

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОМПАКТНИХ СТАЛЕВИХ БАЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПІДСИЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПОКРИТТЯ

¹Вінницький національний технічний університет²Державний університет «Житомирська політехніка»³Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця

У статті розглянуто вирішення важливої науково-практичної задачі моделювання напружено-деформованого стану будівельних багатоелементних балочних конструкцій підсилення аварійних збірних залізобетонних ребристих плит на прикладі реальної офісної будівлі «Вінницького інноваційно-технологічного парку», що проектується на території колишніх виробничих приміщень заводу «Кристал». Ці плити покриття, які служать для підтримання шарів плоскої покрівлі, протягом тривалої експлуатації набули значних силових пошкоджень, тобто, мали усі ознаки досягнення першої і другої груп граничних станів. Але їх заміна, через пізнє виявлення дефектів та економічні чинники, була фактично унеможливлена. Крім того, за завданням архітектора проекту була сформульована додаткова вимога до проектних рішень щодо мінімального виступу (випирання) конструкцій підсилення з-під просвіту плит для забезпечення проектної будівельної висоти стелі приміщень під аварійними плитами. Тому, під час вказаних науково-практичних робіт, постала потреба у розробці нестандартної методики підсилення, саме, компактними балочними конструкціями із повним виключенням з роботи дефектних залізобетонних плит покриття. Запропоноване рішення підсилення у вигляді багатоелементної системи з балок швелерного перерізу малої висоти, що часто розкріплені з площини згину гнутими профілями. Авторами наукових досліджень, також, була вирішена складна задача забезпечення включення запропонованої багатоелементної системи з компактних сталевих балок підсилення в загальну роботу несучих конструкцій покриття шляхом тимчасового вирівнювання і розвантаження аварійних конструкцій домкратними системами та підклинювання всіх елементів. Розроблена раціональна технологічна послідовність виконання робіт в якій особлива увага приділялася питанням техніки безпеки, взагалі, та пожежної безпеки підсилення конструкцій зокрема. Наведенні у статті конструктивні та технологічні пропозиції було з успіхом реалізовано на практиці.

Ключові слова: граничні стани, силові тріщини, залізобетонні ребристі плити покриття, компактні балки підсилення, багатоелементні металеві системи, напружено-деформований стан.

Вступ

На сьогодні в Україні ведуться роботи з модернізації неефективних радянських підприємств, які, внаслідок економічних та екологічних чинників, тривалий час не працюють або повністю закриті. Одним з таких підприємств у м. Вінниці був завод «Кристал» збудований на початку 70-х років ХХ сторіччя, основним профілем якого було виготовлення ювелірних виробів та органка алмазів. Підприємство побудоване у центрі великого спального мікрорайону Вишенька. Через економічну кризу, воєнний стан і втрату традиційного постачальника алмазів (Якутське родовище) робота підприємства була суттєво обмежена, а, з початком воєнних дій – зупинена. Вартісне закордонне обладнання з окремих виробничих цехів було вивезене. Перед Вінницькою міською радою постало непросте завдання ефективного використання площ, що вивільнилися. Шляхом техніко-економічного порівняння проектних пропозицій міською радою було обрано проект реконструкції частини виробничих приміщень заводу «Кристал» з перепрофілюванням у виробничо-офісний центр «Вінницького інноваційно-технологічного парку». Враховуючи аналіз видів діяльності підприємств (молодіжні стартапи, дрібні підприємці, ІТ фахівці, мале виробництво та інші), що потребують швидкої підтримки в виробничих приміщеннях і експертній підтримці, владою прийнято раціональне рішення про необхідність термінового впровадження проекту щодо введення в експлуатацію приміщень технологічного парку з використанням цих площ (рис. 1).

Відтак, проектом реконструкції планувалося вирішити комплексні проблеми міста, пов'язані з відсутністю єдиного майданчику для роботи дрібних підприємців з суміжними галузями, виробничих приміщень для місцевого і релокованого бізнесу, місць для роботи інноваційних стартапів тощо [1].



