

ЗМІНА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВЕДЕНОГО СТАЛЕБЕТОННОГО ПЕРЕРІЗУ ПІД ЧАС БІСТАДІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ САМОНАПРУЖЕНИХ ПЕРЕКРИТТІВ СХОВИЩ

CHANGE OF THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE REDUCED STEEL-CONCRETE SECTION DURING THE TWO-STAGE MANUFACTURE OF SELF-TENSIONING STORAGE FLOORS

Семко О.В., д.т.н., професор, ORCID 0000-0002-2455-752X; Гасенко А.В., д.т.н., доцент, ORCID 0000-0003-1045-8077; Зубік О.А., студент (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка») Гасенко Л.В., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-1310-914X (Херсонський державний аграрно-економічний університет)

Semko O.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID 0000-0002-2455-752X; Hasenko A.V., Doctor of Technical Sciences, Associate professor, ORCID 0000-0003-1045-8077; Zubik O.V., Student (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»); Hasenko L.V., PhD, Associate professor, ORCID 0000-0002-1310-914X (Kherson State agrarian and economic University)

Визначено зміну геометричних характеристик перерізу СЗБ конструкцій перекриттів залежно від різних геометричних розмірів перерізу і фізико-механічних характеристик матеріалів. Для низьких класів бетону плити точне визначення ефективної ширини бетонної полиці більш суттєво впливає на мінімальний момент опору перерізу, ніж для вищих класів.

Atypical architectural and structural solutions for built-in civil protection shelters can be solved with monolithic or precast concrete and steel-reinforced concrete structures. Steel-reinforced concrete floors successfully combine the positive properties of steel and concrete. However, in order to ensure their joint operation, it is necessary to determine the effect of each component on the overall bearing capacity of the resulting composite structures with sufficient accuracy. The aim of the study is to determine the change in the geometric characteristics of the reduced steel-concrete section of the floor structures, taking into account different geometric dimensions of the cross-section and physical and mechanical characteristics of the materials of the composite core. The geometric characteristics of the composite section change due to the two-stage manufacturing technology. At the first stage of operation of such slabs, the geometric characteristics of monosteel sections are easy to determine. However, at the second stage of operation of the composite core, it is necessary to determine the geometric parameters of the concrete shelf, which is included

in the determination of the geometric characteristics of the reduced section, quite clearly. It has been determined that for low classes of concrete of a monolithic slab, the accurate determination of the effective width of the concrete shelf significantly affects the bearing capacity of a reinforced concrete slab. For high concrete classes of a monolithic slab, an increase in the width of the shelf taken into account in the calculation slightly changes the bearing capacity of the reinforced concrete slab.

Ключові слова: сховища, перекриття, сталезалізобетон, виготовлення, бістадійність, приведений, переріз, розрахунок, характеристики, зміна. storage, floor covering, steel-reinforced concrete, manufacturing, two-stage, reduced, section, calculation, characteristics, change.

Вступ. В умовах військового стану в Україні гостро постає питання розширення фонду захисних споруд цивільного захисту населення. На влаштування вбудованих укриттів у існуючі конструктивно-планувальні схеми будівель досить часто відсутні технічні умови і технологічні карти [1]. Вирішення вказаної проблеми вимагає від інженерів-проектувальників індивідуальних нетипових конструктивних рішень і технологій влаштування.

Аналіз останніх досліджень. Нетипові архітектурно-конструктивні рішення можливо вирішити за допомогою монолітних чи збірно-монолітних залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій [2], з яких можливо виконувати як несучі, так і огорожувально-захисні частини будівель. Залізобетонні та сталезалізобетонні конструкції можуть утворюватися при новому будівництві, при підсиленні сталевих елементів обетонуванням [3; 4].

