

УДК 624.012.35:69.059.32:624.016

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.1>**Азізова А.Г.**

аспірантка кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-6282-5460

Овсій О.М.

провідний фахівець відділу аналізу інноваційної діяльності та інтелектуальної власності,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-5833-4757

Овсій Д.М.

Ph.D, старший викладач кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-7007-1857

Стрюк Р.І.

аспірант кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0009-0005-2674-8177

ПІДСИЛЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПЕРЕРІЗУ ДОДАТКОВИМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ ШАРОМ В СТИСНУТІЙ ЗОНІ ТА АРМУВАННЯМ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ У ВИГЛЯДІ ШПРЕНГЕЛЬНОЇ ЗАТЯЖКИ

Анотація. При підсиленні балкових і плитних залізобетонних елементів шляхом нарощування перерізу одночасно в розтягнутій і стиснутій зонах виникають ряд труднощів, які пов'язані із визначенням в їх комбінованих перерізах оптимальних параметрів компонентів підсилення (розмірів перерізу при визначених характеристиках матеріалів), кількість яких становить $n \geq 3$. Визначення розмірів компонентів підсилення можливе лише при поетапному прийнятті величини одного із компонентів, що призводить до додаткових трудовитрат при розрахунку і безлічі рішень, які не завжди є технологічно і економічно ефективними. Викладено аналітичний метод послідовності розрахунку перерізів елементів армування при підсиленні збірних залізобетонних ребристих плит перекриттів шляхом одночасного нарощування їх перерізів в стиснутій і розтягнутій зонах, який дозволяє враховувати їх несучу здатність на згин і зріз: наявне армування перерізів в прогоні і на приопорних ділянках. Наведено послідовність розрахунку і проектування конструктивних елементів при підсиленні збірних залізобетонних ребристих плит перекриття марок ИП1-2 і ИП3-1 за серією ИИ24-1/70 розмірами у плані $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м, висотою перерізу $h=400$ мм шляхом нарощування їх перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки при реконструкції підвального приміщення в приміщення подвійного призначення під укриття IV-го класу, яке повинне сприймати квазістатичне еквівалентне навантаження величиною $\Delta P_{ex} = P_1 = 100$ кПа згідно вимог п. 14.1.2.2 ДБН В.2.2-5:2023 [1]. Запропонований методичний підхід з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит може бути використаний при

розрахунку і проектуванні конструктивних елементів (компонентів) підсилення збірних залізобетонних багатопустотних плит та балкових елементів монолітних залізобетонних перекриттів будівель і споруд при їх реконструкції, ревіталізації чи відновленні при пошкодженні.

Ключові слова: збірні залізобетонні ребристі плити перекриття, підсилення шляхом нарощування перерізу одночасно в стисненій і розтягнутій зонах, додатковий армований шар набетонування згори, шпренгельна затяжка, методика розрахунку і проектування.

Постановка проблеми. При реконструкції, ревіталізації підвальних приміщень існуючих будівель і споруд під приміщення подвійного призначення для захисту людей при вимушеній евакуації під час виникнення зовнішньої небезпеки (загрози) необхідно виконати комплекс об'ємно-планувальних, конструктивних і організаційних заходів, одним із яких є підсилення збірних залізобетонних плит перекриття підвальної частини об'єктів. Типові перекриття підвальних приміщень існуючих виробничих будівель (споруд) улаштовані у більшості випадків із збірних залізобетонних ребристих плит і плоских плит суцільного перерізу чи перерізу із круглими чи іншої конфігурації пустотами залежно від призначення і конструктивного вирішення їх несучих системи (каркасної, безкаркасної, з неповним каркасом, комбінованої і ін.) та вертикальних конструктивних елементів категорії відповідальності А1, А і Б (стін цегляних, із збірних блоків чи із стінових панельних елементів; конструктивних елементів каркасу (неповної каркасної системи): колон (стійок) залізобетонних чи металевих із зовнішнім стіновим огороженням у вигляді стінових бетонних, залізобетонних панелей чи тришарових сандвіч-панелей; стовпів цегляних; залізобетонних ригелів таврового чи прямокутного перерізу). Згідно альбому II серії ТКП-73 (тема 525-1-72) перекриття підвальних приміщень виробничих будівель з повним несучим каркасом улаштовуються із збірних залізобетонних попередньо-напружених ребристих плит розмірами $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м, висотою перерізу $h=400$ мм (марок П1 і П2) та $h=600$ мм (марок П3 і П4), які виготовлені із важкого бетону марок М300 і М400. Плити перекриття марки П1 запроектовані на повні розрахункові навантаження $q=3,6$ т/м², марки П2 – на $q=6,5...7,65$ т/м², а марок П3 і П4 – на $q=7,5...20,0$ т/м². Плити перекриття марки П1 за розмірами і армуванням відповідають плитам марки ИП1-6 за серією ИИ24-1/70. Залізобетонні ребристі плити перекриття за серією

ИИ24-1/70 в існуючих виробничих будівлях (спорудах) з повним чи частковим несучим каркасом безпосередньо обпираються на полиці ригелів таврового перерізу і мають розміри $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м ($5,1 \times 1,5$ м та $5,1 \times 0,75$ м), висоту перерізу $h=400$ мм, виготовлені із важкого бетону марок М200 і М300. Плити перекриття марок ИП1, ИП2 за серією ИИ24-1/70 запроектовані на повні розрахункові навантаження на поздовжні ребра $q=1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,6$ т/м², а марок ИП3 і ИП4 – на $q=1,33; 1,93; 2,53; 3,13; 3,73$ т/м², на полицю – $q=1,61; 2,21; 2,81; 3,41$ т/м².

Згідно положень пп. 6.4.1, 6.4.2 діючих норм ДБН Б В.3.1-2:2016 [2] підсилення залізобетонних балкових і плитних прогінних елементів виконується шляхом: збільшення перерізу за допомогою улаштування в стисненій, розтягнутій зонах і з боків в зоні зрізу залізобетонного шару нарощування, або залізобетонної «сорочки», які армують поздовжніми і похилими у вигляді відгинів стержнями; улаштуванням напружених шпренгельних затяжок; встановленням (підведенням) додаткових (розвантажувальних) сталевих балкових елементів із прокатних профілів у стиснутій і розтягнутій зонах при недостатній їх несучій здатності чи послабленні. При підсиленні залізобетонних ребристих плит перекриття виробничих будівель і споруд з повним чи неповним несучим каркасом, які виготовлені за серією ИИ24-1/70, виникають ряд труднощів, які безпосередньо пов'язані з їх конструктивним вирішенням, а саме: наявність опорного поперечного ребра на всю висоту плити, що не дозволяє виконати їх підсилення шляхом підведення під їх поздовжні і поперечні ребра балкових елементів із прокатних профілів і безпосередньо їх обпирання на полиці ригелів каркасу, яке найбільш широко застосовується при їх підсиленні. Для здійснення підсилення плит вище зазначеним способом необхідно додатково виконати роботи по улаштуванню ніш в опорному ребрі плит, що призведе до локального його руйну-

вання і збільшення додаткових витрат на їх підсилення. Тому необхідно розробити нові конструктивні рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття існуючих виробничих будівель (споруд) з повним чи неповним несучим каркасом, які будуть ефективні з технологічної і економічної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями в роботах [3–6] був проведений детальний аналіз існуючих наукових досліджень з підсилення залізобетонних балок шляхом нарощування їх перерізу одним із способів при бетонуванні однієї, двох чи трьох бічних граней (див. рис. 1), тобто: тільки нижньої грані (розтягнутої зони перерізу) (рис. 1,б) чи верхньої грані (стиснутої зони перерізу) (рис. 1,а); тільки бокових граней (рис. 1,в); тільки бокових і нижньої граней (рис. 1,г).

