

УДК 624.016:624.042.65

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.28>

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САМОНАПРУЖЕНОЇ ВЛАСНОЮ ВАГОЮ НЕРОЗРІЗНОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Гасенко А. В. – доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: 0000-0003-1045-8077

Гасенко Л. В. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1310-914X

Одним з основних завдань капітального будівництва є зменшення витрат матеріалів, вартості та часу як на нове будівництво, так і на ремонтні та реставраційні роботи, при цьому забезпечуючи необхідний рівень несучої здатності будівельних конструкцій, що є особливо важливим у період післявоєнного відновлення. У статті розглянуто аналоги та викладено алгоритм влаштування попередньо напруженої власною вагою нерозрізної сталезалізобетонної плити перекриття, що може бути застосована під час будівництва захисних споруд цивільного захисту. Найближчими аналогами розглянутої конструкції за технічною суттю, кількістю загальних ознак і досягнутим результатом є локально попередньо напружені збірні залізобетонні елементи, попередньо напружена залізобетонна балка з регульованим напруженням, регульована стискаюча залізобетонна балка та інші. Розглянута попередньо напружена плита створюється під час двостадійної технології бетонування, а саме: під час першої черги бетонування влаштовується монолітна залізобетонна плита нерозрізного сталезалізобетонного перекриття середнього прольоту, під час якої власною вагою бетонної суміші без застосування додаткового армування чи енерговитратних методів попереднього напруження (механічних, термомеханічних тощо) за рахунок нерозривності пружної лінії нерозрізної схеми сталевих балки створюватимуться протилежні експлуатаційним попередні напруження у сталевій частині перерізу перекриття, що розташовані у прольотах другої черги бетонування. Під час другого етапу бетонування після набору міцності бетоном першої черги, влаштовується монолітна залізобетонна плита крайніх прольотів, під час якої знову ж таки власною вагою бетонної суміші створюватимуться протилежні експлуатаційним попередні напруження у монолітній залізобетонній плиті першої черги бетонування.

Ключові слова: захисні споруди цивільного захисту, перекриття, сталезалізобетон, попередні напруження, власна вага.

Hasenko A. V., Hasenko L. V. Mathematical model of self-stressed by its own weight continuous steel-concrete slabs for civil defense protective structures

One of the main tasks of capital construction is to reduce the material consumption, cost and time of both new construction and repair and restoration works while ensuring the required level of bearing capacity of building structures, which is especially important in our post-war recovery. The article describes an algorithm for the construction of a pre-stressed self-weighted continuous steel-reinforced concrete slab for industrial and civil buildings and structures, which can also be used in the construction of civil defense protective structures. The closest analogues of the considered structure in terms of technical essence, number of general features and the achieved result include locally pre-stressed precast concrete elements, pre-stressed reinforced concrete beam with adjustable stress, adjustable compression reinforced concrete beam and

© Гасенко А. В., Гасенко Л. В., 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

others. The considered pre-stressed slab is created using a two-stage concreting technology, namely during the first stage of concreting, a monolithic reinforced concrete slab of a continuous steel-reinforced concrete slab of a medium span is arranged, during which the dead weight of the concrete mixture without the use of additional reinforcement or energy-consuming methods of pre-stressing (mechanical, thermomechanical, etc.) due to the continuity of the elastic line of the continuous steel beam scheme will create pre-stresses opposite to the operational ones in the steel part of the floor section located in the spans of the second stage of concreting. During the second stage of concreting, after the concrete of the first stage has gained strength, a monolithic reinforced concrete slab of the extreme spans is constructed, during which, again, the own weight of the concrete mixture will create pre-stresses opposite to the operational ones in the monolithic reinforced concrete slab of the first stage of concreting.