Найбільш широкими дослідженнями методів визначення несучої здатності композитних сталезалізобетонних конструкцій займалися вчені наукових шкіл у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Українському державному університеті залізничного транспорту, Національному університеті «Львівська політехніка» та ін. Зокрема доведено, що класична модель напружено-деформованого стану композитних брусів з достатньою точністю відображає реальні значення з несучої здатності та жорсткості сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом, і може бути рекомендованою для розрахунку таких конструкцій [5]; розроблено математичну модель аналізу несучої здатності сталобетонних балок за допомогою методу приведеного перерізу та графічного визначення області оптимальних геометричних характеристик з урахуванням властивостей матеріалів (бетон та сталь) [6]; розроблена методика розрахунку просторових металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу з ребристими залізобетонними плитами, із використанням приведених геометричних характеристик утвореного сталобетонного перерізу [7].

Виділення невирішеної частини поставленої проблеми. Зважаючи на вище сказане, дослідження методів визначення приведених характеристик

композитного сталобетонного перерізу, які б найкраще враховували форму та геометричні параметри поперечного перерізу, а також фізико-механічні характеристики матеріалів композитного стержня, є актуальною недостатньо дослідженою задачею.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є визначення зміни геометричних характеристик приведеного сталобетонного перерізу конструкцій перекриттів із врахуванням різних геометричних розмірів поперечного перерізу та фізико-механічних характеристик матеріалів (бетону та сталі) композитного стержня.

Виклад основного матеріалу. Сталезалізобетонні перекриття вдало поєднують позитивні властивості сталі та бетону при умові конструктивного забезпечення їхньої сумісної роботи. Бетон монолітної залізобетонної плити, розташований у верхній частині перерізу, сприймає стискаючі напруження та водночас розкріплює з площини стиснутий пояс сталеві балки, а сталеві балки сприймає переважно зусилля розтягу.

Проте за рахунок бістадійної технології виготовлення збірно-монолітних сталезалізобетонних перекриттів, відбувається у процесі самого виготовлення зміна геометричних характеристик їх композитних поперечних перерізів. Зміну поперечного перерізу елементів будівельних конструкцій в процесі виготовлення прийнято називати генетичною нелінійністю. Суть *генетичної (родовідної) нелінійності* полягає у нелінійній або кусково-лінійній (дискретній) залежності між зовнішнім навантаженням на конструкцію та характеристиками жорсткості її елементів у процесі створення (див. рис. 1, а). При цьому у більшості випадків зміна (збільшення за рахунок замоноличення верхньої бетонної полицки (див. рис. 1, б-в) поперечного перерізу сталезалізобетонного елемента перекриттів відбувається за різних напружень у його складових: наявних напружень у сталевій частині від власної ваги монолітної бетонної плити та відсутності напружень у монолітній бетонній плиті.

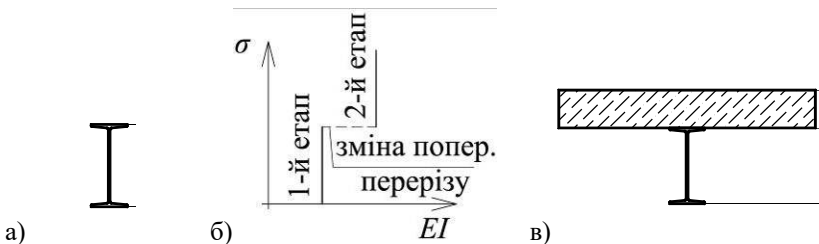


Рис. 1 – Демонстрація генетичної нелінійності роботи сталезалізобетонних перекриттів під час їх виготовлення: а) 1-й етап виготовлення – влаштування сталеві балкової клітки; б) схема зміни жорсткості перерізу; в) 2-й етап виготовлення – влаштування монолітної залізобетонної плити

Уникнути генетичної нелінійності роботи сталезалізобетонних перекриттів можливо шляхом встановлення на час бетонування монолітної плити тимчасових стійок під сталеві балки або влаштування монолітної плити по інвентарній тимчасовій опалубці. Вказаний захід дасть можливість повністю розвантажити сталеві балки від ваги свіжоукладеної бетонної суміші і після набору бетоном плити проектної міцності забезпечить сумісну роботу композитної конструкції на корисне навантаження, починаючи від нульових напружень як у монолітній бетонній плиті, так і сталевій балці. Слід відзначити, що шляхом встановлення вказаних вище тимчасових стійок або застосування поетапної технології бетонування монолітної плити нерозрізних сталезалізобетонних конструкцій, можливо навпаки досягнути вигідних попередніх напружень у компонентах, що припустимо називати самонапруженням таких перекриттів [8].