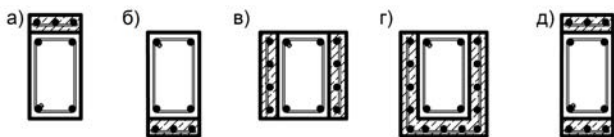


Рис. 1 Способи підсилення перерізу балкового залізобетонного елемента шляхом нарощування його перерізу додатковим шаром збоку однієї, двох чи трьох його граней: а) тільки збоку верхньої грані (стисненої зони перерізу); б) тільки збоку нижньої грані (розтягнутої зони перерізу); в) тільки збоку бічних граней перерізу; г) одночасно збоку трьох граней перерізу: нижньої і двох бічних; д) одночасно відносно верхньої і нижньої граней перерізу (в стиснутій і розтягнутій зонах)

В результаті аналізу проведених наукових досліджень [3–6] науковцями були обґрунтовані висновки щодо факторів впливу на міцність і тріщиностійкість залізобетонних балкових елементів, підсиленних шляхом нарощування різними способами їх перерізу, а саме:

- різні способи (конфігурації) з підсилення (модернізації) перерізів мають значний вплив на момент тріщиностійкості елементів порівняно з максимальним моментом у випадку їх зміцнення на вигин;

- співвідношення відстані від опори до зосередженого навантаження (a) і ефективної висоти перерізу елемента (d) (прогону зсуву $\lambda = a/d$) та товщина шару нарощування їх перерізу (додаткового підсилення шляхом

бетонування) (Δd) мають значний вплив на їх міцність на зсув та характер їх руйнування;

- різні методи зчеплення між шаром підсилення і перерізом елемента мають незначний вплив на їх міцність при зсуві, але позитивно впливають на їх міцність при згині;

- тристороннє підсилення перерізу елемента в порівнянні з іншими способами має вищий діапазон приросту міцності на вигин (максимум приросту міцності 81%–120%; підвищення тріщиностійкості на 300%–500%), так і на зсув (максимум приросту міцності 51%–80%; підвищення тріщиностійкості на 121%–180%).

З огляду літератури [3–6] було встановлено, що при наявності чисельних наукових робіт одночасному підсиленню залізобетонних балкових елементів шляхом нарощування їх перерізів у нижній і верхній зонах (див. рис. 1,д) присвячено недостатню кількість досліджень. Тому для широкого запровадження в практику проектування способу підсиленню залізобетонних елементів, що згинаються, шляхом одночасного нарощування перерізів в стисненій і розтягнутій зонах необхідно розробити методику їх розрахунку з визначення ефективних параметрів оптимального армування (величин коефіцієнтів армування перерізів елемента при згині і зрізі) і товщини шару нарощування (Δd) залежно від висоти перерізу елемента (d), його прогону (L) і існуючих величин армування залізобетонного елемента, що підсилюється на згин і зріз.

Авторами статті в тезах доповідей на наукових конференціях [7–11] також були проаналізовані переваги і недоліки різних варіантів і способів підсилення балкових і плитних залізобетонних прогонних елементів. При підсиленні залізобетонних елементів окремими способами за допомогою сталених прокатних профілів їх перерізи стають сталезалізобетонними, багатошаровими, комбінованими, тому для широкого їх використання і запровадження в практику будівництва необхідні розробки відповідних нових ефективних методів їх розрахунку і проектування.

Мета роботи: розробка методики розрахунку і проектування конструктивного рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки.

Результати досліджень. Розрахунок і проектування конструктивних компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки виконуємо в такій послідовності:

- визначення величин розрахункових навантажень; прийняття узагальненої розрахункової схеми та формування приведеного комбінованого розрахункового перерізу напружено-деформованого стану поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилюються, при забезпеченні умов міцності на згин (див. рис. 2 і рис. 3); визначення та внутрішніх зусиль в розрахункових комбінованих перерізах поздовжніх ребер і плитних ділянок збірних залізобетонних плит перекриття, що підсилюються;

- визначення площі перерізів армування горизонтального і похилого елементів шпренгельної затяжки при визначеній (заданій) товщині (d) додаткового залізобетонного шару набетонування збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, при забезпеченні умов міцності на згин в розрахункових перерізах їх поздовжніх ребер;

- визначення зусилля зсуву між верхньою площиною збірної залізобетонної плити перекриття і нижньою площиною додаткового залізобетонного шару набетонування залежно

від випадку напружено-деформованого стану в її розрахунковому перерізі на згин;

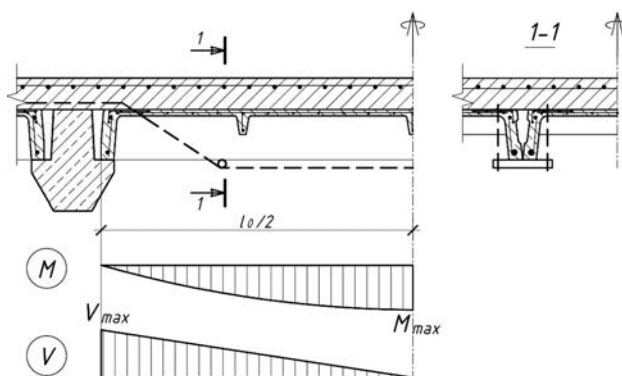


Рис. 2. Розрахункова схема поздовжніх ребер збірної залізобетонної плити перекриття, що підсилюється шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки та епюри внутрішніх зусиль при дії на них повного розрахункового навантаження

- визначення площі перерізів елементів армування плитних ділянок збірних ребристих плит перекриття, що підсилені;

- перевірка дотриманні вимог міцності на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, та визначення площі перерізів еле-

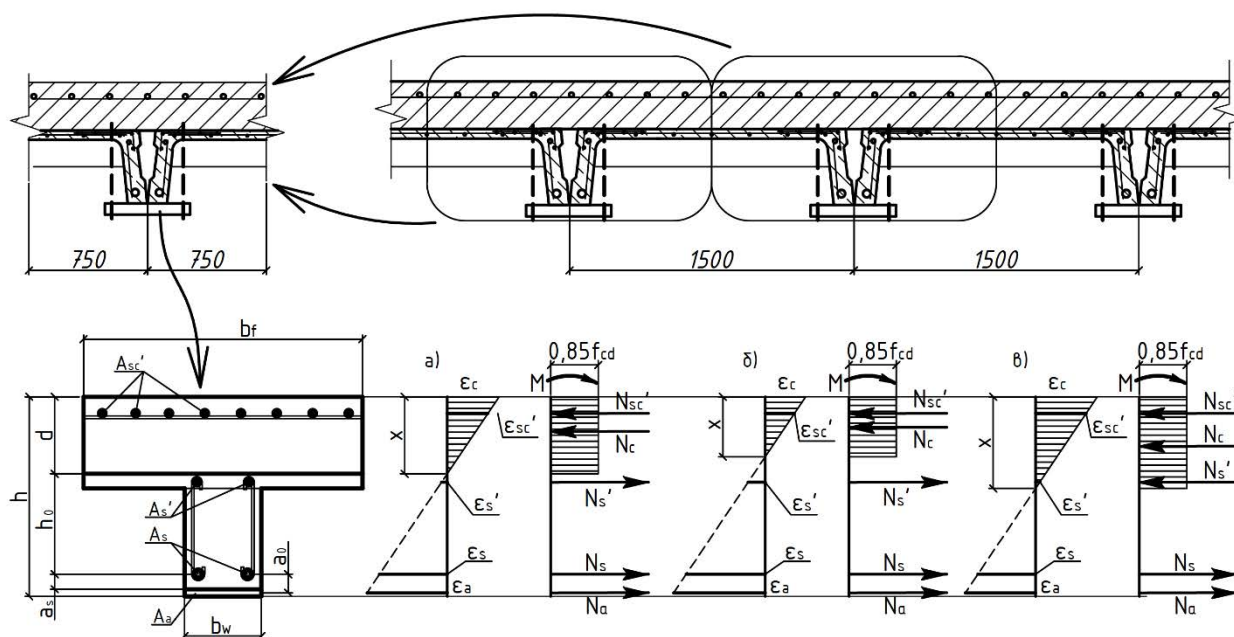


Рис. 3 Випадки напружено-деформованого стану приведеного комбінованого перерізу поздовжніх ребер збірних залізобетонних плит перекриття, що підсилюються шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки

ментів додаткового їх армування у разі недостатньої їх несучої здатності;

– конструювання компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття.