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд виробничо-офісного центру «Вінницького інноваційно-технологічного парку»: а – проектний [1], б – фактичний на момент обстеження

Один з розділів проекту реконструкції, розроблений за участі авторів статті, був присвячений підсиленню аварійних збірних залізобетонних ребристих плит покриття. Такі плити у кількості 2 штук були виявлені у осях «1-2» – «В-В/1», поблизу фасаду будівлі. Зазначені існуючі плити, які служать для підтримання конструкцій покрівлі майбутнього офісного центру, протягом тривалої експлуатації набули значних силових пошкоджень, виявлених в результаті обстеження, проведеного за методикою [3] а саме: виявлені наскрізні силові тріщини з викришуванням тіла бетону, оголенням та корозією робочого армування у повздовжніх ребрах плит, масові волосяні тріщини в центрі прольоту плити, тріщини у плитній частині плит, тріщини у окремих поперечних ребрах плит, понаднормативні прогини у плитах покриття стрілою близько 50-70 мм (рис. 2). Тобто, плити покриття мали усі ознаки досягнення першої групи граничних станів а, отже, досягли граничних станів першої та другої груп.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд та технічний стан дефектних ребристих плит покриття: руйнування тіла бетону в центрі прольоту повздовжнього ребра плити з оголенням арматури, наскрізні вертикальні силові тріщини на ділянці більше 0,5 м, понаднормативні прогини плити

Звісно, у звичайних умовах, найбільш раціональним варіантом усунення аварійності дефектних конструкцій покриття була б їх повна заміна.

Однак, внаслідок тимчасової недоступності до обстеження фрагмента будівлі під ними, зайнятого працюючим технологічним електричним силовим устаткуванням, дефектні конструкції не були вчасно

оглянуті та демонтовані під час виконання основних будівельно-монтажних робіт з реконструкції. Інформація щодо аварійності окремих плит з'явилася тільки після улаштування утеплення покрівлі і монтажу неперервних мембранних конструкцій покриття. Відповідно, рекомендований вченими в таких ситуаціях демонтаж аварійних плит та всіх вище розташованих і суміжних конструкцій [2], встановлення нових плит покриття та відновлення покрівлі у вихідному стані виявився економічно не доцільним.

Постановка проблеми

Завдання пошуку раціонального підсилення дефектних ребристих плит покриття було суттєво ускладнене вимогами архітектора проекту щодо мінімального виступу (випирання) конструкцій підсилення з-під просвіту плит для забезпечення проектної будівельної висоти стелі приміщень під аварійними плитами для забезпечення нормативної висоти майбутнього офісного приміщення. Широко відомий з робіт відомого вченого А. І. Мальганова та Є. В. Клименко [4] метод підсилення залізобетонних плит покриття підведенням потужних розвантажуючих сталевих балок у даному випадку застосувати не можна, оскільки рекомендована вченими висота балок складає аж 220-240 мм (два двотаври № 22-24 за ДСТУ 8768:2018 [5] на плиту), водночас, фактично доступне місце улаштування підсилення не перевищує 130 мм. Закордонні компактні способи підсилення залізобетонних ребристих конструкцій наклеюванням карбонових стрічок зовнішнього армування на нижню поверхню повздовжніх ребер аварійних ребристих плит на сьогодні достатньо дорогі [6-8]. Крім того, через обмеженості доступу до приміщення кранового устаткування постала вимога у мінімізації ваги відправних марок конструкцій підсилення. Тому, під час вказаних науково-практичних робіт, постала потреба у розробці нестандартної методики підсилення компактними металевими балочними конструкціями із повним виключенням з роботи дефектних залізобетонних плит покриття з їх подальшим вогнезахистом. Перед проектувальниками, також, постала важлива проблема, пов'язана із забезпеченням включення запропонованої багатоеlementної системи з компактних сталевих балок підсилення в загальну роботу несучих конструкцій. До наукових завдань роботі слід віднести й розробку технологічних рекомендацій по виконанню робіт з підсилення.

Основна частина

Згідно з технічним завданням Замовника проєктована багатоповерхова будівля об'єкту «Вінницький інноваційно-технологічний парк» модернізується шляхом перебудови існуючої одноповерхової виробничо-складської будівлі одного з корпусів заводу «Кристал». Авторами статті запропоновано таке рішення підсилення двох ребристих плит покриття, які внаслідок невідомих причин зазнали руйнувань у вигляді наскрізних тріщин повздовжніх ребер, тріщин окремих поперечних ребер та окремих ділянок плитної частини, а, також, понаднормативних прогинів (понад 50-70 мм у незавантаженому стані). В процесі підсилення плити повністю виключаються з роботи. Всю несучу функцію при цьому на себе перебирає підведений під плити покриття компактних металокаркас з повздовжніх несучих та поперечних розкріплюючих балок (рис. 3).

