

**КОНСТРУКЦІЯ ТА МЕТОДИКА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ
РЕСУРСООЩАДНИХ НЕРОЗРІЗНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**DESIGN AND METHODOLOGY OF RESOURCE-SAVING
CONTINUOUS STEEL-CONCRETE SAMPLES SLABS EXPERIMENTAL
TESTS FOR THE CONSTRUCTION OF CIVIL DEFENSE STRUCTURES**

Гасенко А.В., д.т.н., доцент, ORCID 0000-0003-1045-8077; **Штанько К.Г.,** аспірант, ORCID 0009-0008-2070-1628 (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»); **Бібік М.В.,** к.т.н., доцент, ORCID 0009-0001-8681-486X (ТОВ «СОЛІД ПОЛТАВА»)

Hasenko A.V., Doctor of Technical Sciences, Associate professor, ORCID 0000-0003-1045-8077; **Shtanko K.G.,** Postgraduates Student, ORCID 0009-0008-2070-1628 (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»); **Bibik M.V.,** Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ORCID 0009-0001-8681-486X (LLC «SOLID POLTAVA»)

Наведено конструктивні рішення та методику двостадійної технології виготовлення двох експериментально досліджених зразків ресурсоощадних нерозрізних трипролітних сталезалізобетонних плит довжиною 6 м, що можуть застосовуватися для влаштування перекриттів захисних споруд цивільного захисту.

The problem of ensuring a uniform distribution of stresses in continuous steel-reinforced concrete slabs is relevant for modern construction. The use of self-stressing technologies can reduce the uneven distribution, but the issue of effective self-stressing in experimental samples of such slabs has not yet been sufficiently investigated. The paper presents design solutions and methods for the manufacture of experimentally tested samples of resource-saving non-cut three-span steel-reinforced concrete slabs that can be used for the construction of floors of civil defense structures. A two-stage technology for the manufacture of continuous steel-reinforced concrete slabs has been developed. It is proposed to create preliminary bends of the more deformed extreme spans by the slabs' own weight. The middle span should be concreted at the first stage, and the outer spans at the second. The paper describes the design features of manufacturing two samples of continuous three-span slabs 6 m long, made on fixed formwork from profiled flooring. The specimens differed in the lengths of the concreting grips, which made it possible to study the development of deflections in the extreme and middle spans due to

changes in the stiffness of the section at the supports. The length of the concreting section is determined by the points of zero bending moments. During the first stage of concreting, the middle span of the steel structure bends downward due to the concrete mix's own weight, which causes the extreme sections that are not under load to bend upward. After the concrete of the first stage reaches the design strength, the concrete of the outer spans is concreted. At the same time, the extreme spans bend downward due to the weight of the concrete mixture, forcing the middle span, which already has a steel-reinforced concrete section, to bend upward. The paper presents the results of determining the physical and mechanical properties of the slab materials: concrete, steel rods of longitudinal reinforcement, and steel sheets of corrugated board of external reinforcement.

Ключові слова: нерозрізна схема, сталезалізобетонні плити, ресурсощадна технологія виготовлення, споруди цивільного захисту
continuous scheme, steel-reinforced concrete slabs, resource-saving manufacturing technology, civil defense facilities.

Вступ. Проблема забезпечення рівномірного розподілу напружень у нерозрізних сталезалізобетонних плитах є актуальним для сучасного будівництва. Застосування технологій самонапруження дозволяє зменшити нерівномірний розподіл, проте питання ефективного створення самонапруження в експериментальних зразках таких плит досі недостатньо досліджене. Вивчення цього процесу є важливим для покращення експлуатаційних характеристик конструкцій та підвищення їх несучої здатності.