Визначення площі перерізу армування горизонтального елементу шпренгельної затяжки при визначеній (заданій) товщині (d) додаткового залізобетонного шару набетонування збірних ребристих плит перекриття, що підсилені. Умова рівноваги при забезпеченні умов міцності на згин в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилені одночасно нарощуванням стиснутої і розтягнутої зон перерізу, відносно рівнодіючої осі стисненої зони бетону буде мати вигляд:

$$M = f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x) + f_{sd} A_{sd} \times (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x) + f'_s A'_s \times (0,5x - a_s). \quad (1)$$

де M – згинальний момент в розрахунковому перерізі збірної залізобетонної плити від дії зовнішніх навантажень;

d – товщина додаткового залізобетонного шару набетонування при підсиленні збірних ребристих плит шляхом нарощування їх перерізів;

h_0 – робоча висота перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

f_s – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована нижня розтягнута зона поздовжніх ребер збірних плит перекриття;

f'_s – розрахунковий опір на стиск поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована верхня стиснута зона додаткового залізобетонного шару набетонування, яких здійснюється підсилення збірних плит перекриття;

f_{sd} – розрахунковий опір на розтяг горизонтального елементу шпренгельної затяжки відповідно норм [13];

a_0 – відстань між геометричними горизонтальними осями існуючої поздовжньої арматури і горизонтальним елементом шпренгельної затяжки (A_{sd}), яка приймається в рівнянні зі знаком «+» при $h_0 + a_0 \geq h_0$ та зі «-» знаком при $h_0 - a_0 < h_0$;

A_s – сумарна площа перерізу поздовжніх арматурних стержнів, які встановлені в розтягнутій зоні перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

A_{sd} – сумарна площа перерізу поздовжніх горизонтальних елементів шпренгельної

затяжки (A_d), якими додатково здійснюється армування збірної залізобетонної плити, що підсилюється в розтягнутій зоні перерізу;

A'_s – сумарна площа перерізу поздовжніх арматурних стержнів, котрими здійснюється армування додаткового залізобетонного шару набетонування в стиснутій зоні перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

x – висота стиснутої зони бетону в розрахунковому комбінованому перерізі на ділянці плити, що сприймає навантаження від згинального моменту (M), яка визначається за залежністю:

$$x = (f_s A_s + f_{sd} A_{sd} + f'_s A'_s) / (f_{ct} b), \quad (2)$$

де f_{ct} – розрахунковий опір на стиск важкого бетону відповідно п. 3.1 норм [12] залежно від його класу, із якого буде виготовлений (улаштований) додатковий залізобетонний шар набетонування при підсиленні збірної залізобетонної плити;

b – розрахункова ширина комбінованого перерізу підсилення збірної залізобетонної плитного чи балкового конструктивного елементу, яка при розрахунковому тавровому приведеному перерізі дорівнює $b = b_f$.

В умові рівноваги (1) невідомими є величини d, A_{sd}, x, A'_s , що ускладнює розрахунок оптимальних (ефективних) їх параметрів при визначенні (заданих, прийнятих) величинах зовнішнього навантаження і міцносних характеристиках матеріалів плити і компонентів підсилення. Із рівняння рівноваги (1) при $A'_s = 0$ і прийнятті однієї із невідомих величин його складових: товщини додаткового залізобетонного шару набетонування (d) чи площі поперечного перерізу поздовжнього елементу шпренгельної затяжки (A_{sd}), шляхом перетворень можемо отримати наступні залежності, за допомогою яких можемо визначити одну із невідомих величин d чи A_{sd} :

$$A_{sd} = \frac{f_c b}{f_{sd}} \times (-2M + f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x_n) - (\quad (3)$$

$$- (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x_n) \times (1 \pm d \pm a_0 - 0,5x_n);$$

$$d = \frac{M \pm f_{sd} A_{sd} \cdot a_0}{f_s A_s + f_{sd} A_{sd}} - h_0 - \frac{f_s A_s + f_{sd} A_{sd}}{2 f_c b}, \quad (4)$$

де x_n – висота стиснутої зони бетону в розрахунковому комбінованому перерізі на ділянці плити, що сприймає навантаження від згинального моменту (M), при армуванні його тільки існуючими арматурними стержнями в розтягнутій зоні плити загальною площею A_s , яка визначається за залежністю:

$$x_n = (f_s A_s) / (f_c b). \quad (5)$$

Розрахунок величин d, A_{sd} відповідно за залежністю (3) чи (4) не завжди буде оптимальний (ефективний з економічної точки зору), тому що в окремих випадках при нарощуванні перерізу шляхом набетонування встановлення додаткового армування в розтягнутій зоні перерізу може бути непотрібне, бо буде достатньо вже існуючої в ній площі армування (A_s). Тому для удосконалення методики розрахунку компонентів підсилення був запропонований додатковий коефіцієнт (n), який буде враховувати відношення площ армування A_{sd} до A_s .

$$n = A_{sd} / A_s. \quad (6)$$

Величину коефіцієнта n визначаємо за залежностями (7)–(9):

$$0,5x_n \cdot n^2 + (h_0 + d \pm a_0 + x_n) \cdot n + (h_0 + d + 0,5x_n - \frac{M}{f_s A_s}) = 0; \quad (7)$$

$$D = (h_0 + d \pm a_0 + x_n)^2 - 4 \times 0,5x_n \times (h_0 + d + 0,5x_n - \frac{M}{f_s A_s}); \quad (8)$$

$$n_{1,2} = \frac{-(h_0 + d \pm a_0 + x_n) \pm \sqrt{D}}{x_n}. \quad (9)$$

При $n \leq 0$ підсилення залізобетонної балкового елемента одночасно шляхом нарощування перерізу в стиснутій і розтягнутій зонах непотрібне, буде достатньо виконати підсилення елемента тільки в стисненій його зоні шляхом улаштування додаткового залізобетонного шару набетонування.

При $n \leq 0$ площа перерізу поздовжнього елемента зтяжки буде становити:

$$A_{sd} = (n + 0,1) \times A_s. \quad (10)$$

Визначаємо величину необхідної площі армування (A'_s) залізобетонного шару набетонування в комбінованому перерізі плитного чи балкового елемента за умови рівноваги при забезпеченні умов міцності на згин відносно рівнодіючої вісі поздовжнього армування в його розтягнутій зоні:

$$A'_s = \frac{M - f_c b x \times (h_0 + d - 0,5x)}{f_s \times (h_0 + d - a')}; \quad (11)$$

При величині площі армування верхньої стиснутої зони менше нуля ($A'_s \leq 0$), армування виконуємо конструктивно. При $A'_s > 0$ виконуємо корегування величини площі перерізу поздовжнього елемента зтяжки з урахуванням величин розрахункових опорів на розтяг існуючих арматурних стержнів (f_s) і поздовжнього елемента шпренгельної зтяжки (f_{sd}), що проектується, за залежністю:

$$A_{sd} = f_s / f_{sd} \times (A_s \times (n + 0,1) + A'_s). \quad (12)$$

Виконуємо перевірку несучої здатності перерізу підсиленої плити при забезпеченні умови міцності на згин в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилені, відносно рівнодіючої вісі стисненої зони бетону за залежністю:

$$M \leq f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x) + f_{sd} A_{sd} \times (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x) + f_s A'_s \times (0,5x - a'_s), \quad (13)$$

Визначення площі перерізу армування похилого елемента шпренгельної зтяжки при визначенні площі її горизонтального елемента. Площу перерізу похилого елемента ($A_{s,inc}$) шпренгельної зтяжки визначаємо за залежністю з урахуванням кута (α) його нахилу до горизонтальної площини і величин розрахункових опорів на розтяг поздовжнього (f_{sd}) і похилого ($f_{s,inc}$) елементів шпренгельної зтяжки, що проектується:

$$A_{s,inc} = f_{sd} / f_{s,inc} \times A_{sd} / \cos \alpha, \quad (14)$$

де $f_{s,inc}$ – розрахунковий опір на розтяг похилої арматури (відгину) $A_{s,inc}$ відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, яка є похилим елементом шпренгельної зтяжки і додатковим армуванням – ребра збірних плит перекриття, що підсилюються, на приопорних їх ділянках;

α – кут нахилу похилого елемента ($A_{s,inc}$) шпренгельної зтяжки відносно горизонтальної площини.