Відомо, що на першому етапі виготовлення сталезалізобетонних перекриттів – влаштування сталеві балкової клітки – геометричні характеристики сталевих моноперерізу легко визначити, використовуючи загальновідомі залежності визначення геометричних характеристик складеного поперечного перерізу або взяти відповідні характеристики із довідкових таблиць при використанні прокатних профілів. Знайдені геометричні характеристики сталевих моноперерізу необхідно використовувати при визначенні напружено-деформованого стану сталевих балок від ваги свіжоукладеної бетонної суміші монолітної плити (за умови незастосування зазначених вище ресурсозберіжувальних заходів самонапруження компонентів перекриття).

Після другого етапу виготовлення сталезалізобетонних перекриттів – влаштування монолітної залізобетонної плити – та подальшої сумісної роботи компонентів перекриття на корисне навантаження, для визначення геометричних характеристик комбінованого перерізу необхідно дотримуватися вимог та рекомендацій діючих нормативних документів. Якщо розрахунковий сталезалізобетонний поперечний переріз відноситься до класу 1 або 2 і не має попереднього напруження канатами, що згідно ДБН В.2.6-160:2010 [9] допускає використання пружно-пластичної теорії, то несуча здатність за згинальним моментом сталезалізобетонної балки з плитою по профільованому настилу може бути визначена згідно з ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 [10] за спрощеним методом по критерію вичерпання міцності з ідеалізованим пластичним розподілом напружень (п.4.2.4 ДСТУ Б В 2 6-215:2016 [11]).

При розрахунку за спрощеним методом приймають наступні припущення (п.4.2.5 ДСТУ Б В 2 6-215:2016 [11]):

- між конструкційною сталлю (сталевими балками), арматурою та бетоном є повна взаємодія;

- напруження у розрахунковому поперечному перерізі сталевих елементів досягають розрахункового значення межі текучості f_{sd} при розтягу чи стиску;

– напруження у поздовжній арматурі в розрахунковому поперечному перерізі досягають свого розрахункового значення межі текучості f_{sd} ;

– напруження в стиснутому бетоні у розрахунковому поперечному перерізі досягають значення $0,85f_{cd}$ і приймаються постійними по всій висоті між нейтральною віссю в пластичній стадії і найбільш стиснутими волокнами бетону монолітної плити.

Наведені припущення дозволяють визначати геометричні характеристики складеного сталезалізобетонного перерізу як для монолітного стержня, врахувавши різні фізико-механічні властивості матеріалів (конструкційної прокатної сталі та бетону) коефіцієнтом приведення. Цей коефіцієнт визначають співвідношенням модулів пружності матеріалів (сталі та бетону) (див. (1) або співвідношенням розрахункових опорів матеріалів (див. (2)):

$$\eta_s = \frac{E_{cd}}{E_s}; \quad \eta_c = \frac{E_s}{E_{cd}}; \quad (1)$$

$$\eta_s = \frac{f_{cd}}{R_y}; \quad \eta_c = \frac{R_y}{f_{cd}}. \quad (2)$$

У більшості випадків під час розрахунку сталезалізобетонних конструкцій зручніше виконувати приведення бетонної частини перерізу до сталевій, тобто використовувати коефіцієнт η_s . У таблиці 1 подано порівняння коефіцієнту приведення η_s для різних класів бетону, визначеного співвідношенням модулів пружності чи розрахункових опорів матеріалів. При цьому використані характеристики однакової прокатної сталі класу міцності С255. Згідно наведених даних, коефіцієнт приведення, визначений співвідношенням розрахункових опорів, є меншим за коефіцієнт приведення, визначений співвідношенням модулів пружності. У наступних розрахунках коефіцієнт приведення визначається співвідношенням розрахункових опорів, що дещо занижуватиме розрахункову несучу здатність.

Таблиця 1

Порівняння коефіцієнту приведення бетонної частини перерізу до сталевій η_s , визначеного співвідношенням модулів пружності чи розрахункових опорів

Клас бетону	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/32	C30/35	C35/40
$\eta_s = E_{cd}/E_y$	0.061	0.080	0.098	0.112	0.122	0.132	0.139
$\eta_s = f_{cd}/R_y$	0.024	0.035	0.047	0.059	0.069	0.080	0.090
$\Delta\eta_s$, рази	2.51	2.29	2.08	1.90	1.76	1.65	1.55

Приведена ширина бетонних полиць таврового сталобетонного перерізу визначається згідно рекомендацій п. 8.4.1.1.3 ДБН В.2.6-160:2010 [9]. Для перерізів згинаного сталезалізобетонного стержня, розташованих у зоні вгнутої кривизни (у крайньому прольоті – випадок 1 на рисунку 2), приведену ширину полиць рекомендовано визначати за формулою:

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ai} = b_0 + 2 \cdot \frac{L_c}{8} = b_0 + 2 \cdot \frac{0.85 \cdot L_1}{8}. \quad (3)$$

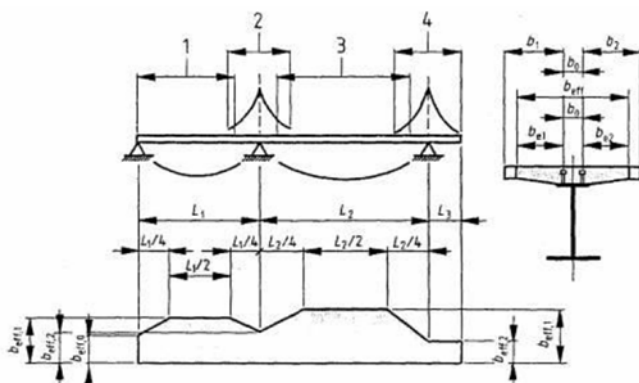


Рис. 2 – Еквівалентні прольоти для фактичної ширини бетонної полиці (згідно рис. 8.1 [9]): випадок 1 – $L_e = 0.85L_1$ для $b_{eff,1}$; випадок 2 – $L_e = 0.25(L_1 + L_2)$ для $b_{eff,2}$; випадок 3 – $L_e = 0.7L_2$ для $b_{eff,1}$; випадок 4 – $L_e = 2L_1$ для $b_{eff,2}$.

На рисунку 3 показано вплив прийнятої в розрахунку ширини бетонної полиці із різним класом бетону на мінімальний приведенний момент опору сталезалізобетонного перерізу. Із аналізу показаних на рисунку 3 залежностей випливає, що для низьких класів бетону монолітної плити точне визначення ефективної ширини бетонної полиці більш суттєво впливає на значення приведенного моменту опору. Зокрема для бетону класу С8/10 спостерігається збільшення моменту опору в 1,6 рази із збільшення ширини полиці, прийнятої в розрахунку. Для високих класів бетону монолітної плити збільшення ширини полиці, прийнятої в розрахунку, незначно змінює значення приведенного моменту опору. Зокрема для бетону класу С25/30 вказане збільшення складо 1,15 рази.

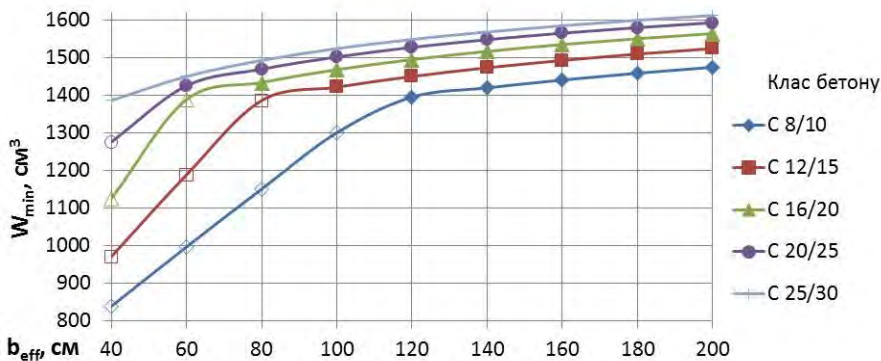


Рис. 3 – Вплив прийнятої в розрахунку ширини бетонної полиці на приведенний мінімальний момент опору сталезалізобетонного перерізу

У таблиці 2 виконано порівняння впливу врахування бетонної полиці з ефективною шириною, визначеною за (3), на збільшення геометричних характеристик приведенного перерізу. Геометричні параметри сталевोї прокатної частини і товщина бетонної плити при цьому прийнята постійною.

Таблиця 2

Вплив врахування бетонної полиці на збільшення геометричних характеристик приведенного перерізу

Клас бетону	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/32	C30/35	C35/40
$W_s, \text{см}^3$	1041						
$W_{\text{СЗБ}} \text{mins}, \text{см}^3$	1469	1519	1559	1588	1608	1624	1639
$\Delta W, \text{рази}$	1.41	1.46	1.50	1.53	1.54	1.56	1.57

Висновки. Геометричні характеристики приведенного складеного сталобетонного перерізу, визначені з використанням коефіцієнту приведення фізико-механічних характеристик бетону до сталі співвідношенням розрахункових опорів матеріалів, є меншим за характеристики, визначені з використанням коефіцієнту приведення співвідношенням модулів пружності. Для низьких класів бетону монолітної плити точне визначення ефективної ширини бетонної полиці більш суттєво (для бетону класу C8/10 в 1,6 рази) впливає на мінімальне значення приведенного моменту опору перерізу, ніж для бетонів вищих класів (для бетону класу C25/30 в 1,15 рази).

1. Філіпчук С.В., Налєпа О.І., Голуб А.О., Баран Д.Я. Аналіз існуючих архітектурно-конструктивних рішень захисних фортифікаційних споруд. *Зб. наук. пр. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Рівне : НУВГтаП, 2023. Вип. 43. С. 228–237. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.25>

Filipchuk S.V., Nalepa O.I., Holub A.O., Baran D.Ia. Analiz isnuuychkh arkhitekturno-konstruktyvnykh rishen zakhysnykh fortyfikatsiinykh sporud. *Zb. nauk. pr. «Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy»*. Rivne : NUVHtaP, 2023. Vyp. 43. S. 228–237. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.25>

2. Гасенко А.В., Новицький О.П., Пенц В.Ф. Реконструкція багатопверхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозберезувальних конструктивних рішень. *Зб. наук. пр. «Вісник НУВГП, серія Технічні науки»*. Рівне : НУВГтаП, 2021. Вип. 2(94) С. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt220214>

Hasenko A.V., Novytskyi O.P., Pents V.F. Rekonstruktsiia bahatopoverkhovykh promyslovykh budivel pid dostupne zhytlo iz vykorystanniam resursozberezhualnykh konstruktyvnykh rishen. *Zb. nauk. pr. «Visnyk NUVHP, seriia Tekhnichni nauky»*. Rivne : NUVHtaP, 2021. Vyp. 2(94) S. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt220214>

3. Клим А.Б., Бліхарський Я.З., Бобало Т.В. Розрахунок несучої здатності залізобетонної балки за наявності пошкодження стиснутої зони бетону. *Зб. наук. пр. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Рівне : НУВГтаП, 2023. Вип. 43. С. 149–157. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.17>

Klym A.B., Blikharskyi Ya.Z., Bobalo T.V. Rozrakhunok nesuchoi zdatnosti zalizobetonnoi balky za naiavnosti poshkodzhennia stysnutoi zony betonu. *Zb. nauk. pr.*

«Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy». Rivne : NUVHtaP, 2023. Vyp. 43. S. 149–157. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.17>

4. Семко О.В., Гасенко А.В., Дарієнко В.В., Богущ О.І. Поєднання сталевोї та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson. *Наук.-техн. зб. «Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура»*. Харків : ХНАМГ, 2011. Вип. 97. С. 77 – 82.