Аналіз останніх досліджень. Сталезалізобетонні конструкції виготовляють як при новому будівництві, так і під час реконструкції будівель чи споруд шляхом вдалого поєднання сталевих переважно стержневих елементів та монолітного бетону [1]. Багатопрогінні згинані сталезалізобетонні конструкції із застосуванням монолітної залізобетонної плити у якості стиснутої площинної частини перерізу та сталеві профільної частини у якості розтягнутої стержневої добре зарекомендували себе за рахунок високої технологічності влаштування та значної експлуатаційної несучої здатності як в цивільному, так і в промисловому будівництві [2; 3]. Окрім цього, монолітна залізобетонна плита створює жорсткий диск перекриття та дозволяє розділити внутрішній простір будівлі на декілька поверхів [4]. Досить часто для підвищення технологічності влаштування такого перекриття та зменшення термінів будівництва, монолітну залізобетонну плиту влаштовують по незнімній опалубці із профільованого настилу [5]. При забезпеченні спільної роботи монолітної залізобетонної плити із сталевим профільованим настилом незнімної опалубки за допомогою рифленої поверхні профнастилу, такі перекриття за витратами

матеріалів близькі до залізобетонних, так як профільований лист використовується не тільки як опалубка, а й зовнішнє армування плити [6]. Наведені переваги застосування сталезалізобетонних плит, а саме підвищена несуча здатність, висока технологічність влаштування – дозволяють їх застосування для перекриттів захисних споруд цивільного захисту [7]. Широке застосування даного конструктивного рішення в практиці стримується відсутністю на ринку будівельних матеріалів профнастилу із рифленою поверхнею через складнішу технологію його прокатки, а також низьку вогне- і корозостійкість відкритої нижньої частини сталевого профільованого настилу. При однаковому кроці опор нерозрізних сталезалізобетонних плит, профлист середніх прольотів у випадку використання його як робочого армування плит, матиме менші напруження, ніж профлист крайніх прольотів [8]. Для рівномірного використання несучої здатності профнастилу нерозрізних сталезалізобетонних плит, можливо розмір крайніх прольотів робити більшими за середній [9].

Виділення невирішеної частини поставленої проблеми. У сучасному будівництві важливо забезпечити стабільність та довговічність конструкцій. Одним з варіантів підвищення вказаних показників є визначення ефективних технологій та методів формування самонапруження елементів конструкцій, які сприяють досягненню оптимального розподілу в них напружень [10]. Вивчення цього процесу дозволить виявити найкращі практики, що використовуються в будівництві, і впровадити їх у виробництво.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є опис конструктивного рішення та методики виготовлення експериментально досліджених зразків ресурсоощадних нерозрізних трипролітних попередньо напружених сталезалізобетонних плит, що можуть застосовуватися для влаштування перекриттів захисних споруд цивільного захисту. Для досягнення поставленої мети роботи, розглянуто чотири взаємопов'язані завдання, показані на рисунку 1, що передували проведенню експериментальних випробувань зразків вказаних конструкцій.

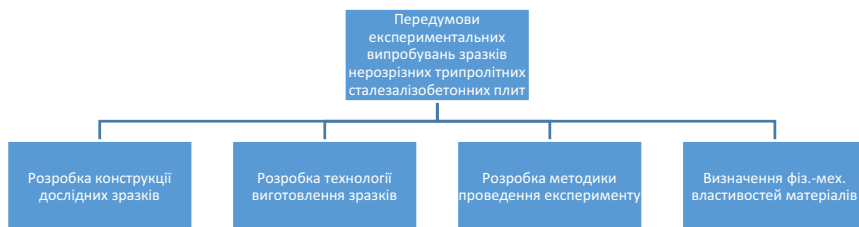


Рис. 1 – Завдання досліджень, що передували проведенню експериментальних випробувань зразків ресурсоощадних нерозрізних трипролітних попередньо напружених сталезалізобетонних плит