Визначення зусилля зсуву (V_{hv}) між верхньою площиною збірної залізобетонної плити перекриття і нижньою площиною додаткового залізобетонного шару надбетонування залежно від випадку напружено-деформованого стану (НДС) в її розрахунковому перерізі на згин. Величина сумарного зусилля зсуву (V_{hv}) буде становити:

$$V_{hv} = f_{c1} b_f x + f_s A'_s = f_s A_s + f_{sd} A_{sd}, \text{ при } x \leq d; \quad (15)$$

$$V_{hv} = f_{c1} b_f d + f_s A'_s < f_s A_s + f_{sd} A_{sd}, \text{ при } x > d; \quad (16)$$

Сумарне зусилля зсуву, яке виникає на межі стикування різних конструктивних компонентів у збірно-монолітних елементах, повинно бути менше міцності на зсув компонентів з'єднувальних елементів:

$$V_{hv} \leq P_{Rd}, \quad (17)$$

де P_{Rd} – несуча здатність на зсув різної конструктивної форми компонента з'єднувального елемента, яка визначається згідно норм [14].

Якщо умова (17) задовольняється, то виконують конструювання і розміщення компонентів з'єднувальних елементів по довжині стикування додаткового залізобетонного шару набетонування з полицею збірної залізобетонної ребристої плити залежно від його НДС в розрахунковому перерізі.

Визначення площі перерізів елементів армування плитних ділянок збірних ребристих плит перекриття, що підсилені. В граничному стані зусилля від дії опорних (M_{on}) і прогінних (M_{np}) моментів від зовнішнього навантаження сприймаються поздовжньою і поперечною арматурою, яка розташовується в розтягнутій зоні розрахункових комбінованих перерізів плитних ділянок збірних плит перекриття. Для визначення армування в перерізі додаткового шару набетонування задаємося величинами захисного шару бетону a_{s1} і a_{s2} відповідно від верхньої і нижньої його граней. Визначаємо площу перерізу армування A_{s1} на 1 м ширини плити у верхній зоні додаткового шару набетонування її розрахункового комбінованого перерізу від дії опорного згинального моменту:

$$A_{s1} = M_{on} / (z_1 \times f_{s1}), \quad (18)$$

де M_{on} – найбільший за величиною із згинальних моментів в опорних комбінованих перерізах плитних ділянок збірних ребристих плит;

f_{s1} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу;

z_1 – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s1} до точки рівноваги в стиснутій зоні розрахункового комбінованого перерізу, яку визначаємо за формулою:

$$z_1 = 0,5t + d - a_{s1}, \quad (19)$$

де t – товщина полиці збірної залізобетонної плити перекриття;

a_{s2} – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури у верхній зоні додаткового залізобетонного шару набетонування до його верхньої грані.

Визначаємо площу перерізу армування (A_{s2}) на 1 м ширини плити у нижній зоні додаткового шару набетонування її розрахункового комбінованого перерізу від дії прогінного згинального моменту:

$$A_{s2} = (M_{np} - f_{s3} \times A_{s3} \times z_1) / (z_2 \times f_{s2}), \quad (20)$$

де M_{np} – найбільший за величиною із згинальних моментів в прогінних комбінованих

перерізах плитних ділянок збірних ребристих плит;

f_{s2} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури A_{s2} відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу;

A_{s3} – площа перерізу армування верхньої полиці збірної залізобетонної плити, що підсилюється, шириною $b=1$ м;

f_{s3} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури A_{s3} відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована верхня полиця збірної залізобетонної плити, що підсилюється, шириною $b=1$ м;

z_2 – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s2} до точки рівноваги в стиснутій зоні розрахункового комбінованого перерізу, яку визначаємо за формулою:

$$z_2 = d - a_{s1} - a_{s2}, \quad (21)$$

де A_{s2} – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s2} у нижній зоні додаткового залізобетонного шару набетонування до його нижньої грані.

Перевірка дотриманні вимог міцності на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, та визначення площі перерізів елементів додаткового їх армування у разі недостатньої їх несучої здатності.

Міцність на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних залізобетонних плит перекриття при дії максимального поперечного зусилля V_{max} буде задовольнятися при дотриманні умови:

$$V_{max} \leq V_c + V_{sw} + V_{s,inc}, \quad (22)$$

де V_{max} – максимальне поперечне зусилля, яке виникає в поздовжніх ребрах збірних плит перекриття на ділянках поблизу опор;

$V_c, V_{sw}, V_{s,inc}$ – поперечні внутрішні зусилля, які сприймаються відповідно бетоном, арматурними поперечними (вертикальними) і похилими (відгинами) стержнями, які визначаємо за наступними залежностями:

$$V_c = (1 + \varphi_f) \times 2\sqrt{f_{c2}} b_w h_0 + 2\sqrt{f_{c1}} b_f d; \quad (23)$$

$$V_{sw} = \frac{A_{sw1} f_{sw1} h_0}{s}; \quad (24)$$

$$V_{s,inc} = f_{s,inc} \times A_{s,inc} \times \sin \alpha, \quad (25)$$

де f_{c2} – розрахунковий опір на стиск важкого бетону відповідно п.3.1 норм [12] залежно від його класу, із якого виготовлена (улаштована) збірна залізобетонна плита, що підсилюється;

b_w – ширина ребра приведенного розрахункового комбінованого перерізу збірної плити перекриття, що підсилюється;

b_f – ширина полиці приведеного розрахункового комбінованого перерізу збірної плити перекриття, що підсилюється;

$A_{sw1}; s$ – площа перерізу (A_{sw1}) вертикальних (поперечних) стержнів (хомутів) і їх крок (s) на приопорних ділянках поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилюються;

f_{sw1} – розрахунковий опір на розтяг поперечної (вертикальної) арматури A_{sw1} відповідно п.3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армоване поздовжнє ребро збірних плит перекриття, що підсилюються, на приопорних їх ділянках;

ϕ_f – коефіцієнт, який враховує вплив стиснених полиць в таврових елементах:

$$\phi_f = 0,75 - \frac{(b'_f - b_w) \times t}{b_w h_0} \leq 0,5,$$

$$\text{де} \quad b'_f \leq b_w + 3t. \quad (26)$$

Якщо умова (22) не задовольняється, то визначаємо необхідну величину площі додаткових поперечних (вертикальних) елементів (A_{sw2}), за допомогою яких буде забезпечуватися несуча здатність на зріз поздовжніх ребер плит перекриття, що підсилені на приопорних ділянках:

$$A_{sw2} = \frac{V_{\max} - V_c - V_{sw} - V_{s,inc}}{f_{sw2}}, \quad (27)$$

де f_{sw2} – розрахунковий опір на розтяг додаткового елемента поперечного (вертикального) армування A_{sw2} відповідно п. 3.2 норм [12] чи [13] залежно від її класу чи марки сталі.