Semko O.V., Hasenko A.V., Dariienko V.V., Bohush O.I. Poiednannia stalevoi ta betonnoi chastyn stalezalizobetonnykh konstruktсии za dopomohoiu ankeriv systemy Nelson. *Nauk.-tekhn. zb. «Komunalne hospodarstvo mist. Serii: Tekhnichni nauky ta arkhitektura»*. Kharkiv : KhNAMH, 2011. Vyp. 97. S. 77 – 82.

5. Стороженко Л.І., Чередніков В.М., Крупченко О.А. Розрахунок сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом. *Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГтаП, 2008. Вип. 16. С. 358–364.

Storozhenko L.I., Cherednikov V.M., Krupchenko O.A. Rozrakhunok stalezalizobetonnykh dvotavrovyykh balok iz zalizobetonnyim verkhnim poyasom. *Zb. nauk. pr. NUVHP: Resursoekonomni materialy, konstruktсий, budivli ta sporudy*. Rivne : NUVHtaP, 2008. Vyp. 16. S. 358–364.

6. Фалендиш А.П., Беліков Е.А. Визначення раціональних характеристик сталобетонної балки прямокутного перерізу. *Зб. наук. пр. УкрДАЗТ*. Харків : УкрДАЗТ, 2013. Вип. 138. С. 217–221. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102476>

Falendysh A.P., Byelikov E.A. Vyznachennya ratsional'nykh kharakterystyk stalebetonnoyi balky pryamokutnoho pererizu. *Zb. nauk. pr. UkrDAZT*. Kharkiv : UkrDAZT, 2013. Vyp. 138. S. 217–221. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102476>

7. Вибранець Ю.Ю., Іваник І.Г., Віхоть С.І., Іваник Ю.І. Просторовий розрахунок комбінованих сталезалізобетонних систем. *Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава : ПолтНТУ, 2014. Вип. 3 (42), т. 1. С. 86–91.

Vybranets' YU.YU., Ivanyk I.H., Vikhot' S.I., Ivanyk YU.I. Prostorovyy rozrakhunok kombinovanykh stalezalizobetonnykh system. *Zb. nauk. pr. PNTU. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo*. Poltava : PoltNTU, 2014. Vyp. 3 (42), t. 1. S. 86–91.

8. Гасенко А.В. Самонапруження сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Полтава: ПП «Астрая», 2022. 312 с.

Hasenko A.V. Samonapruzhennya stalezalizobetonnykh konstruktсий: monohrafiya. Poltava: PP «Astraya», 2022. 312 s.

9. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний з 01-09-2011]. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 81 с.

DBN V.2.6-160:2010. Stalezalizobetonni konstruktсийi. Osnovni polozhennya. [Chynnyy z 01-09-2011]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. 81 s.

10. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. [Чинний з 01-01-2014]. К.: Мінрегіонбуд України, 2012. 159 с.

DSTU-N B EN 1994-1-1:2010. Yevrokod 4. Proektuvannya stalezalizobetonnykh konstruktсий. [Chynnyy z 01-01-2014]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2012. 159 s.

11. ДСТУ-Б В.2.6-215:2016. Розрахунок і конструювання сталезалізобетонних конструкцій з плитами по профільованому настилу. [Чинний з 01-04-2017]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 65 с.

DSTU-B V.2.6-215:2016. Rozrakhunok i konstruyuvannya stalezalizobetonnykh konstruktсий z plytamy po profil'ovanomu nastylu. [Chynnyy z 01-04-2017]. K.: DP «UkrNDNTS», 2016. 65 s.