Виклад основного матеріалу. У відомих експериментальних дослідженнях роботи сталевих профільованих настилів за одно-, дво- та трипролітними схемами завантаження, розташованих у положеннях широкими чи вузькими полицками догори та із різними шляхами забезпечення нерозрізності багатопролітних зразків, довжини прольотів були однакові, що приводило до вичерпування несучої здатності профільованого настилу у сусідніх прольотах при різних рівнях навантаження на них. Тому перед експериментальними дослідженнями сталезалізобетонних плит виконано дослідження несучої здатності та деформативності профільованих листів, що слугують незнімною опалубкою та зовнішнім армуванням сталезалізобетонних перекриттів [8]. Розглянутий та експериментально досліджений метод врівноваження несучої здатності нерозрізних балок шляхом застосування змінного навантаження у різних прольотах чи змінного розміру крайніх та середнього прольотів носить обмежений характер, так як накладає певні незручності на режим експлуатації будівлі чи споруди. Крім цього, одночасно врівноважити міцність та деформативність у крайніх та середньому прольотах практично неможливо.

Уникнути вказаних недоліків можливо застосувавши двостадійну технологію бетонування нерозрізної монолітної залізобетонної плити, виконаної по незнімній опалубці із профільованого настилу. Під час застосування двостадійної технології створюються вигідні попередні напруження компонентів згинаних сталезалізобетонних конструкцій виключно від їх власної ваги без застосування додаткових зовнішніх енерговитратних методів, чим забезпечується вичерпування їх несучої здатності при однаковому рівні зовнішнього навантаження у суміжних прольотах. Це пояснює актуальність досліджень двостадійної технології виготовлення нерозрізних згинаних сталезалізобетонних конструкцій.

Суть запропонованого методу раціонального перерозподілу зусиль за рахунок технології бетонування наступна. Під час першої черги бетонування влаштовується монолітна залізобетонна плита середнього прольоту у випадку трипролітної схеми або через проліт, починаючи із середнього прольоту, у випадку багатопролітної схеми. Початок бетонування плити із середнього прольоту пояснюється тим, що під час експлуатаційного завантаження вони мають більший запас несучої здатності. При цьому ширину захваток у влаштуванні монолітної плити скориговують згідно розташування точок нульових згинальних моментів на епюрі внутрішніх зусиль по довжині балок. Слід зазначити, що заведення чи навпаки недоведення захваток бетонування за межі опор ділянок бетонування дозволяють зробити вказані опори на момент другого етапу бетонування більш жорсткими чи шарнірними (створюються так звані «умовні шарніри»). На цьому етапі сталева частина перерізу (балки чи профлист) на ділянках бетонування від власної ваги щойно вкладеного бетону прогинаються вниз і

цим самим змушують суміжні вільні від навантаження ділянки сталеві частини перерізу вигинатися вгору.

Після набору бетоном першої черги бетонування проектної міцності, виконують бетонування інших ділянок перекриття. На цьому етапі ділянки бетонування від ваги щойно вкладеного бетону прогинаються вниз, цим самим змушуючи ділянки першої черги бетонування, що має вже сталезалізобетонний переріз, вигинатися вгору. На цьому етапі величини прогинів у суміжних прольотах можливо передбачати підібраними жорсткостями сталевих та сталезалізобетонних перерізів, а також жорсткістю самих опор.

На корисне навантаження утворена сталезалізобетонна конструкція працюватиме вже з існуючими попередніми напруженнями, що дасть очікуваний ресурсозберезувальний результат розробленої двостадійної методики влаштування монолітної плити. Результат полягатиме у створенні протилежних експлуатаційним попередніх напружень у сталевій частині перерізу перекриття, що розташовані у прольотах другої черги бетонування, та монолітній залізобетонній плиті першої черги бетонування. Так як ці попередні напруження створюватимуться за рахунок власної ваги бетонної суміші, ці конструкції відноситимуться до самонапружених сталезалізобетонних конструкцій.