Key words: civil defense protective structures, floors, steel-reinforced concrete, pre-stressing, own weight.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань капітального будівництва є зниження матеріаломісткості, вартості і термінів як нового будівництва, так і ремонтно-відновлювальних робіт при одночасному забезпеченні на необхідному рівні несучої здатності будівельних конструкцій, що особливо актуально в наш час повоєнного відновлення. Викладений в статті матеріал стосується сталезалізобетонних перекриттів промислових та цивільних будівель і споруд, що також можуть бути використані при будівництві захисних споруд цивільного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З існуючих публікацій та практики будівництва загальновідоме рішення сталезалізобетонного перекриття [1], що складається із сталевих балок, зверху яких розкладений сталевий профільований настил як незнімна опалубка та додаткове зовнішнє армування плити, сталевих гнучких стрижньових анкерів, нижні кінці яких через сталевий профільований настил приварені рядами до балок, і монолітної залізобетонної плити, влаштованої по сталевому профільованому настилу (див. рис. 1). Технологія влаштування такого перекриття наступна: спочатку монтують сталеві балки, а потім влаштовується монолітна залізобетонна плита по настилу. Основним суттєвим недоліком влаштування описаного сталезалізобетонного перекриття є те, що за такою технологією створення сталеві балки самостійно сприймають власну вагу свіже-вкладеної бетонної суміші, отримуючи початковий власний напружено-деформований стан. Бетон включається в роботу композитного перерізу, змінюючи його жорсткість, після набору міцності. На корисне навантаження працює вже композитний переріз. За рахунок відмінності жорсткості композитного перерізу від жорсткості початкового лише сталевих балок буде розвиватися вже по іншому закону, що викликатиме двокусково генетичну (родовідну) нелінійність [2].

Вказаного недоліку – генетичної нелінійності – можна уникнути шляхом встановлення тимчасових стійок під сталеві балки перекриття на період бетонування плити. Якщо попереднім натягом встановлених інвентарних стійок створити протилежний експлуатаційному вигин сталевих балок перекриття, буде досягнуто їх попереднього напруження. Головна ідея попереднього напруження – створити в компонентах до моменту забезпечення сумісної їх роботи напруження протилежного знаку тим, що виникатимуть від розрахункового навантаження. Попереднє напруження підвищує ефективність конструкції за рахунок вдалого використання фізико-механічних властивостей використаних матеріалів: зусилля стиску сприйматиме бетон плити, а зусилля розтягу – сталеві балки. Тобто при тій же витраті матеріалів збільшиться жорсткість і несуча здатність перекриття.

До відомих аналогів згинаних конструкцій із регулюванням зусиль під час їх виготовлення можна, наприклад, віднести спосіб виготовлення локально попередньо

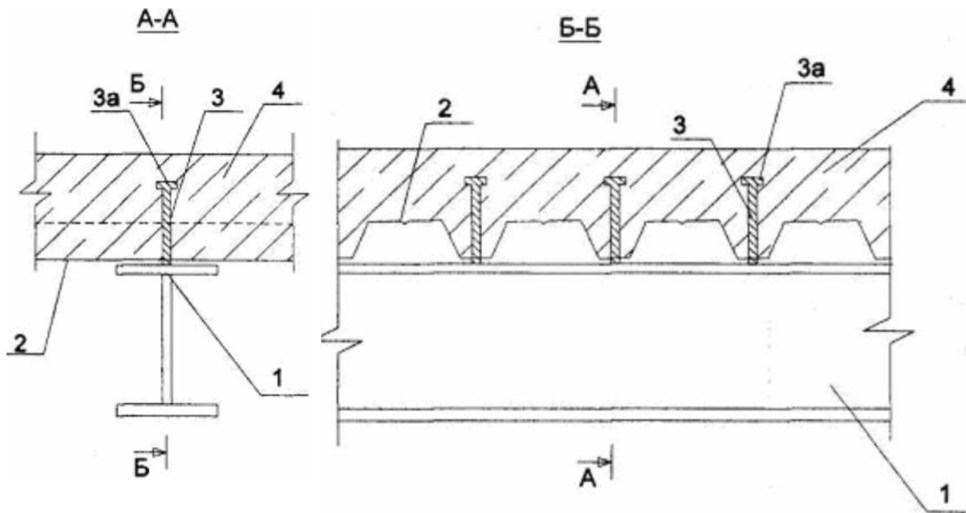


Рис. 1. Сталезалізобетонне перекриття: 1 – сталева балка; 2 – сталевий профільований настил; 3 – сталеві гнучкі стержньові анкери; 3а – головки на анкерах; 4 – монолітна залізобетонна плита