Конструювання компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття. Проектування конструктивних елементів підсилення було виконане для реконструкції перекриття підвального приміщення складської будівлі з неповним несучим каркасом (див. рис. 4) в приміщення подвійного призначення під укріття ІV-го класу, яке повинне сприймати квазістатичне еквівалентне навантаження величиною $\Delta P_{ex} = P_1 = 100$ кПа згідно вимог п. 14.1.2.2 ДБН В.2.2-5:2023 [1]. Перекриття підвалу улаштоване із збірних залізобетонних ребристих плит за серією ИИ24-1/70 розмірами у плані $L \times B = 5,6 \times 1,5$ м (марок ИП1-2...ИП1-6) та $L \times B = 5,6 \times 0,75$ м (марок ИП3-1...ИП3-5), висотою перерізу $h = 400$ мм та ригелів таврового перерізу. Товщина полиці плит становить $h_{\delta} = 50$ мм, висота поперечних ребер, які встановлені з кроком $s = 1,5$ м в прогоні плит марок

ИП1-2...ИП1-6, – $h_{\delta} = 200$ мм, а крайніх опорних поперечних ребер – $h_{\delta} = 400$ мм. Плити перекриття за серією ИИ24-1/70 виготовлені із бетону марок М200 і М300, армування поздовжніх ребер виконане із плоских арматурних каркасів, які улаштовані в розтягненій зоні – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 18... \varnothing 28$ мм класу А-ІІІ (А400 С), в стисненій зоні – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 8, \varnothing 10$ мм класу А-ІІІ (А400 С), поперечне армування на ділянках поблизу опор – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 8$ і $\varnothing 10$ мм класу А-ІІІ (А400 С), які встановлені з кроком $s = 150$ мм. Армування полиць плит улаштоване плоскими сітками із арматурних стержнів $\varnothing 4$ і $\varnothing 5$ мм класу Вр-І, які встановлені з кроком $s = 200$ мм у поздовжньому і поперечному напрямках плит. В результаті інструментального обстеження неруйнівним методом була встановлена міцність бетону на стиск в плитах перекриття підвального приміщення, яка відповідає марці бетону М250 (клас бетону В20; С16/20; $f_{cd} = f_{c2} = 11,5$ МПа). Також в результаті інструментального обстеження була встановлена товщина захисного шару бетону ($t = 30$ мм) між нижньою площиною ребра плити і зовнішньою гранню нижнього поздовжнього арматурного стержня, який виготовлений діаметром $\varnothing 20$ мм, класу А-ІІІ ($A_s = 3,14$ см²), що відповідає марці плити ИП1-2, яка запроектована на розрахункове повне навантаження $q = 1,2$ т/м³, і встановлена величина між його поздовжньою віссю і нижньою площиною ребра плити: $a = 40$ мм, тоді робоча висота перерізу поздовжнього ребра при його армуванні в розтягненій зоні одним поздовжнім стержнем $\varnothing 20$ мм, класу А-ІІІ становить $h_0 = h - a - \varnothing / 2 = 360$ мм. Поперечне армування поздовжніх ребер плит марки ИП1-2 улаштоване із стержнів діаметром $\varnothing 8$ мм ($A_{sw} = 0,503$ см²) класу А-ІІІ (А400 С), які встановлені на приопорних ділянках з кроком $s = 150$ мм. Армування полиць плит перекриття марки ИП1-2 улаштоване плоскими сітками із арматурних стержнів $\varnothing 4$ мм класу Вр-І, які встановлені з кроком $s = 200$ мм у поздовжньому і поперечному напрямках плит.

Конструктивні компоненти (елементи) підсилення збірних залізобетонних плит перекриття шляхом нарощування їх перерізу улаштовані: додатковий залізобетонний шар набетонування товщиною $d = 300$ мм із бетону класу С25/30 (В30) $f_{cd} = f_{c1} = 17,0$ МПа, арму-

вання – із стержнів арматурної сталі класу А400С; горизонтальний елемент затяжки – із прокатного гарячекатаного фасонного і листового металу марки сталі С245; похилий елемент і додаткові вертикальні елементи шпренгельної затяжки – із прокату гарячекатаного круглого марки сталі С355.

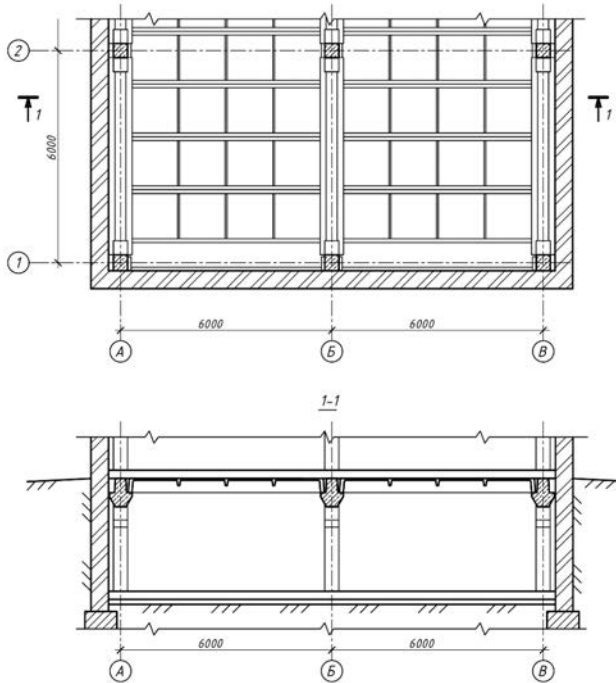


Рис. 4. Фрагмент плану перекриття будівлі (вигляд знизу) та її розріз на рівні підвального поверху

Розрахункове погонне навантаження на поздовжнє ребро плити становило:

$q = (q_n + p) \times B / 2 = (13,06 + 120) \times 15 / 2 = 99,795 \text{ кН} / \text{м}$
 де $q_n = 3,25 + 0,3 \times 25 \times 1,1 + 0,05 \times 24 \times 1,3 = 13,06 \text{ кПа}$
 постійне сумарне розрахункове навантаження від ваги: збірної ребристої плити перекриття на поздовжнє ребро $q_{nl} = 3,25 \text{ кН} / \text{м}^2$ за серією ИИ24-01/70; додаткового залізобетонного шару набетонування щільністю $\gamma_{зб} = 25 \text{ кН} / \text{м}^3$, мінімальною товщиною $d = 300 \text{ мм}$ (згідно вимог п. 14.2.3.4 норм [11]); конструкції мозаїчної бетонної підлоги з середньою щільністю $\gamma_n = 24 \text{ кН} / \text{м}^3$, товщиною $h_n \geq 50 \text{ мм}$; $p = P_1 \times k_0 = 100 \times 1,2 = 120 \text{ кПа}$ – розрахункове квазістатичного еквівалентного навантаження на 1 м^2 від дії надмірного тиску повітряної ударної хвилі згідно вимог п. 14.1.1.1 і даних табл. А1 в додатку А норм [1].

Визначаємо величини внутрішніх зусиль в розрахункових комбінованих перерізах поздовжнього ребра і плитних ділянках збірної залізобетонної плити перекриття, що під-

силюється, яка має розрахунковий прогін $l_0 = 5,55 \text{ м}$ (див. рис. 5):

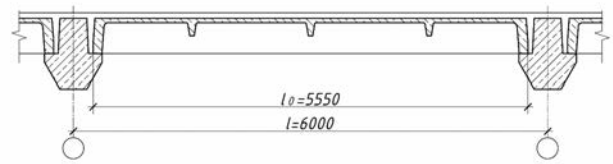


Рис. 5. Розрахунковий прогін збірної залізобетонної плити перекриття

$$M_{\max} = q \times l_0^2 / 8 = 99,795 \times 5,55^2 / 8 = 384,24 \text{ кНм}$$

$$V_{\max} = q \times l_0 / 2 = 99,795 \times 5,55 / 2 = 276,93 \text{ кНм}$$

$$M_{np} = \alpha \times q_{nl} \times l_1 \times l_2 = 0,0179 \times 131,185 \times 1,245 \times 1,25 = 3,654 \text{ кНм}$$

$$M_{on} = \beta \times q_{nl} \times l_1 \times l_2 = 0,0417 \times 131,185 \times 1,245 \times 1,25 = 8,513 \text{ кНм}$$

де $l_1 = 1,245 \text{ м}$ – розрахунковий прогін плитної ділянки збірної залізобетонної плити перекриття у поперечному її напрямку;

$l_2 = 1,25 \text{ м}$ – розрахунковий прогін плитної ділянки збірної залізобетонної плити перекриття у поздовжньому її напрямку;

α, β – емпіричні коефіцієнти, які враховують відношення сторін плитної ділянки збірної плити l_2 / l_1 і тип її обпирання, були прийняті для випадку защемлення її усіх чотирьох сторін, коли $l_2 / l_1 = 1$;

$q_{nl} = (0,05 + 0,3) \times 25 \times 1,1 + 0,05 \times 24 \times 1,3 + 100 \times 1,2 = 131,185 \text{ кПа}$ – сумарне повне розрахункове навантаження, яке діє на плитні ділянки збірних плит перекриття, що підсилюються.