За описаною двостадійною технологією бетонування монолітної плити виготовлено два зразки сталезалізобетонних нерозрізних плит по незнімній опалубці із профільованого настилу (СЗБП1 і СЗБП2), влаштованих по трипролітній схемі із однаковою довжиною трьох прольотів: 1900-1900-1900 мм. Спочатку бетонувався середній проліт, а після набору бетоном першої черги бетонування проектної міцності, виконувалося бетонування крайніх прольотів. Два зразки відрізнялися шириною захваток двох етапів бетонування, як показано на схемі рисунку 2:

- для першого зразка довжина ділянки першого етапу бетонування рівна 2300 мм (заходила на 1/10 прольоту за межі середніх опор) і відповідно довжини другого етапу бетонування 1700 мм. Для цього зразка на момент другого етапу бетонування середні опори мали більшу жорсткість у порівнянні із жорсткістю крайніх прольотів плити, тобто середні опори були умовно жорсткими;

- для другого зразка довжина ділянки першого етапу бетонування рівна 1500 мм (не доходила на 1/10 прольоту до середніх опор) і відповідно довжини другого етапу бетонування 2100 мм. Для цього зразка на момент другого етапу бетонування середні опори мали таку ж жорсткість, як і жорсткість крайніх прольотів плити, тобто на середніх опорах штучно створений «умовний шарнір».

Габаритний розмір зразків у плані – 6,0×0,53 м. Зовнішньою незнімною опалубкою слугував сталевий профнастил марки К35-0,5. Висота бетонної полицки над верхньою гофрою профнастилу – 35 мм. Таким чином загальна

висота виготовлених плит рівна 70 мм. Коефіцієнт зовнішнього армування склав відповідно 1,7%.

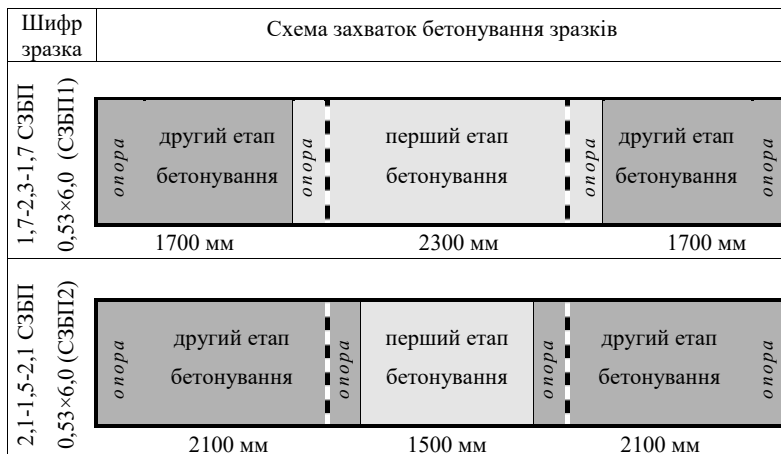


Рис. 2 – Схема етапів бетонування двох зразків сталезалізобетонних трипролітних нерозрізних плит по незнімній опалубці із профнастилу

Армування монолітної залізобетонної плити виконано стержнями діаметром 4 мм класу Вр1300 у розтягненій зоні бетону в кожній хвилі профільованого настилу (див. рис. 3). Для сумісної роботи профільованого настилу та бетонної плити використано вертикальні анкери діаметром 4 мм довжиною 60 мм (див. рис. 3), встановлених в кожну хвилю профнастилу з кроком 100...200 мм (див. рис. 4); верх анкерів суміжних хвиль з'єднувався у поперечному напрямку стержнями діаметром 4 мм класу Вр1300. На рисунку 5 показано загальний вигляд зразків на проміжних етапах бетонування. Пунктирними лініями на цих фотографіях показано місця розташування опор.

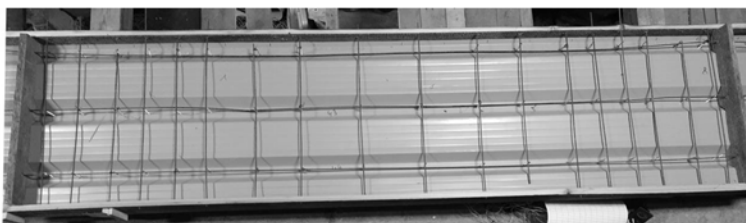


Рис. 3 – Вигляд встановлених анкерів у профнастил та армування плит



Рис. 4.— Крок встановлення анкерів у нижню хвилю профільованого листа

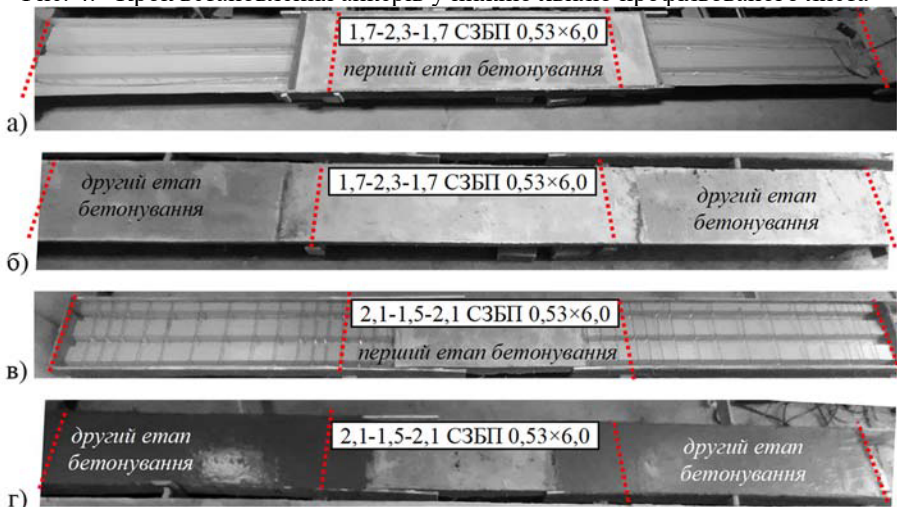


Рис. 5 — Загальний вигляд зразків сталобетонних плит на етапах бетонування

Висновки. Проблема забезпечення рівномірного розподілу напружень у нерозрізних сталезалізобетонних плитах є актуальною для сучасного будівництва. Застосування технологій самонапруження дозволяє зменшити нерівномірний розподіл напружень. У роботі наведено конструктивні рішення та методику двостадійної технології виготовлення експериментально досліджених двох зразків ресурсоощадних нерозрізних трипролітних сталезалізобетонних плит довжиною 6 м, що можуть застосовуватися для влаштування перекриттів захисних споруд цивільного захисту. Попередні вигини більш деформованих крайніх прольотів запропоновано створювати власною вагою плит під час бетонування середнього прольоту на 1-му етапі.

Робота виконана в рамках науково-технічної роботи «Ресурсоощадні технології прискореного відновлення пошкоджених будівель із влаштуванням захисних споруд цивільного захисту», яка фінансується за рахунок коштів державного бюджету України (держ. реєст. № 0125U000895).

1. Стороженко Л.І. Проблеми створення та проектування сталезалізобетонних конструкцій. Зб. наук. пр. НДІБК: Будівельні конструкції, 2013, 78(1). С. 129-136.

Storozhenko L.I. Problemy stvorenniya ta proektuvannya stalezalizobetonnykh konstruksiy. Zb. nauk. pr. NDIBK: Budivel'ni konstruksiyi, 2013, 78(1). S. 129-136.

2. Storozhenko L., Yermolenko D., Gasii G. Investigation of the Deformation State of a Composite Cable Space Frame Structures with a Photogrammetric Method. Intern. Journal of Engineering & Technology. 2018. 7(3.2). P. 442-446. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14568>

3. Ватуля Г. Л., Орел Е. Ф. Вплив параметрів перерізу на несучу здатність сталобетонних конструкцій. Зб. наук. пр.: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 3(33). Полтава, 2012. С. 30-34.