Джерело: [1]

напружених збірних залізобетонних елементів [3], який включає бетонування елементів з ненапруженою арматурою, розташованою в спеціально залишеному пазу майбутньої напруженої арматури, а після набору міцності бетону – відтягування стержнів напруженої арматури і її фіксацію упором в такому положенні (див. рис. 2).

Іншим прикладом згинаних конструкцій із регулюванням зусиль є попередньо напружена залізобетонна балка з регульованим напруженням [4], яке може компенсувати провисання або тріщини в балці, що утворюються внаслідок тривалого навантаження, і в якій силу напруження можна регулювати, якщо це необхідно, шляхом підвищення сили опору навантаженню моста або будівлі після їхнього спорудження (див. рис. 3).

Проте недоліком вказаних аналогів є застосування додаткового армування чи енерговитратних методів (механічних, термомеханічних тощо) попереднього напруження сталевих арматурних стержнів.

Одним із прикладів конструкцій із автоматичним регулюванням зусиль під час навантаження конструкцій є регульованообтиснена залізобетонна балка [5], що включає залізобетонне тіло з закладними пластинами на поверхні і сталеву зтяжку, закріплену по кінцях анкерами і взаємодіючу по середині з натяжним елементом, що опирається на нижню грань балки, і поперечну арматуру, взаємодіючу у приопорних зонах балки з верхньою і нижньою її гранями (див. рис. 4). Описана система стержневого зовнішнього армування автоматично створює обтиск розтягнутої зони бетону під час прогинів балки від горизонтального положення при корисному навантаженні.

Недоліком даного рішення є влаштування додаткового зовнішнього армування із з'єднувальними діафрагмами для регулювання зусиль, що ускладнює виготовлення таких конструкцій.

Слід також відмітити, що зменшення внутрішніх зусиль у розрахункових перерізах можливо теж досягти оптимізацією розрахункової схеми конструкції.

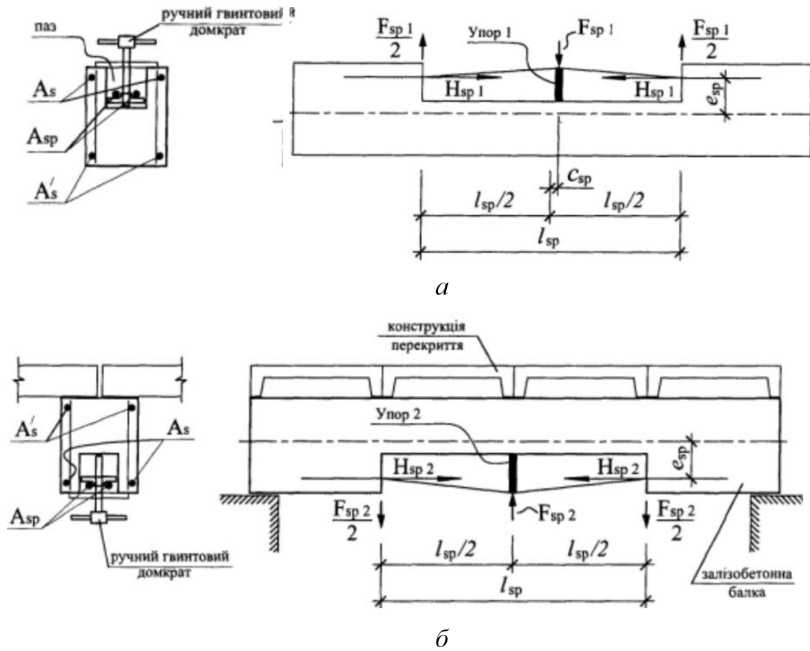


Рис. 2. Спосіб виготовлення локально попередньо напружених збірних залізобетонних елементів: а) схема відтягування арматури ручним гвинтовим домкратом та розподіл зусиль під час виготовлення; б) схема відтягування арматури та схема зусиль після встановлення конструкції у проектне положення та часткового навантаження