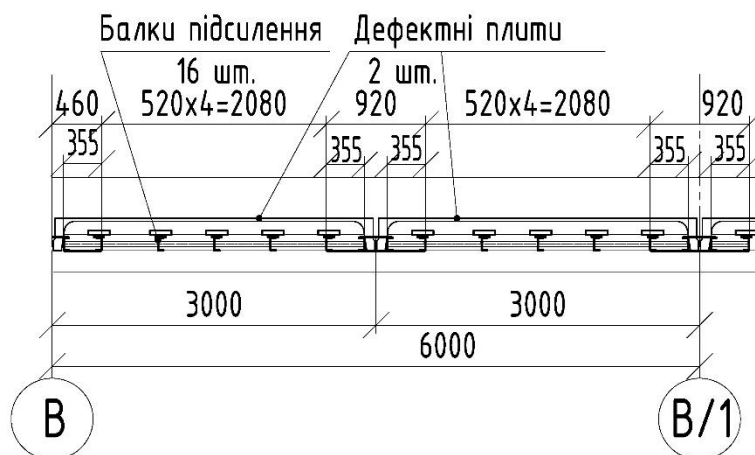


Рисунок 3 – Прийнята конструктивна схема перерізу підсилення дефектних плит

Для забезпечення необхідного рівня вогнезахисту всі металеві конструкції підсилення пропонується обробити вогнезахисним покриттям, товщина якого визначається розрахунками згідно з чинними пожежними нормами.

Згідно з проектною документацією на реконструкцію конструкція плоского даху в зоні двох дефектних плит суміщає в функції покриття і покрівлі. В процесі будівельних робіт покрівля суттєво розвантажується за рахунок демонтажу керамзитобетонного шару та заміні його на еквівалентний за товщиною шар екструдованого пінополістиролу. Проектна конструкція даху показана на рис. 4.

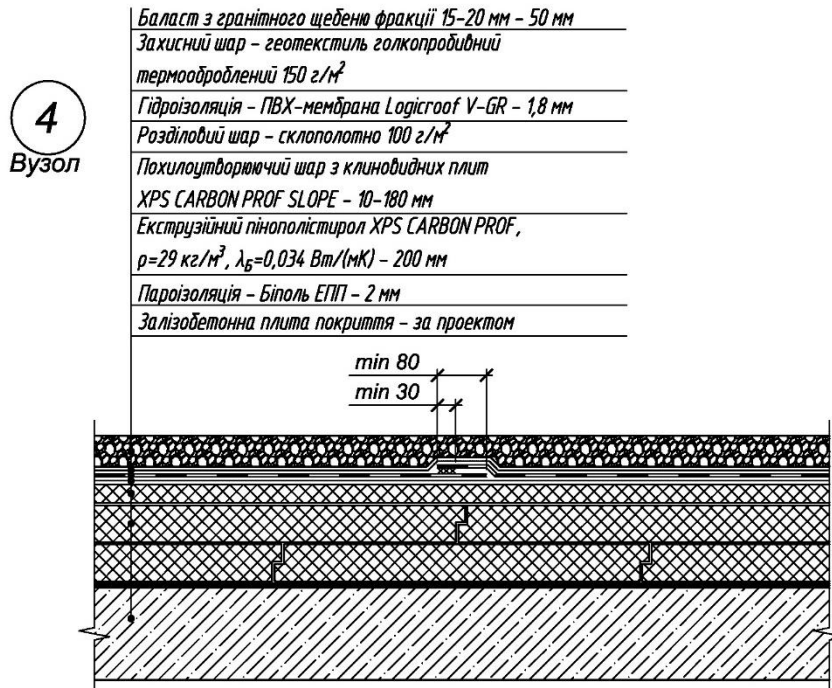


Рисунок 4 – Проектне конструктивне рішення суміщеного покриття системи SD-покрівля баласт будівлі у зоні дефектних плит

Згідно з розрахунками, що виконані у відповідності до ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [9] будівля віднесена до класу наслідків (відповідальності) СС-2 (середні наслідки). Конструкції покриття будівлі, загалом, відносяться до категорії відповідальності А (основні несучі конструкції). Тому, при виконанні розрахунків слід враховувати коефіцієнт надійності за відповідальністю $\gamma_n = 1,1$ – для першої групи граничних станів та $\gamma_n = 0,975$ – для другої групи ([9, табл. 5], усталені розрахункові ситуації). Рекомендований термін експлуатації будівлі громадського (після реконструкції) призначення (згідно з довідниковим додатком В ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [10]) – 100 років.

