in construction practice, especially in cases where it is not possible to fully unload the slab structure. The technical solutions for this method of strengthening have been developed for a long time and have many variations. However, if we analyse the building codes in the field of reconstruction and strengthening, we can identify a certain lack of calculation methods for the analysis of strengthening structures. A slab in a monolithic frame system is a repeatedly statically indeterminate structure, so its adequate calculation without the use of modern software systems is hardly possible.

A review of the current building codes in the field of reconstruction and strengthening is carried out. A number of publications in professional journals devoted to this topic and calculation approaches in the design of strengthening are considered. The structural features of strengthening with unloading beams are analysed. A practical methodology for calculating monolithic slabs strengthening with beams in the lower zone using the LIRA-SAPR software package is proposed. The methodology is based on taking into account the initial deformed state of the floor slab. The calculation is carried out by a step-iterative method, taking into account the physical-nonlinear properties of reinforced concrete and the life cycle of the structure. Particular attention is paid to the method of modelling the contact zone "slab-strengthening beam". The contact zone is modelled by means of one-sided connection, which perceives only compression forces.

The presented calculation algorithm has been tested by the author in the design of many facilities that have been implemented and successfully operated for a long time.

Keywords: floor slab, strengthening beam, model, calculation.

Стаття надійшла до редакції 04.08.2025

Стаття прийнята до друку 13.09.2025

Дата публікації статті 25.12.2025

This work by © 2025 by *Шапоренко Ю.І.* is licensed under [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)