В результаті розрахунків за вище викладеними залежностями (5–12), (14), (18–21) були отримані значення величин: коефіцієнта $n = 3,655$; площ горизонтального елемента затяжки $A_{sd} = 13,4 \text{ см}^2$ (при $f_s = 365 \text{ МПа}$), $A_{sd} = 22,64 \text{ см}^2$ (при $f_s = 216 \text{ МПа}$) і похилого елемента затяжки $A_{s,inc} = 19,0 \text{ см}^2$ (при $f_s = 365 \text{ МПа}$); площ армування верхньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування у поздовжньому напрямку плити $A'_s = 1,6 \text{ см}^2$; площ армування верхньої і нижньої зон додаткового залізобетонного шару набетонування у поперечному напрямку плити відповідно $A_{s1} = 0,79 \text{ см}^2$, $A_{s2} < 0$ (армування комбінованого перерізу арматурою $5\text{Ø}4 \text{ мм}$, класу Вр-І плитної ділянки збірної плити перекриття марки ИП1-2 в її прогоні є достатнім).

Конструктивні рішення щодо проектування компонентів (елементів) комбінованих розрахункових перерізів при підсиленні поздовжніх ребер двох сумісних збірних залі-

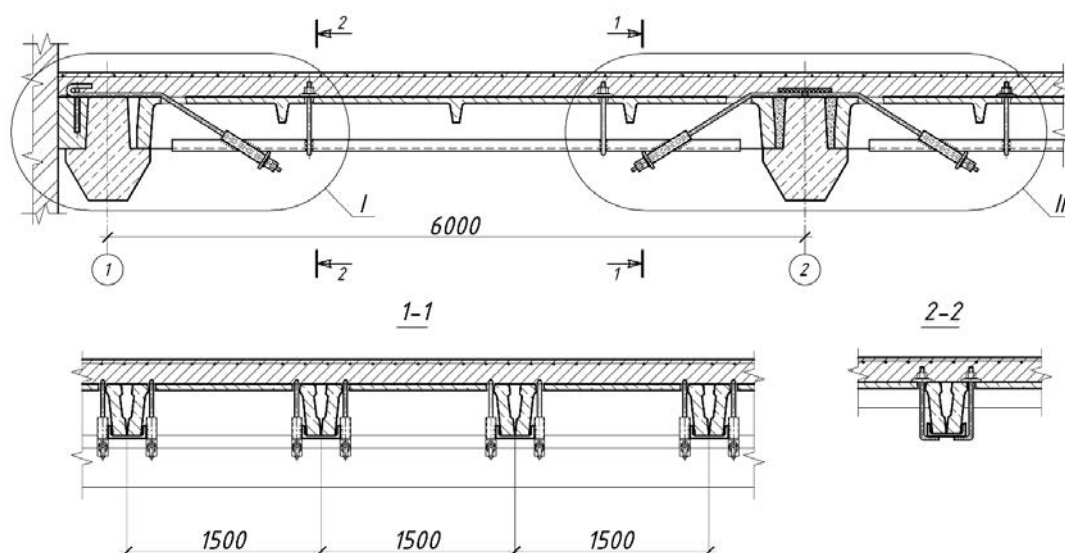


Рис. 6. Загальний вигляд конструктивного рішення підсилення збірних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної зтяжки; вузли I і II приведені на рис. 7 і рис. 8

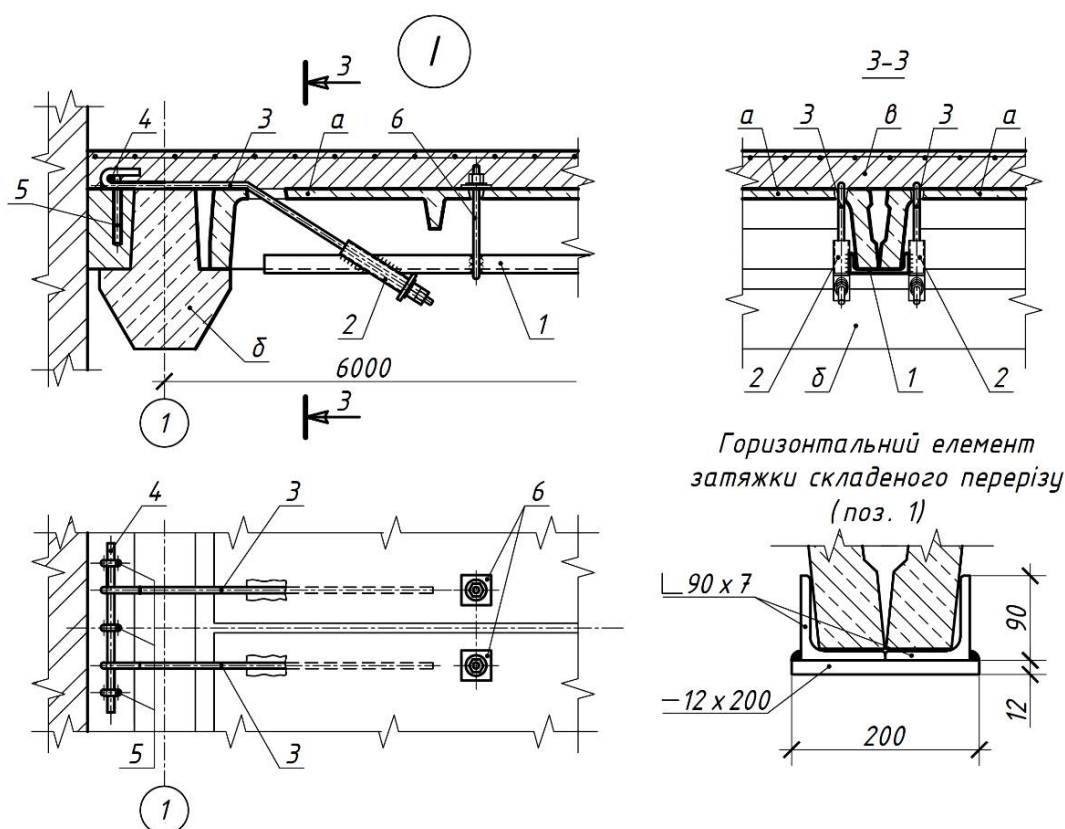


Рис. 7. Конструктивне рішення підсилення ребристих плит перекриття поблизу крайньої опори плит на збірні залізобетонні ригелі таврового перерізу: 1 – горизонтальний елемент зтяжки (швелер № 33 або складеного перерізу); 2 – вузол кріплення похилого елемента до горизонтального елемента зтяжки (труба 80x80x7 мм; полоса – 12x100x100 мм); 3 – похилий елемент зтяжки (стержень Ø56 мм); 4 – горизонтальний елемент кріплення похилих елементів зтяжки до анкерних елементів (стержень Ø32 мм); 5 – анкерний елемент кріплення зтяжки на крайній опорі перекриття; 6 – вертикальний Г-подібний елемент кріплення горизонтального елемента зтяжки (стержень Ø20 мм); а – існуюча ребриста плита перекриття; б – ригель; в – монолітний залізобетонний шар набетонування, що влаштовується зверху плити для її підсилення