Джерело: [3]

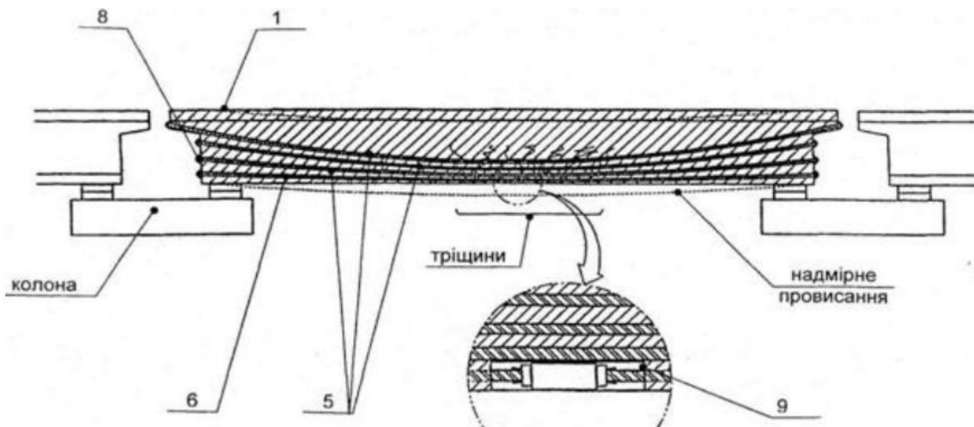


Рис. 3. Попередньо напружена залізобетонна балка з регульованим напруженням: 1 – залізобетонна балка; 5 – сталеві троси, що натягуються під час виготовлення балки; 6 – сталеві троси, що натягуються під час експлуатації балки; 8 – кріпильний засіб сталевих тросів; 9 – вирізана частина для регулювання зусилля натягу сталевих тросів

Джерело: [4]

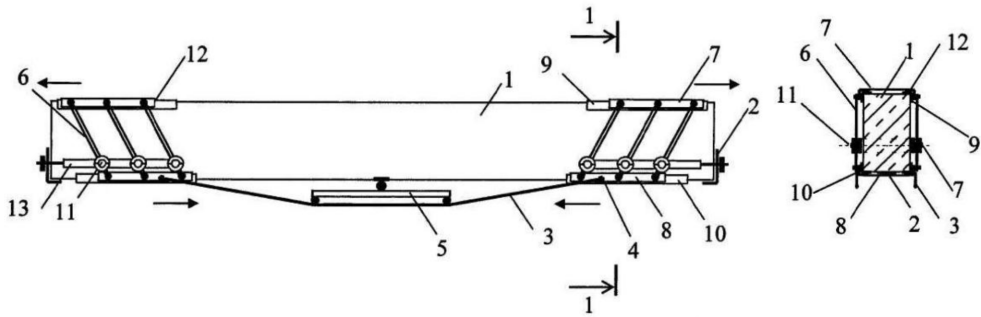


Рис. 4. Регульованообтиснена залізобетонна балка: 1 – тіло залізобетонної балки; 2 – закладні деталі; 3 – зовнішня поздовжня арматура у вигляді сталеві затяжки; 4 – кінцеві анкери; 5 – натяжний елемент; 6 – жорсткі хомути; 7 – верхня горизонтальна рама; 8 – нижня горизонтальна рама; 9 – верхня кутова закладна деталь; 10 – нижня кутова закладна деталь; 11 – осі повороту хомути; 12 – антифрикційне покриття у місцях взаємодії закладних деталей балки і рам; 13 – планки осей повороту хомути

Джерело: [5]

Зокрема відомо, що влаштуванням нерозрізної схеми можливо зменшити розрахункове значення згинального моменту до 33 %, наприклад, під час влаштування сталезалізобетонної нерозрізної балки (див. рис. 5), що складається із сталеві балки постійної висоти та залізобетонної плити проїжджої частини над верхнім поясом балки [6]. Недоліком вказаного рішення є те, що застосування типової технології виготовлення композитних згинаних конструкцій викликати може описану вище генетичну нелінійність.