Територія, де розташований об'єкт реконструкції (м. Вінниця), згідно з класифікацією [10], знаходиться в 3-му вітровому, 4-му сніговому, 3-му ожеледному районі, і має наступні кліматичні характеристики:

- снігове навантаження – 1 360 Па;
- вітровий тиск – 470 Па;
- товщина кірки ожеледі – 17 мм;
- сейсмічність – до 6 балів згідно з картою ЗСР-2004-А ДБН В.1.1.12:2014 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України» [11].

Моделювання конструкцій підсилення та розрахунки за методикою граничних станів виконано згідно з чинними на цей час нормами [9 – 11], ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [12], ДСТУ Б В.2.6-3:2006 «Прогини і переміщення» [13].

З розрахункової точки зору прийнята система підсилення являє собою спрощену балочну систему зі статично визначених однопролітних балок, улаштовану врівень (рис. 5).

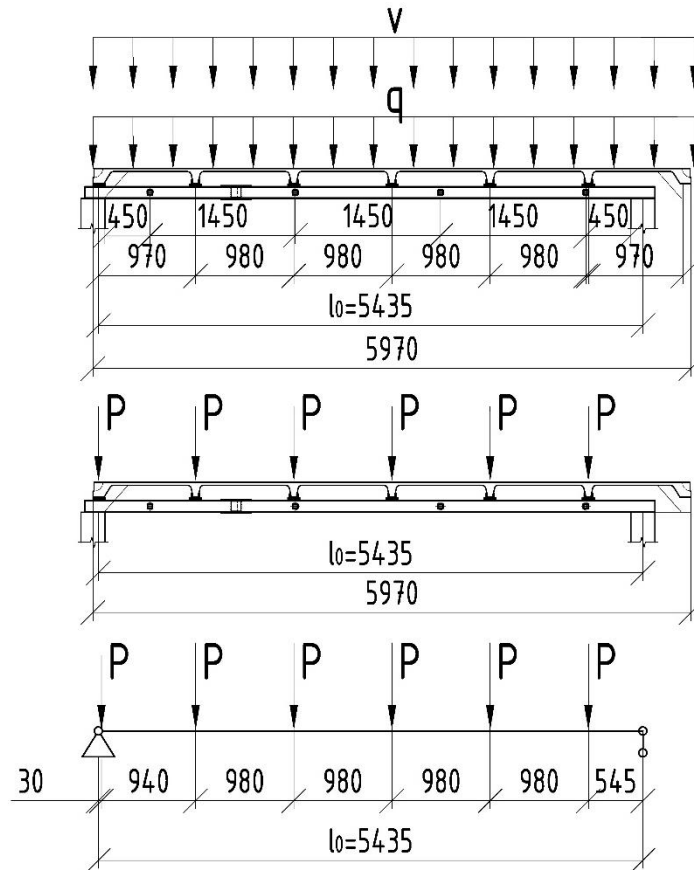


Рисунок 5 – Повздовжні схеми розрахункової балки підсилення: а – завантаження постійними і тимчасовими впливами, б – розкріплення балок, в – спрощена розрахункова схема балок

Спрощеним аналітичним та уточненим скінчено-елементним моделюванням напружено-деформованого стану конструкцій підсилення виявлено максимальні за модулем силові фактори, що виникають у найбільш завантаженій балці підсилення: M_{max} , Q_{max} . Максимальні згинальні моменти від експлуатаційних впливів складають M_{max} .

Після виконання оптимізаційних розрахунків, виявлено жорсткісні і міцнісні параметри компактних конструкцій підсилення, яке являє собою компакту систему металевих балок зі швелерів № 12 за ДСТУ 3436-96 [14], встановлених з кроком не більше 0,52 м, що розкріплені по довжині розпірками, улаштованими з кроком 1,45 м з гнутого профілю 50×50×4. Балки підведені під поперечні ребра плит, зафіксовані до них за допомогою відрізків швелерів №8П за [14] та розклинцьовані. Для забезпечення зв'язності роботи балки підсилення підведені, також, під сусідні працездатні плити і, також, розклинцьовані та об'єднані з балками підсилення дефектної плити у компактний по висоті диск жорсткості.

Перевірка міцності зігнутої балки за нормальними напруженнями згідно з методикою, викладеною у [12, п. 9.2 розділу 9]. Основні перевірки балок підсилення за граничними станами першої групи виконано за міцністю та стійкістю. Умова міцності найбільш навантаженого нормального перерізу балки підсилення, формула (1), умова міцності найбільш навантаженого перерізу балки підсилення при дії поперечної сили, формула (2) та умова стійкості балки підсилення при згині, формула (3) взяті з норм [12, розділ 9]:

$$\alpha = \frac{M \cdot \gamma_n}{W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{Q \cdot S_x \cdot \gamma_n}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{M \cdot \gamma_n}{\varphi_b \cdot W_{cx} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \quad (3)$$

В результаті виконаних розрахунків встановлено, що гарячекатаний швелер № 12П за [14] зі сталі С275 відповідає вказаним вимогам з максимальним коефіцієнтом використання $\alpha = 0,973 < 1$ (за стійкістю).

При перевірці балочної конструкції підсилення за другою групою граничних станів встановлено, що максимальні вертикальні деформації у конструкціях підсилення від експлуатаційних впливів складають Δz_{max} . Гранично допустимі прогини згідно з вимогами [13, табл. 1, п. в)], балки покриттів при наявності конструкцій, що зазнають розтріскування, $-f_u = l_0/150 = 5,435/150 = 36(\text{мм})$. Враховуючи коефіцієнт надійності за другою групою граничних станів $\gamma_n = 0,975$, умова жорсткості зігнутої балки підсилення (4) задовольняється:

$$f < f_u. \quad (4)$$

$$(f = 34,6\text{мм}) < (f_u = 36\text{мм}).$$

При обстеженні дефектних плит покриття виявлено, що максимальні прогини плит більше 50-70 мм, що набагато перевищує гранично допустиме значення згідно з вимогами [13, табл. 1] ($f_u = 36 \text{ мм}$). Отже, перед улаштуванням конструкцій підсилення для забезпечення сумісної роботи та перебирання на себе навантажень слід, по можливості, здійснити вирівнювання плит покриття домкратами та, після підсилення аварійних плит, улаштувати підвісну стелю, що приховує надмірні прогини х естетико-психологічних міркувань.

Рекомендована технологічна послідовність виконання ремонтно-відновлювальних робіт:

1. Виконання підготовчих робіт, що включає демонтаж інженерних комунікацій в зоні виконання робіт.
2. Уточнення розмірів сталевих деталей.
3. Вирівнювання дефектних плит за допомогою домкратів (рис. 6).
4. Фіксація положення дефектних плит телескопічними стійками (рис. 7), що слід встановлювати під повздовжні ребра плит по розвантажувальних балках, тимчасово улаштованих на підлозі.
5. Очищення поверхні дефектних плит від побілки, зруйнованого бетону з відновленням захисного шару бетону та ін'єктування тріщин ремонтними епоксидними сумішами.
6. Улаштування балочних металоконструкцій підсилення (рис. 7) із встановленням розкріплень з площини згину.
7. Демонтаж телескопічних стійок із контролем включення у роботу конструкцій підсилення шляхом вимірювання прогинів балок підсилення (ознакою включення є поява прогину в межах 15-20 мм).
8. Виконання антикорозійного захисту та вогнезахист металоконструкцій, встановлення вогнезахисних конструкцій підвісної стелі, яка відіграє додаткову функцію приховування дефектних конструкцій. Клас вогнестійкості металоконструкцій підсилення після здійснення усіх вогнезахисних заходів не нижче R30, M0.

Всі роботи з підсилення слід здійснювати з особливою обережністю з дотриманням правил техніки безпеки, оскільки роботи ведуться під аварійними конструкціями плит.

Для забезпечення розрахункового ступеня вогнестійкості приміщення (II) прийнято клас вогнестійкості конструкцій підсилення елементів суміщеного покриття R30 M0 (табл. 1 ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [14]). Оскільки незахищені металеві конструкції швелерів №12 (найбільш тонкий елемент – стінка ~ 5 мм) згідно [15] забезпечують межу вогнестійкості не більше 0,15 год. = 9 хв., тобто, клас вогнестійкості конструкції R9, що менше потрібного. Тому металоконструкції підсилення необхідно додатково захистити системою вогнезахисту.

Вогнезахист запроектовано сертифікованими спеціалістами, та заплановано до виконання ліцензованою фірмою, сертифікованими матеріалами у відповідності до регламенту робіт з вогнезахисту. Колективом авторів рекомендовано виконання вогнезахисту спеціальною фарбою «DEFENS MS», яка являє собою однокомпонентну вогнезахисну суміш (суспензію) цільових компонентів і пігментів в органічному розчиннику з додаванням добавок, що модифікують і стабілізують. Покриття зазначеною вогнезахисною фарбою підвищує межу вогнестійкості несучих конструкцій до 30 хв. Необхідна за розрахунком товщина покриття – 3,2 мм. Витрати на 1 мм товщини 1,89 кг/м² без врахування технологічних витрат, які складають до 20 %. Вогнезахисна фарба наноситься на металоконструкції підсилення валиком або безповітряним способом.



Рисунок 6 – Вирівнювання та розвантаження конструкцій аварійних плит покриття системою з трьох гідравлічних домкратів вантажопідйомністю 20 т кожен



Рисунок 7 – Встановлення страхувальних телескопічних стійок. Улаштування поздовжніх компактних сталевих балок підсилення у зазорі між поперечними ребрами аварійних плит покриття та фермами покриття

Висновки

У цій науковій роботі розглянуто вирішення важливої науково-практичної задачі моделювання напружено-деформованого стану будівельних балочних конструкцій підсилення, що проектується для укріплення аварійних залізобетонних ребристих плит покриття на території колишніх виробничих приміщень заводу «Кристал», що перепрофілюється в результаті реконструкції у офісно-виробничу будівлю Вінницького інноваційно-технологічного парку.

Проведені наукові дослідження дозволили обґрунтувати принципову можливість і раціональність використання компактних балочних металевих конструкцій з системи швелерів № 12П за [16], улаштованих з кроком не більше 520 мм зі сталі касу міцності не нижче С275, розкріплених з площини згину. В результаті скінчено-елементного моделювання напружено-деформованого стану конструкцій підсилення доведена їх міцність і надійність для сприйняття корисних навантажень у вигляді тиску конструкцій покрівлі, включаючи вагу аварійних плит, а, також, тиску від шару снігу, який може накопичитись на даху в холодний період року. При моделюванні встановлено, що коефіцієнт використання нормальних перерізів найбільш навантаженої балки підсилення складає $\alpha = 0,877$, за дією поперечної сили $\alpha = 0,134$, за стійкістю за умови кроку елементів розкріплень з площини не більше 1,45 м, $\alpha = 0,973$. Коефіцієнт використання за другою групою граничних станів за умови улаштування підвісної вогнетривкої стелі $\alpha = 0,96$.

Авторами наукових досліджень, також, була вирішена складна задача забезпечення включення запропонованої багатоеlementної системи з компактних сталевих балок підсилення в загальну роботу несучих конструкцій покриття шляхом тимчасового вирівнювання і розвантаження аварійних конструкцій домкратними системами та підклинювання всіх елементів. Розроблена раціональна технологічна послідовність виконання робіт в якій особлива увага приділялася питанням техніки безпеки, взагалі, та пожежної безпеки підсилених конструкцій зокрема. Пожежний захист металоконструкцій рекомендовано влаштовувати напиленням на металоконструкції вогнезахисних покриттів для досягнення металоконструкціями вогнестійкості не нижче R30, M0 фарбою «DEFENS MS». Захист від вогню посилено вигляді підвісної стелі з двох шарів вогнестійкого гіпсокартону.

Наведенні у статті конструктивні і технологічні пропозиції, а також, пропозиції з вогнезахисту, було з успіхом реалізовано на практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інноваційно-технологічний парк "Кристал" – простір для створення і реалізації нових бізнес-проектів та впровадження інновацій задля відбудови України. Цифрова екосистема для підзвітного управління відновленням DREAM. Глобальний ідентифікатор DREAM-UA-260324-E8B3A8CB. Режим доступу: <https://dream.gov.ua/ua/project/DREAM-UA-260324-E8B3A8CB/profile>
2. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель: посібник / Авраменко Ю.О., Лещенко М.В., Магас Н.М. [та ін.] за ред. О.В. Семка. – Полтава: ПП «Астрія» – 238 с.
3. 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).
4. Клименко С. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навчальний посібник. – К., 2004. – 304 с.
5. ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. [Чинний від 2019-01-01]. [На заміну ГОСТ 8240-89]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 8 с. (Національний стандарт України).

6. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report fib, bulletin 14, 2001, – 130 p. URL: <https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/externally-bonded-frp-reinforcement-for-rc-structures-100-detail.html>
7. Бамбура А.М. Підсилення залізобетонних конструкцій композитними матеріалами фірми Sika / А. М Бамбура, І. Р. Сазонова, Ю. М. Собко // Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Серія Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-громадського, виробничого та транспортного призначення. 2014. Вип. 77. С. 8 – 12. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmiit_2014_77_3.
8. Meier U. Composite for structural repair and retrofitting / U. Meier // International Conference on Fiber Composites in Infrastructure ICCI 1996. – S. 1202 – 1216.
9. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2022-09-01]. [На заміну ДБН В.1.2-14:2009]. [Із зміною №1]. К.: Міністерство розвитку громад і територій України, 2022. – 38 с. – (Державні будівельні норми України).
10. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
11. ДБН В.1.1.12:2014. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. [На заміну ДБН В.1.1.12:2006]. К.: Міністерство України, 2014 – 110 с. – (Державні будівельні норми України).
12. ДБН В.2.6-163:2014. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. [На заміну ДБН В.2.6-163:2010]. К.: Мінбуд України, 2011. – 202 с. – (Державні будівельні норми України).
13. 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).
14. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. [ДБН В. 1.1-7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва]. К.: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Міністерство України 2017. – 38 с. (Національний стандарт України).
15. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010 / Український Центр Сталевого Будівництва. – Київ, 2016. – 81 с.
16. ДСТУ 3436-96. Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент. [Чинний від 1999-01-01]. [На заміну ГОСТ 8240-89]. К.: Український науково-дослідний інститут металів, 1996. – 12 с. (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. Innovatsiyno-tehnolohichnyy park "Krystal" – prostir dlya stvorenniya i realizatsiyi novykh biznes-proektiv ta vprovadzhennya innovatsiy zadlya vidbudovy Ukrainy. Tsyfrova ekosystema dlya pidzvitnoho upravlinnya vidnovlennam DREAM. Hlobal'nyy identyfikator DREAM-UA-260324-E8B3A8CB. Rezhyim dostupu: <https://dream.gov.ua/ua/project/DREAM-UA-260324-E8B3A8CB/profile>
2. Uteplennya, remont ta rekonstruktsiya ploskykh pokryvel' tsyvil'nykh budivel': posibnyk / Avramenko YU.O., Leshchenko M.V., Mahas N.M. [ta in.] za red. O.V. Semka. – Poltava: PP «Astraya» – 238 s.
3. DSTU 9237:2024. Nastanova shchodo obstezhennya budivel' i sporud dlya vyznachennya ta otsinyuvannya tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyy opir ta stiykist'. [Chynnyy vid 2024-01-09]. [Na zaminu DSTU-N B.V.1.2-18:2016]. Vyd. ofits. Kyiv: DP UkrNDTS, 2024 – 74 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
4. Klymenko YE. V. Tekhnichna ekspluatatsiya ta rekonstruktsiya budivel' i sporud: Navchal'nyy posibnyk. – K., 2004. – 304 s.
5. DSTU 8768:2018 Dvotavry stalevi haryachekatani. Sortament. [Chynnyy vid 2019-01-01]. [Na zaminu GOST 8240-89]. K.: DP «UkrNDTS», 2018. – 8 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
6. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report fib, bulletin 14, 2001, – 130 p. URL: <https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/externally-bonded-frp-reinforcement-for-rc-structures-100-detail.html>
7. Bambura A.M. Pidsylennya zalizobetonnykh konstruksiy kompozytny materialamy firmy Sika / A. M Bambura, I. R. Sazonova, YU. M. Sobko // Budivnytstvo. Materialoznavstvo. Mashynobuduvannya. Seriya Innovatsiyni tekhnolohiyi zhyttyevoho tsykladu ob'yektiv zhytlovo-hromads'koho, vyrobnychoho ta transportnoho pryznachennya. 2014. Vyp. 77. S. 8 – 12. Rezhyim dostupu:
8. Meier U. Composite for structural repair and retrofitting / U. Meier // International Conference on Fiber Composites in Infrastructure ICCI 1996. – S. 1202 – 1216.
9. DBN V.1.2-14:2018. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktivnoyi bezpeky budivel' i sporud. [Chynnyy vid 2022-09-01]. [Na zaminu DBN V.1.2-14:2009]. [Iz zminoyu №1]. K.: Ministerstvo rozvytku hromad i terytoriy Ukrainy, 2022. – 38 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).
10. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya. [Chynnyy vid 2007-01-01] [Na zaminu SNyP 2.01.07-85 (krim rozdil 10)]. K.: Minbud Ukrainy, 2006. – 71 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).
11. DBN V.1.1.12:2014. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezh. Budivnytstvo v seysmichnykh rayonakh Ukrainy. [Chynnyy vid 2014-10-01] [Na zaminu DBN V.1.1.12:2006]. K.: Minregion Ukrainy, 2014 – 110 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).
12. DBN V.2.6-163:2014. Konstruksiyi budivel' i sporud. Stalevi konstruksiyi. Normy proektuvannya. [Chynnyy vid 2015-01-01]. [Na zaminu DBN V.2.6-163:2010]. K.: Minbud Ukrainy, 2011. – 202 s.
13. DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny i peremishchennya. Vymohy proektuvannya. [Chynnyy vid 2007-01-01] [Na zaminu rozdil 10 SNiP 2.01.07-85]. K.: Minbud Ukrainy, 2006. – 10 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
14. DBN V.1.1-7:2016. Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy. [Chynnyy vid 2017-06-01]. [DBN V. 1.1-7-2002. Zakhyst vid pozhezh. Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva]. K.: Ukrainy's'kyi naukovo-doslidnyy instytut tsyvil'noho zakhystu, Minrehion Ukrainy 2017. – 38 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
15. Rozrakhunok stalevykh konstruksiy na vohnestiykist' vidpovidno do Yevrokodu 3. Praktychnyy posibnyk do DSTU-N EN 1993-1-2:2010 / Ukrainy's'kyi Tsentr Stalevoho Budivnytstva. – Kyiv, 2016. – 81 s.
16. DSTU 3436-96. Shvelery stalevi haryachekatani. Sortament. [Chynnyy vid 1999-01-01]. [Na zaminu GOST 8240-89]. K.: Ukrainy's'kyi naukovo-doslidnyy instytut metaliv, 1996. – 12 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).

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, email: v.a.popov.vntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-2379-7764.

Байда Денис Миколайович – к.т.н., доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т., Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва. Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, email: denisbayda@gmail.com, ORCID 0009-0004-0004-377X.

Попова Аліна Володимирівна – магістрантка. Факультет хімії, біології та біотехнологій, Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, Україна e-mail: alina.popova260702@gmail.com ORCID 0000-0003-3576-5823.

V. Popov¹
D. Baida²
A. Popova³

MODELLIND OF STRESS STREIN STATE OF COMPACT STEEL BEAM STRUCTURES FOR RATIONAL REINFORCEMENT OF EMERGENCY REINFORCED CONCRETE RIBBED ROOF SLABS

¹Vinnitsia National Technical University

²State University «Zhytomyr Polytechnic»

³Vasyl' Stus Donetsk National University, Ukraine

In the paper have been considered solving of important scientific and practical problem of modeling the stress-strain state of multi-element beam structures of emergency reinforcement of precast reinforced concrete ribbed slabs on the example of a real office building of the "Vinnitsia Innovation and Technology Park", which is being designed on the territory of the former production premises of the "Krystal" plant. These covering slabs, which serve to support the layers of a flat roof, have suffered significant force damage during long-term operation, that is, they have all the signs of reaching the first and second groups of limit states. But their replacement, due to late detection of defects and economic factors, was virtually impossible. In addition, have been formulated an additional requirement for design solutions regarding the minimum protrusion (bulging) of reinforcement structures from under the slab clearance to ensure the design construction height of the ceiling of the premises under the emergency slabs by the request of the project architect. Therefore, during the above-mentioned scientific and practical works, there was a need to develop a non-standard reinforcement method, namely, compact beam structures with the complete exclusion of defective reinforced concrete floor slabs from the work. Have been offered a reinforcement solution in the form of a system of low-height cross-section beams, often supported from the bending plane by bent profiles. The authors of the scientific research also solved the difficult task of ensuring the inclusion of the offered multi-element system of compact steel reinforcement beams in the overall operation of the load-bearing structures of the coating by temporarily leveling and unloading the emergency structures with jacking systems and wedging all elements. Have been developed a rational technological sequence of work, in which special attention was paid to safety issues in general and fire safety of reinforced structures in particular. Have been successfully implemented in practice the constructive and technological proposals presented in the paper.

Key words: limit states, force cracks, reinforced concrete ribbed floor slabs, compact reinforcement beams, multi-element metal systems, stress-strain state.

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

Baida Denys – Ph.D., Docent of department of Mining Technologies and Construction named after Prof. Bakka M.T., Faculty of Mining, Nature Management and Construction, State University «Zhytomyr Polytechnic», Zhytomyr city, email: denisbayda@gmail.com, ORCID 0009-0004-0004-377X.

Popova Alina – graduate student, Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnitsia city, Ukraine, e-mail: alina.popova260702@gmail.com ORCID 0000-0003-3576-5823.