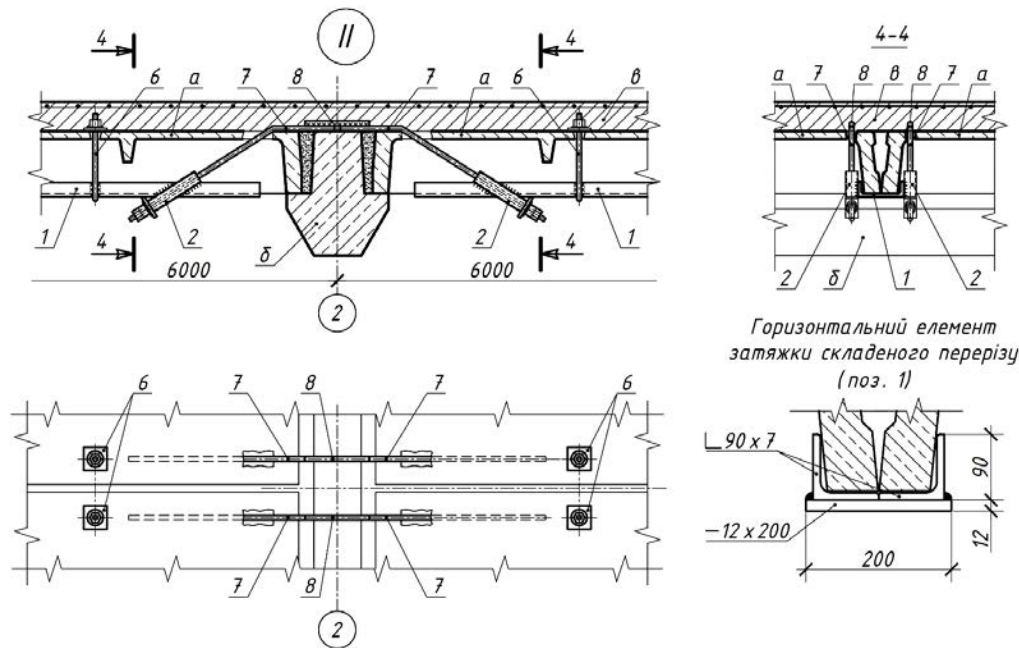


Рис. 8 Конструктивне рішення підсилення ребристих плит перекриття на проміжній опорі:
 1 – горизонтальний елемент зтяжки; 2 – вузол кріплення похилого елемента до горизонтального елемента зтяжки; 6 – вертикальний Г-подібний елемент кріплення горизонтального елемента зтяжки (стержень $\varnothing 20$ мм); 7 – похилий елемент зтяжки (стержень $\varnothing 56$ мм); 8 – елемент з'єднання похилих елементів зтяжки (стержень $\varnothing 56$ мм); а – існуюча ребриста плита перекриття; б – ригель; в – монолітний залізобетонний шар набетонування, що влаштовується зверху плити для її підсилення.

зобетонних плит перекриття підвального приміщення будівлі (див. рис. 6, рис. 7 і рис. 8): переріз горизонтального елемента зтяжки приймаємо із прокатного швелера № 33 ($A_a = 46,5 \text{ см}^2$) або складеного перерізу із двох кутиків $\angle 90 \times 90 \times 7$ мм і прокатної полоси перерізом $t \times b = 12 \times 200$ мм ($\Sigma A_a = 48,6 \text{ см}^2$), які з'єднуємо між собою по довжині у С-подібний профіль (див. рис. 7 і рис. 8); похилі елементи зтяжки приймаємо із одного стержня перерізом із прокату круглого діаметром $\varnothing 56$ ($A = 24,63 \text{ см}^2$) під метричну різьбу М56 (внутрішній діаметр $\varnothing 50,05$ мм, $A = 19,64 \text{ см}^2$) (див. рис. 7 і рис. 8) або двох стержнів діаметром $2\varnothing 42$ ($\Sigma A = 27,7 \text{ см}^2$) під метричну різьбу М42 (внутрішній діаметр $\varnothing 37,13$ мм, $\Sigma A = 10,8 \times 2 = 21,9 \text{ см}^2$). Для закріплення до верхньої полиці збірних плит горизонтального елемента зтяжки і фіксації його в проектному положенні додатково встановлюються вертикальні елементи, які улаштовують із прокату гарячекатаного круглого діаметром $\varnothing 20$ мм під метричну різьбу М20 (див. рис. 7 і рис. 8). Армування верхньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування здійснюємо арматурною сіткою із стержнів діаметром $\varnothing 5$ мм, класу Вр-I, які встановлю-

ємо у поперечному напрямку плити з кроком $s = 200$ мм ($5\varnothing 5$ мм на 1 м.п., $\Sigma A = 0,982 \text{ см}^2$) та в поздовжньому напрямку плити – з кроком $s = 175$ мм ($9\varnothing 5$ мм на ширині плити $B = 1$, $\Sigma A = 1,7 \text{ см}^2$). Армування нижньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування здійснюємо конструктивно арматурною сіткою із стержнів діаметром $\varnothing 3$ мм, класу Вр-I, які встановлюємо у поперечному і поздовжньому напрямках плити з кроком $s = 200$ мм.

Несуча здатність комбінованого перерізу збірної плити перекриття, яка підсилена шляхом нарощування перерізу, становить при перевірці умов (13) і (22): на згин – $M = 436,98 \text{ кНм}$, що більше на 13,7% від $M_{\max} = 384,24 \text{ кНм}$; на зріз – $V = 720,24 \text{ кН}$, що більше в 2,6 рази від $V_{\max} = 276,93 \text{ кН}$.

Висновки. Запропонована методика розрахунку і проектування конструктивного рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної зтяжки дозволяє: враховувати наявне армування поздовжніх ребер і плитних ділянок збірних плит; забезпечити міцність розрахункових перерізів підсилених збірних плит

перекриття на ділянках згину і зрізу; удосконалити технологічні рішення і послідовність монтажу (улаштування) з мінімальними витрати конструктивних елементів (компонентів) підси-

лення плит перекриття типу (марок) ІП1-ІП4 за серією ІІІІ24-1/70, які безпосередньо обпираються на збірні залізобетонні ригелі несучого каркасу будівель (споруд).

Література

1. ДБН В.2.2-5:2023 зі Зміною №1. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2023. 121 с.
2. ДБН Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2017. 72 с.
3. Flexural and Shear Strengthening of Reinforced-Concrete Beams with Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) / F. B. Ahmed et al. *Construction Materials*. 2024. Vol. 4, no. 2. P. 468–492. URL: <https://doi.org/10.3390/constrmater4020025>
4. Abbas H. M., Kadhim M. M. A. Review of Behavior Flexural Strengthened RC Beams Using Ultra-High Performance Concrete. *Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias*. 2024. Vol. 3. P. 854. URL: <https://doi.org/10.56294/sctconf2024854>
5. Mand, K.A., Ali, F.H., Yaman, S.S.A., “Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: a state of the art”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, pp. e01189, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
6. Askar M. K., Hassan A. F., Al-Kamaki Y. S. S. Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: A state of the art. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. P. e01189. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
7. Азізова А.Г. Підсилення залізобетонних балок шляхом нарощування перерізу розтягнутої зони / А.Г. Азізова, Д.М. Овсій. Тези 76-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 14 травня – 23 травня 2024 р.). – Полтава: Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. – Т.1.– С. 194-195.
8. Аналіз факторів впливу на напружено-деформований стан залізобетонний балок, які підсилені шляхом нарощування поздовжньої арматури / А.Г. Азізова, Д.М. Овсій, О.М. Овсій. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*: тези доповідей 10-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (20-22 листопада 2024 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С. 138-140.
9. Галінська Т.А. Підсилення збірних залізобетонних перекриттів приміщень сховищ в будівлях і спорудах закладів освіти / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій. Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 2-25 травня 2023 р.). – Полтава: НУПІ імені Юрія Кондратюка, 2023. – С. 187-189.
10. Галінська Т.А. Проектування оптимального (раціонального) армування сталезалізобетонних плитних і балкових елементів перекриттів для захисних споруд укриття / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій. Тези IV-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції" (26-27 квітня 2023 року, м. Київ) – К.; КНУБА, 2023. – С. 73-74.
11. Галінська Т. Удосконалення методики розрахунку міцності на згин сталезалізобетонних балкових елементів / Т. Галінська, Д. Овсій. *Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022)*. Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науково-технічної конференції. (Полтава, 20-22 червня 2022 р.). – Полтава: НУПІ імені Юрія Кондратюка, 2022. – С. 11-14.
12. ДБН В.2.6-98:2009 зі Зміною №1. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку та територій України, 2020. 71 с.
13. ДБН В.2.6-198:2014 зі Зміною №1. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2014. 205 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-216:2016 Розрахунок і конструювання з'єднувальних елементів сталезалізобетонних конструкцій. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2016. 46 с.