Vatulya H. L., Orel E. F. Vplyv parametriv pererizu na nesuchu zdatnist' stalebetonnykh konstruktсий. Zb. nauk. pr.: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo. Vyp. 3(33). Poltava, 2012. S. 30-34.

4. Гасенко А. В., Новицький О. П., Пенц В. Ф. Реконструкція багатопверхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозбережувальних конструктивних рішень. Зб. наук. пр. Вісник НУВГП, серія Технічні науки, Випуск № 2(94). Рівне : НУВГП, 2021. С. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt220214>

Hasenko A. V., Novyts'kyi O. P., Pents V. F. Rekonstruktsiya bahatopoverkhovykh promyslovykh budivel' pid dostupne zhytlo iz vykorystanniam resursozberezhuvalnykh konstruktivnykh rishen'. Zb. nauk. pr. Visnyk NUVHP, seriya Tekhnichni nauky, Vypusk № 2(94). Rivne : NUVHtaP, 2021. S. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt220214>

5. Стороженко Л. І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці. Монографія. Полтава: АСМІ, 2008. 312 с.

Storozhenko L. I., Lapenko O.I. Zalizobetonni konstruktsiyi v neznimniy opalubtsi. Monohrafiya. Poltava: ASMI, 2008. 312 s.

6. Бобало Т. В. Порівняння результатів експериментального дослідження сталобетонних балок із комбінованим армуванням з результатами розрахунку за діючими національними нормами. Архітектура і сільськогосподарське будівництво: Вісник НАУ. №13 Львів, 2012. С.34-43.

Bobalo T. V. Porivnyannya rezul'tativ eksperymental'noho doslidzhennya stalebetonnykh balok iz kombinovanyam armuvannyam z rezul'tatamy rozrakhunku za diyuchymy natsional'nymy normamy. Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo: Visnyk NAU. №13 L'viv, 2012. S.34-43.

7. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний з 01-11-2023]. К.: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 115 с.

DBN V.2.2-5:2023. Zakhysni sporudy tsyvil'noho zakhystu. [Chynnyy z 01-11-2023]. K.: Ministerstvo rozvytku hromad, terytoryi ta infrastruktury Ukrainy, 2023. 115 s.

8. Семко О.В. Гасенко А.В., Фенко О.Г., Дарієнко В.В. Рациональне використання несучої здатності сталевих профільованих листів незімної опалубки сталезалізобетонних перекриттів. Зб. наук. пр. КНТУ: Центральнотраїнський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, 5 (36), Ч. 2, С. 153-161. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).153-161)

Semko O.V. Hasenko A.V., Fenko O.H., Darienko V.V. Ratsional'ne vykorystannya nesuchoyi zdatnosti stalevykh profil'ovanykh lystiv neznimnoyi opalubky stalezalibetonnykh perekryttiv. Zb. nauk. pr. KNTU: Tsentral'noukrayyns'kyi naukovyy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky, 2022, 5 (36), CH. 2, S. 153-161. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).153-161)

9. Семко О.В., Гасенко А.В. Оптимізація кроку опор нерозрізних балок сталезалізобетонного самонапруженого перекриття. Тези доповідей IX Міжн. конф. «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса 17-20 травня 2022 р.). Одеса: ОДАБА, 2022. С. 153-154.

Semko O.V., Hasenko A.V. Optymizatsiya kroku opor nerozriznykh balok stalezalibetonnoho samonapruzhenooho perekryttya. Tezy dopovidey IKh Mizhn. konf. «Aktual'ni problemy inzhenernoyi mekhaniky» (Odesa 17-20 travnya 2022 r.). Odesa: ODABA, 2022. S. 153-154.

10. Hasenko A.V. Previous self-stresses creation methods review in bent steel reinforced concrete structures with solid cross section. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2021, 2 (57), 82-89. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2589>