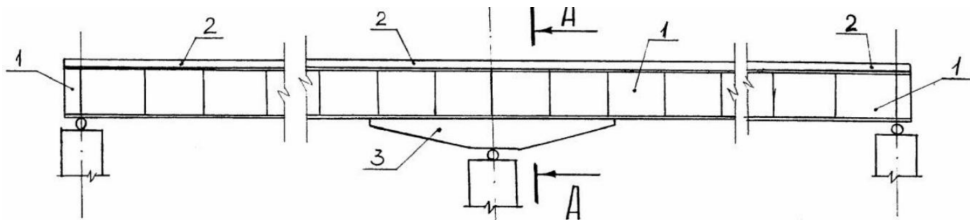


Рис. 5. Сталезалізобетонна нерозрізна балка: 1 – сталеві балка; 2 – залізобетонна плита; 3 – залізобетонний вут нижче нижнього поясу балки над проміжною опорою, зв'язаний з сталеві балкою

Джерело: [6]

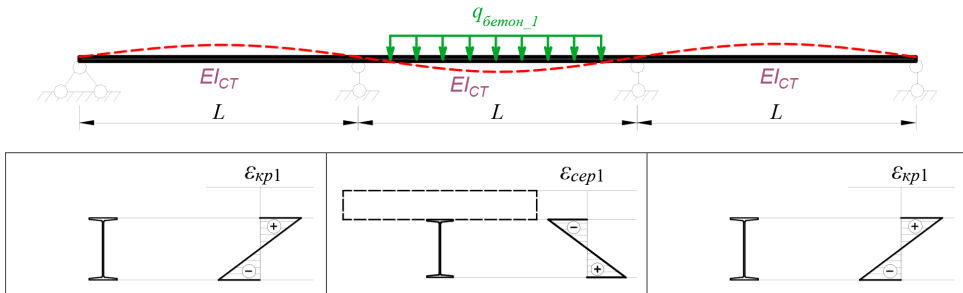
Формулювання завдання дослідження. Метою роботи є опис ефективного ресурсощадного методу регулювання зусиль у нерозрізних сталезалізобетонних плитах перекриття, що також можуть бути використані при будівництві захисних споруд цивільного захисту, під час їх виготовлення без застосування додаткового армування чи енерговитратних методів попереднього напруження (механічних, термомеханічних тощо).

Виклад основного матеріалу. Поставлене завдання вирішується тим, що застосовується двостадійна технологія бетонування нерозрізної монолітної залізобетонної плити, виконаної по незмінній опалубці із профнастилу. Суть

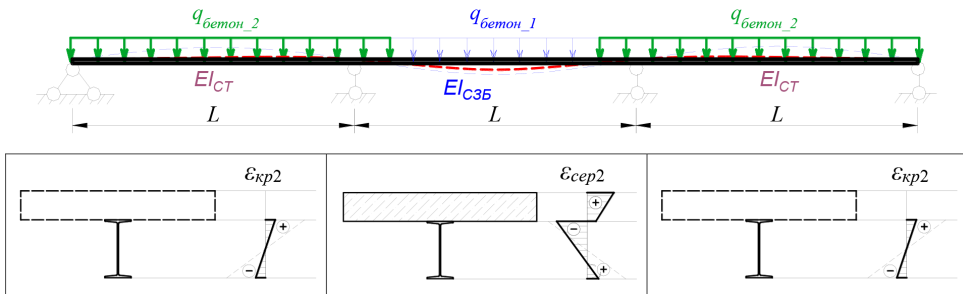
запропонованого методу раціонального перерозподілу зусиль за рахунок технології бетонування продемонстрована на рисунку 6. Під час першої черги бетонування влаштовується монолітна залізобетонна плита середнього прольоту у випадку трипролітної схеми або через проліт, починаючи із середнього прольоту, у випадку багатопролітної схеми сталезалізобетонної плити. Початок бетонування плити із середнього прольоту пояснюється тим, що під час експлуатаційного завантаження

<i>крайній проліт</i>	<i>середній проліт</i>	<i>крайній проліт</i>
-----------------------	------------------------	-----------------------

а) бетонування середнього прольоту



б) бетонування крайніх прольотів



в) експлуатаційна стадія

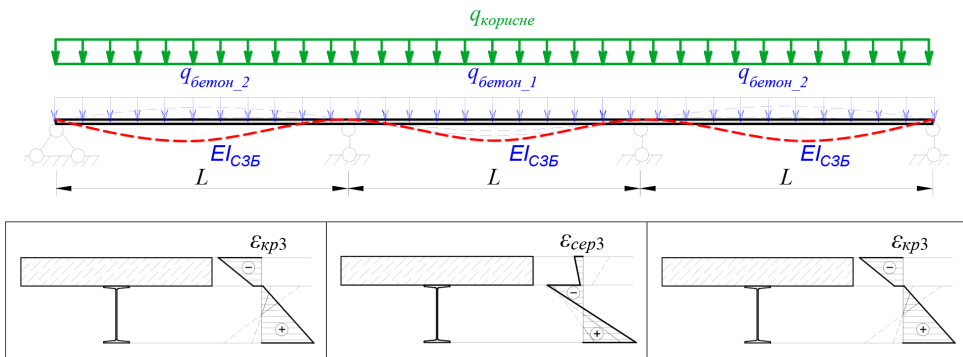


Рис. 6. Етапи влаштування попередньо напруженої власною вагою нерозрізної сталезалізобетонної плити перекриття

Джерело: розроблено авторами

вони мають більший запас несучої здатності. При цьому ширину захваток у влаштуванні монолітної плити коригують згідно розташування точок нульових на епюрі згинальних моментів 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 (сталеві балки чи профлісти) 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 (рис. 6, а).

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 (див. рис. 6, б). 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 (див. рис. 5, в), що дасть очікуваний ресурсозберезувальний результат розробленої двостадійної методики влаштування монолітної плити.

Висновки. Завдяки запропонованій двостадійній технології бетонування монолітної залізобетонної плити нерозрізного сталезалізобетонного перекриття, що може бути використане при будівництві захисних споруд цивільного захисту, створюватимуться протилежні експлуатаційним попередні напруження у сталевій частині перерізу перекриття, що розташовані у прольотах другої черги бетонування, та монолітній залізобетонній плиті першої черги бетонування, чим забезпечується вичерпування несучої здатності суміжних прольотів плити при однаковому зовнішньому навантаженні. Так як попередні напруження створюватимуться за рахунок власної ваги бетонної суміші, ці конструкції відноситимуться до самонапружених сталезалізобетонних конструкцій [7].

Стаття підготовлена 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 (державний реєстраційний номер: 0125U000895).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Сталезалізобетонне перекриття: пат. 31218 Україна, МПК 2006 E04B 5/00; E04C 3/00; E04B 1/00; E01D 2/00. № у 200714650; заявл. 24.12.2007; опубл. 25.03.2008. Бюл. № 6. 4 с.
2. Барабаш, М., Городецький, Д., Ромашкіна, М. Розрахунок конструкцій в нелінійній постановці ЛІРА-САПР. URL: <https://help.liraland.com/uk-ua/high-technology-innovations/nonlinearity-in-lira-sapr.html>. (дата звернення: 06.02.2018).
3. Спосіб виготовлення локально попередньо напружених збірних залізобетонних елементів: пат. 79885 Україна, МПК 2006 E04G 21/12; E04C 5/00; E04B 1/02. № у 200510517; заявл. 07.11.2005; опубл. 25.07.2007. Бюл. № 11. 2 с.
4. Попередньо напружена залізобетонна балка з регульованим напруженням: пат. 70968 Україна, МПК 2004 E04C3/20. № у 2001042935; заявл. 20.09.1999; опубл. 15.11.2004. Бюл. № 11. 7 с.

5. Регульованообтиснена залізобетонна балка: пат. 87047 Україна, МПК 2009 E04C3/00. № а 2007 10856; заявл. 10.04.2009; опубл. 10.06.2009. Бюл. № 11. 3 с.
6. Сталезалізобетонна нерозрізна балка: пат. 31466 Україна, МПК 2000 E01D1/00. № у 98094771; заявл. 10.09.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. № 7. 2 с.
7. Гасенко, А.В. Самонапруження сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Полтава: ПП «Астрая», 2022. 312 с.

REFERENCES:

1. Ekhrentraykh, T. R., Fishman, O. Yu., Bilyarchyk, V. R., Marochka, V. V. (2008). *Stalezalizobetonne perekryttya [Steel reinforced concrete floor]* (pat. 31218 Ukraine, MPK 2006 E04B 5/00; E04C 3/00; E04B 1/00; E01D 2/00; patent owner: Promtekhkompleks LLC. No. u 200714650; filed 24.12.2007; published 25.03.2008). Bull. No. 6. 4 p. [in Ukrainian].
2. Barabash, M., Horodets'kyi, D., Romashkina, M. (2018, February 06). *Rozrakhunok konstruktsiy v neliniyniy postanovtsi LIRA-SAPR [Calculation of structures in nonlinear formulation LIRA-SAPR]*. Retrieved <https://help.liraland.com/uk-ua/high-technology-innovations/nonlinearity-in-lira-sapr.html>. [in Ukrainian].
3. Shahin, O. L., Bohdanov, O. M. (2007). *Sposib vyhotovlennya lokal'no poperedn'o napruzhenykh zbirnykh zalizobetonnykh elementiv [Method of manufacturing locally prestressed prefabricated reinforced concrete elements]* (pat. 79885 Ukraine, MPK 2006 E04G 21/12; E04C 5/00; E04B 1/02; patent owner: Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture. No. u 200510517; application 07.11.2005; publ. 25.07.2007). Bull. No. 11. 2 p. [in Ukrainian].
4. Khen Men Yop. (2004). *Poperedn'o napruzheni zalizobetonni balki z rehul'ovanim napruzhenням [Pre-stressed reinforced concrete beam with adjustable tension]* (pat. 70968 Ukraine, MPK 2004 E04C3/20; patent owner: INTERKONSTEC CO., LTD. No. u 2001042935; application 20.09.1999; publ. 15.11.2004). Bull. No. 11. 7 p. [in Ukrainian].
5. Chekanovych, O. M. (2009). *Rehul'ovanoobtysnena zalizobetonna balka [Adjustable-compression reinforced concrete beam]* (pat. 87047 Ukraine, MPK 2009 E04C3/00; patent owner Chekanovich, O.M. No. a 2007 10856; application 10.04.2009; publ. 10.06.2009). Bull. No. 11. 3 p. [in Ukrainian].
6. Hladchenko, I. F. (2000). *Stalezalizobetonna nerozrizna balka [Steel-reinforced concrete continuous beam]* (pat. 31466 Ukraine, MPK 2000 E01D1/00; patent owner: State Research Institute of Building Structures. No. u 98094771; application 10.09.1998; publ. 15.12.2000). Bull. No. 7. 2 p. [in Ukrainian].
7. Hasenko, A. V. (2022). *Samonapruzheniya stalezalizobetonnykh konstruktsiy [Self-stressing of steel-reinforced concrete structures]: monohrafiya – monograph*. Poltava : PP “Astraya”, 312 p. [in Ukrainian].

Дата першого надходження рукопису до видання: 16.08.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 11.09.2025

Дата публікації: 30.10.2025