References

1. Mininfrastruktury Ukrainy. (2023) DBN V.2.2-5:2023 zi Zminoio №1. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu [Civil Protection Shelters].
2. DP «UkrNDNTs». (2016) DBN B V.3.1-2:2016 Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnnykh konstrukttsii ta osnov budivel i sporud. [Repair and Strengthening of Load-Bearing and Enclosing Building Structures and Foundations of Buildings and Structures].
3. Ahmed, F. B., Biswas, R. K., Sen, D., & Tasnim, S. (2024). Flexural and Shear Strengthening of Reinforced-Concrete Beams with Ultra-High-Performance Concrete (UHPC). *Construction Materials*, 4(2), 468–492. <https://doi.org/10.3390/constrmater4020025>
4. Abbas, H. M., & Kadhim, M. M. A. (2024). Review of Behavior Flexural Strengthened RC Beams Using Ultra-High Performance Concrete. *Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias*, 3, 854. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024854>
5. Mand, K.A., Ali, F.H., Yaman, S.S.A., “Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: a state of the art”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, pp. e01189, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
6. Askar, M. K., Hassan, A. F., & Al-Kamaki, Y. S. S. (2022). Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: A state of the art. *Case Studies in Construction Materials*, Artykul e01189. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
7. Azizova A. G., Ovsii D.M. (2024) Pidsylennia zalizobetonnykh balok shliakhom naroshchuvannia pererizu roztyahnutoi zony. [Strengthening of Reinforced Concrete Beams by Increasing the Cross-Section of the Tensioned Zone]. Tezy 76-yi naukovoї konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv universytetu, 1, 194-195.
8. Azizova A.G., Ovsii D.M., Ovsii O.M. (2024) Analiz faktoriv vplyvu na napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnyi balok, yaki pidsyleni shliakhom naroshchuvannia pozdovzhnoi armatury [Analysis of Factors Influencing the Stress-Strain State of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Longitudinal Reinforcement Enlargement]. Problemy nadinosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud i budivel na zaliznychnomu transporti: tezy dopovidei 10-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf, 138-140.
9. Galinska T.A., Ovsii D.M., Ovsii O.M. (2023) Pidsylennia zbirnykh zalizobetonnykh perekryttiv prymishchen skhovyshch v budivliakh i sporudakh zakladiv osvity [Strengthening of Prefabricated Reinforced Concrete Ceilings in Shelter Rooms of Educational Buildings]. Tezy 75-yi naukovoї konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv Natsionalnoho universytetu «Poltavska politekhnika imeni Yurii Kondratiuka», 1, 187-189.
10. Galinska T.A., Ovsii D.M. (2023) Proektuvannia optymalnoho (ratsionalnoho) armuvannia stalezalizobetonnykh plytnykh i balkovykh elementiv perekryttiv dlia zakhysnykh sporud ukryttia [Design of Optimal (Rational) Reinforcement for Steel-

- Reinforced Concrete Slab and Beam Elements of Shelter Structures]. Tezy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Budivli ta sporudy spetsialnoho przyznachennia: suchasni materialy ta konstruktsii», 73-74.
11. Galinska T.A., Ovsii D.M. (2022) Udoskonalennia metodyky rozrakhunku mitsnosti na zghyn stalezalizobetonnykh balkovykh elementiv [Improvement of the Methodology for Calculating the Flexural Strength of Steel-Reinforced Concrete Beam Elements]. Kompleksni kompozytni konstruktsii budivel ta sporud v umovakh voiennoho stanu (CSCS-2022). Zb. nauk. pr. za materialamy XIV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 11-14.
12. Ministerstvo rozvytku ta terytorii Ukrainy. (2020) DBN V.2.6-98:2009 zi Zminoiu №1. Betonni i zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. [Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions].
13. Minrehion Ukrainy. (2014) DBN V.2.6-198:2014 zi Zminoiu №1. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia. [Steel Structures. Design Standards].
14. Minrehion Ukrainy. (2016) DSTU B V.2.6-216:2016 Rozrakhunok i konstruiuvannia ziednuvalnykh elementiv stalezalizobetonnykh konstruktsii. [Calculation and Design of Connecting Elements of Steel-Reinforced Concrete Structures].

STRENGTHENING OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE RIBBED FLOOR SLABS BY INCREASING THE CROSS-SECTION WITH AN ADDITIONAL REINFORCED CONCRETE LAYER IN THE COMPRESSED ZONE AND REINFORCEMENT IN THE TENSIONED ZONE IN THE FORM OF A SPRENGEL TIE

Abstract. When amplifying beam and slab reinforced concrete elements by increasing the cross-section in both the tensioned and compressed zones, a number of challenges arise. These challenges stem from the need to determine the optimal parameters of the strengthening components — such as cross-sectional dimensions and material properties — within a combined section, where the number of variables is $n \geq 3$. The determination of strengthening component dimensions requires a step-by-step approach, where one component's value is initially set. This leads to additional labor costs in calculations and results in multiple solutions, not all of which are technologically or economically efficient.

An analytical method for calculating the reinforcement cross-sections of prefabricated reinforced concrete ribbed floor slabs is presented. This method enables simultaneous cross-section enlargement in both the compressed and tensioned zones while accounting for bending and shear load-bearing capacity, including the existing reinforcement in spans and support areas.

The calculation and design sequence for strengthening structural elements of prefabricated reinforced concrete ribbed slabs of types IP1-2 and IP3-1 (series II24-1/70) is provided. These slabs have plan dimensions of 5.6×1.5 m and 5.6×0.75 m, with a cross-sectional height of $h = 400$ mm. Strengthening is achieved by adding an extra reinforced concrete layer in the compressed zone and reinforcement in the tensioned zone in the form of a sprengel tie. This approach is applied during the reconstruction of a basement into a dual-purpose shelter (Class IV), designed to withstand a quasi-static equivalent load of 100 kPa, as specified in clause 14.1.2.2 of DBN B.2.2-5:2023 [1].

The proposed methodological approach to strengthening prefabricated reinforced concrete ribbed slabs can also be applied in the calculation and design of structural reinforcement components for precast hollow-core slabs and monolithic reinforced concrete beam-slab systems during building and structure reconstruction, revitalization, or damage restoration.

Key words: prefabricated reinforced concrete ribbed floor slabs. strengthening by increasing the cross-section simultaneously in the compressed and tensioned zones, additional reinforced concrete layer on top, sprengel tie, calculation and design methodology.

Azizova A.G.

Postgraduate student at the Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava

Ovsii O.M.

Leading specialist at the Department of analysis of innovative activity and intellectual property, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava

Ovsii D.M.

Ph.D., Senior Lecturer, Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava

Striuk R.I.

Postgraduate student at the Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava