

ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

У статті наведені відомості про новий вид несучих згинних конструкцій – сталезалізобетонні двотаврові балки із залізобетонним верхнім поясом. Розроблено методику їх розрахунку, в основу якої покладена гіпотеза плоских перерізів та діаграми деформування матеріалів.

Ключові слова: сталезалізобетонні конструкції, напружено-деформований стан, деформаційна модель, несуча здатність.

В статье приведены сведения о новом виде несущих изгибаемых конструкций – сталежелезобетонных двутавровых балках с железобетонным верхним поясом. Разработана методика их расчета, в основу которой положена гипотеза плоских сечений и диаграммы деформирования материалов.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, напряженно-деформированное состояние, деформационная модель, несущая способность.

The article deals with the new type of bearing flexible constructions, i.e. the double T composite beams with upper belt produced from reinforced concrete. The deformed estimated models have been developed on the base of hypothesis of plain sections and chart of deformed materials.

Key words: composite structure, deflected mode, deformation mode, bearing capacity.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань капітального будівництва є скорочення термінів виробництва будівельної продукції та зменшення трудозатрат на її виготовлення. Цього можна досягти, спрощуючи існуючі способи виготовлення й запроваджуючи нові, більш прості та ефективні методи з меншою трудоемністю, а також більш повне й ефективне використання будівельних матеріалів, створення нових економічних і довговічних конструкцій. До таких можна віднести сталезалізобетонні конструкції, які мають високі техніко-економічні показники за рахунок використання переваг кожного з матеріалів, що входять до їх складу. На сьогодні достатньо досліджені сталезалізобетонні згинні конструкції із жорстким та листовим армуванням, доведена їх техніко-економічна ефективність, запропоновані різні методи розрахунку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що подальше вдосконалення методу розрахунку конструкцій потребує використання моделей, котрі ґрунтуються на реальних діаграмах деформування матеріалів з урахуванням характеру і тривалості дії навантаження.

Використання такої моделі дозволяє об'єктивно враховувати фізичні особливості роботи матеріалів, а також оцінювати напружено-деформований стан і міцність сталезалізобетонних елементів. Основи такої моделі широко застосовуються в закордонній практиці, включені в міжнародні нормативні документи, впроваджуються в різні національні норми проектування залізобетонних і бетонних конструкцій.

Деформаційна модель дає можливість повною мірою врахувати нелінійне деформування бетону, відмовитися від зайвих емпіричних

залежностей і більш точно оцінювати напружено-деформований стан сталезалізобетонних елементів на різних рівнях навантаження, включаючи граничний, а також уникнути переоцінки міцності бетону.

Виділення не розв'язаних раніше проблем та формулювання цілей статті. Сталезалізобетонні двотаврові балки із залізобетонним верхнім поясом, утворені сталевим тавровим елементом (нижній пояс) і залізобетонною поличкою (верхній пояс), раніше не досліджувалися, й тому виникає необхідність в їх експериментальному та теоретичному вивченні.

З урахуванням усього цього було проведено експериментальні випробування сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом при різних схемах та умовах завантаження [7]. Крім того, досліджувалися балки з різними типами з'єднання залізобетонної полички із сталевим тавровим елементом. На основі експериментальних досліджень було зроблено такі висновки:

- сталезалізобетонні двотаврові балки із залізобетонним верхнім поясом надійно працюють при різних схемах і умовах завантаження;
- на всіх ступенях завантаження забезпечується сумісна робота сталевій та бетонній складових комплексної балки;
- при роботі досліджуваних балок у пружній стадії справедлива гіпотеза плоских перерізів.

Виклад основного матеріалу. При розрахунку сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом, які проектується із залізобетонною поличкою, що працює тільки на стиск, а нейтральна лінія проходить через стінку сталевих тавра, згідно з методикою, викладеною в роботі [5], рівнодіюча в стиснутому бетоні буде дорівнювати

$$N_b = B_f \int_{x-T_f}^x \sigma_b(\varepsilon_{bx}) dx, \quad (1)$$

де $\sigma_b(\varepsilon_{bx})$ – функція стискальних напружень бетону.

Її можна прийняти відповідно до залежностей (1.29) і (1.30) [5] або

$$N_b = N_{b1} + N_{b2}, \quad (2)$$

де N_{b1} – складова рівнодіючої, що сприймається стиснутим бетоном перерізу по висоті, де відбувається деформування за законом висхідної частини повної діаграми $\sigma_b-\varepsilon_b$;

N_{b2} – така ж складова по висоті, де відбувається деформування за законом спадної частини повної такої діаграми.

Для визначення рівнодіючої в стиснутому бетоні виконується підстановка значень відповідних напружень $\sigma_b(\varepsilon_{bx})$, виражених формулами (1.29) і (1.30) [5]. Ураховуючи гіпотезу плоских перерізів, змінне значення деформацій ε_{bx} , що змінюється за лінійним законом на висоті x від нейтральної осі перерізу, виразимо через ε'_{bu} , розташоване на висоті X від нейтральної осі, його можна представити залежністю

$$\varepsilon_{bx} = \varepsilon'_{bu} x / X, \quad (3)$$

де X – висота стиснутої зони перерізу.

У першому наближенні висота стиснутої зони перерізу може визначатися як $X = x_R$. У подальших розрахунках за необхідності така висота може уточнюватися і корегуватися залежно від рівняння рівноваги. Висота x_R визначається з такого рівноважного стану, при якому критичні деформації в крайніх фібрах стиснутого бетону ε'_{bu} відповідають граничному стану перерізу, а критичні деформації на рівні центра ваги розтягнутої полицки рівні ε_{ry} .

Використовуючи гіпотезу плоских перерізів, таку висоту можна знайти відповідно до розрахункової схеми (рис. 1, б)

$$X = x_R = h \varepsilon'_{bu} / (\varepsilon_{ry} + \varepsilon'_{bu}), \quad (4)$$

де h – висота поперечного перерізу;

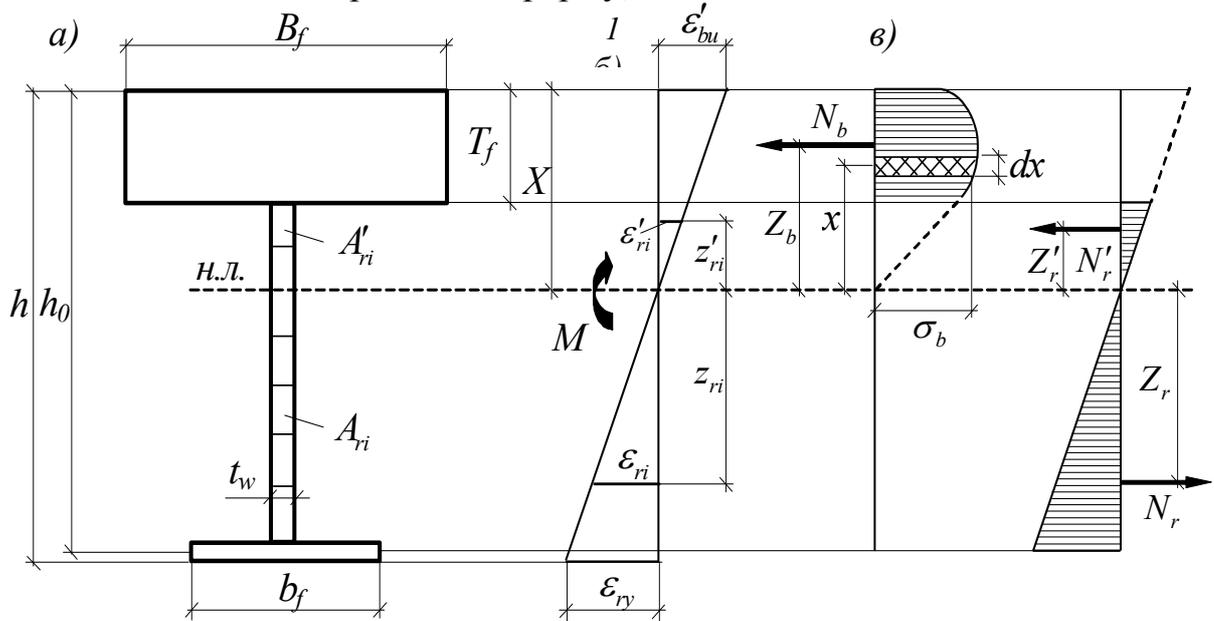


Рисунок 1 – До оцінки напружено-деформованого стану сталезалізобетонних двотаврових балок: а) схема перерізу; б) схема дії навантаження та епюра деформацій; в) епюра напружень бетону та сталевого тавра і схема дії внутрішніх зусиль

ε_{ry} – гранична деформація розтягнутого таврового елемента, що може прийматися рівною фізичній або умовній межі текучості. При опорі нижньої сталевий полицки R_y і модулі пружності E_r така деформація дорівнює

$$\varepsilon_{ry} = R_y / E_r. \quad (5)$$

Після відповідної заміни, інтегрування, підстановки меж інтегрування і необхідних перетворень (1) у числових експериментах рівнодіючі будуть мати вигляд:

$$N_{b1} = B_f T_f \left(C_1 \frac{\varepsilon_{bR}^2}{2} + C_2 \frac{\varepsilon_{bR}^3}{3} + C_4 \frac{\varepsilon_{bR}^4}{4} \right) \frac{1}{\varepsilon_{b,max}}; \quad (6)$$

$$N_{b2} = B_f T_f \left[D_0 + D_1 \frac{\varepsilon_{b,max}}{2} D_2 \frac{\varepsilon_{b,max}}{3} - \left(D_0 \varepsilon_{bR} + D_1 \frac{\varepsilon_{bR}^2}{2} - D_2 \frac{\varepsilon_{bR}^2}{3} \right) \frac{1}{\varepsilon_{b,max}} \right]. \quad (7)$$

Замінімо вирази в круглих дужках параметрами L_1 і L_2 :

$$L_1 = C_1 \varepsilon_{bR}^2 / 2 + C_2 \varepsilon_{bR}^3 / 3 + C_3 \varepsilon_{bR}^4 / 4; \quad (8)$$

$$L_2 = D_0 \varepsilon_{bR} + D_1 \varepsilon_{bR}^2 / 2 + D_2 \varepsilon_{bR}^3 / 3. \quad (9)$$

Параметри C_1 , C_2 , C_3 і D_0 , D_1 , D_2 знаходяться як коефіцієнти сплайн-функції відповідно до формул (1.9) – (1.14) [5].

Кінцеве значення складової рівнодіючої в бетоні при неоднорідному стиску можна виразити формулами:

$$N_{b1} = B_f T_f L_1 / \varepsilon_{b,max}; \quad (10)$$

$$N_{b2} = B_f T_f [(D_0 + D_1 \varepsilon_{b,max} / 2 + D_2 \varepsilon_{b,max}^2 / 3) - L_2 / \varepsilon_{b,max}]. \quad (11)$$

Для знаходження координати точки прикладання рівнодіючої в стиснутій частині армованого перерізу визначається згинальний момент, що сприймається стиснутою частиною бетону відносно нейтральної осі перерізу,

$$M_b = B_f \int_{X-T_f}^X \sigma_b(\varepsilon_{bx}) x dx. \quad (12)$$

При визначенні згинального моменту, що сприймається стиснутою частиною бетону щодо нейтральної осі перерізу, також використовується підстановка напружень $\sigma_b(\varepsilon_{bx})$ і деформацій ε_{bx} , як це відзначалося вище.

Виконавши таку підстановку, при переході від напружень у бетоні до згинального моменту реалізуємо процедуру чисельного інтегрування по висоті стиснутої частини нормального перерізу. Після відповідної заміни, інтегрування, підстановки меж інтегрування і необхідних перетворень рівнодіючу (12) у числових експериментах будемо представляти у формі складових

$$M_b = M_{b1} + M_{b2}, \quad (13)$$

де M_{b1} – складова моменту від рівнодіючої, що сприймається стиснутим бетоном по висоті, у межах якої деформування відбувається за законом висхідної частини повної діаграми $\sigma_b - \varepsilon_b$, рівна

$$M_{b1} = B_f T_f^2 l_1 / \varepsilon_{b,max}^2; \quad (14)$$

M_{b2} – така ж складова по висоті, де відбувається деформування за законом спадної частини цієї діаграми, обумовлена рівністю

$$M_{b2} = B_f T_f^2 \left[\left(\frac{D_0}{2} + \frac{D_1 \varepsilon_{b,max}}{3} + \frac{D_2 \varepsilon_{b,max}^2}{4} \right) - \frac{l_2}{\varepsilon_{b,max}^2} \right]. \quad (15)$$

Значення l_i знаходяться за формулами:

$$l_1 = C_1 \varepsilon_{bR}^3 / 3 + C_2 \varepsilon_{bR}^4 / 4 + C_3 \varepsilon_{bR}^5 / 5; \quad (16)$$

$$l_2 = D_0 \varepsilon_{bR}^2 / 2 + D_1 \varepsilon_{bR}^3 / 3 + D_2 \varepsilon_{bR}^4 / 4. \quad (17)$$

Для знаходження деформацій ε_{bR} за даною методикою пропонується користуватись залежністю, запозиченою з роботи [8],

$$\varepsilon_{bR} = 0,0007 R_b^{0,31}. \quad (18)$$

За наявності експериментальних даних можна брати ε_{bR} як середнє значення з дослідів.

Координата центра ваги епюри нормальних напружень стиснутої полицки відносно нейтральної лінії буде дорівнювати

$$y_b = \frac{M_b}{N_b}. \quad (19)$$

Рівнодіюча стиснутої частини сталеві стінки визначається за формулою

$$N'_r = \sum_{i=1}^n \sigma'_{ri} A'_{ri}, \quad (20)$$

де $i=1, 2, \dots, n$ – кількість фібр у стиснутій частині стінки, розміщених на відстані z'_{ri} від нейтральної осі;

σ'_{ri} , A'_{ri} – напруження та площа i -ї фібри стиснутої частини стінки.

Згинальний момент, який здатна сприйняти стиснута частина стінки, дорівнюватиме

$$M'_r = \sum_{i=1}^n N'_{ri} z'_{ri}. \quad (21)$$

Ураховуючи гіпотезу плоских перерізів та сумісність деформування залізобетонної полицки та сталевго тавра, деформації i -ї фібри стиснутої частини стінки можна виразити так:

$$\varepsilon'_{ri} = \varepsilon'_{bu} z'_{ri} / X. \quad (22)$$

Координата центра ваги епюри нормальних напружень стиснутої стінки відносно нейтральної лінії буде дорівнювати

$$y'_r = \frac{M'_r}{N'_r}. \quad (23)$$

Міцність нормального перерізу будемо визначати з умови $\sum M = 0$ відносно центра ваги нижньої сталевої полицки. Щоб знайти згинальний момент, який здатна сприйняти розтягнута частина стінки, необхідно знайти N_r – рівнодіючу розтягнутої частини сталевої стінки, яка визначається за формулою

$$N_r = \sum_{i=1}^n \sigma_{ri} A_{ri}, \quad (24)$$

де $i=1, 2, \dots, n$ – кількість фібр розтягнутої частини стінки, розміщених на відстані z_{ri} від нейтральної осі;

σ_{ri} , A_{ri} – напруження та площа i -го ряду розтягнутої фібри частини стінки.

Згинальний момент, який здатна сприйняти розтягнута частина стінки, дорівнюватиме

$$M_r = \sum_{i=1}^n N_{ri} z_{ri}. \quad (25)$$

Деформації i -ї фібри розтягнутої частини стінки можна виразити так:

$$\varepsilon_{ri} = \varepsilon_{sy} z_{ri} / (h - X). \quad (26)$$

Координата центра ваги епюри нормальних напружень розтягнутої частини стінки відносно нейтральної лінії буде дорівнювати

$$y_r = \frac{M_r}{N_r}. \quad (27)$$

Міцність нормального перерізу двотаврової сталезалізобетонної балки із залізобетонним верхнім поясом дорівнюватиме

$$M_r = N_b Z_b + N'_r Z'_r - N_r Z_r, \quad (28)$$

де Z_b, Z'_r, Z_r – відстані від центрів ваги епюр нормальних напружень до центра ваги нижньої розтягнутої полицки, які дорівнюють відповідно:

$$Z_b = h_0 - X + y_b, \quad Z'_r = h_0 - X + y'_r, \quad Z_r = h_0 - X - y_r. \quad (29)$$

Рівність (28) використовується для реалізації в числових експериментах ітераційного пошуку крайових критичних деформацій бетону ε'_{bu} залізобетонної полицки в граничному стані. Для відшукування таких деформацій визначається екстремальне значення моменту при відповідному значенні крайових деформацій $\varepsilon_{b,max}$. Вибраний у процесі ітераційних наближень параметр $\varepsilon_{b,max}$ при екстремальному значенні функції (28) можна вважати крайовою критичною деформацією ε'_{bu} . Згинальний момент, визначений на останній ітерації, при значенні деформацій ε'_{bu} вважається також критичним M_u .

Висновки з даного дослідження. Результати розрахунків дозволяють вважати, що викладена вище методика за деформаційною моделлю з достатньою точністю відображає реальні дані щодо несучої здатності й може

бути рекомендованою для розрахунку сталезалізобетонних двотавових балок із залізобетонним верхнім поясом.

Література

1. Бобало Т. В. Міцність та деформативність сталобетонних балок, армованих високоміцною стержневою арматурою в поєднанні з стрічковою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Бобало Тарас Володимирович – Львів, 2012. – 23 с.
2. Клименко Ф. Є. Робота сталезалізобетонних балок у зоні чистого згину / Ф. Є. Клименко, І. М. Добрянський, Ю. М. Фабрика // Вісник Львівського аграрного університету. Серія: Архітектура і сільське будівництво. – Львів, 2004. – № 5. – С. 49–62.
3. Кобзева Е. Н. Расчет сталобетонных балок по несущей способности, исключаяющей работу растянутой зоны бетона / Е. Н. Кобзева, А. В. Игнатенко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков, 2012. – № 58. – С. 119–123.
4. Gasii G.M. Comparative characteristics of the spatial grid-cable steel-concrete composite slab / G.M. Gasii // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 260–265.
5. Ambrose J. Simplified engineering for architects and builders / J. Ambrose, P. Tripney. – Wiley, 2010. – 736 p.
6. Гапченко С. А. Експериментальні дослідження окремих елементів структурно-вантового покриття / С. А. Гапченко // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2014. – № 3 (1). – С. 42–46.
7. Стороженко Л.І. Великопролітні структурно-вантові сталезалізобетонні покриття для будівель і споруд аеропортів / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // Проблеми розвитку міського середовища. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 2(16). – С. 72–79.
8. Давиденко О. І. Міцність і деформативність залізобетонних плит, армованих сталевим профільованим настилом: монографія / О.І. Давиденко. – Рівне: НУБіП, 2016. – 210 с.
9. Machacek J. Longitudinal shear in composite steel and concrete trusses / J. Machacek, M. Cudejko // Engineering Structures. – Elsevier, 2009. – Vol. 31. – № 6. – P. 1313–1320. DOI: 10.1016/j.engstruct.2008.07.009.
10. Абовская С. Н. Новые пространственные сталежелезобетонные конструкции покрытия / С. Н. Абовская. – Красноярск: Стройиздат, 1992. – 240 с.
11. Hicks S. J. Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting / S. J. Hicks, A. L. Smith // Structural Engineering International. – IABSE, 2014. – Vol. 24. – № 2. – P. 246–253.
12. Chilton J. Space grid structures / John. Chilton. – Boston: Architectural Press, 2000. – 180 p.
13. Зуева И. И. Влияние податливости болтового соединения на напряженно-деформированное состояние структурных конструкций / И. И. Зуева, В. В. Зуев // Вестник Пермского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – Пермь, 2010. – № 1. – С. 40–46.
14. Кисельов Д. Б. Арочно-вантові комбіновані конструкції. Чисельні й експериментальні дослідження / Д. Б. Кисельов // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка, 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 17–27.
15. Яхін С. В. Згинальні несучі конструкції зі сталевих двотаврів із порожнинами, заповненими бетоном: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Яхін Сергій Валерійович – Полтава, 2002. – 20 с.

16. Клованич С. Ф. Продавливание железобетонных плит. Натурный и численный эксперименты / С. Ф. Клованич, В. И. Шеховцов. – Одесса: Издательство ОНМУ, 2011. – 119 с.
17. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента / И. С. Инжутов, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, В. В. Захарюта // Вестник Московского государственного строительного университета. – Москва, 2013. – № 3. – С. 61–71.
18. Storozhenko L.I. Analysis of stress-strain state of the steel-concrete composite ribbed slab as a part of the spatial grid-cable suspended structure / L. I. Storozhenko, G. M. Gasii // Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PoltNTU, 2016. – iss. 2 (47). – P. 81–86
19. Mekjavić I. Buckling analysis of concrete spherical shells / Ivana Mekjavić // Technical Gazette. – Osijek, 2011. – Vol. 18. – № 4. – P. 633–639.
20. Стороженко Л. І. Пошук оптимальних параметрів структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів за критерієм напружень розтягу в нижньому поясі / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, Ю. Л. Гладченко // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. статей. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – Вип. 9. – С. 173–179.
21. Стороженко Л.И. Особенности конструкции и технологии монтажа новых пространственных сталежелезобетонных структурно-вантовых покрытий [Текст] / Л.И. Стороженко, Г.М. Гасий, С.А. Гапченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1 (70). – Т.4. – С. 67–72. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26041>
22. Бібік М. В. Міцність і деформативність розтягнуто-зігнутих сталевих елементів з урахуванням пластичної стадії роботи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Бібік Микола Володимирович – Полтава, 2005. – 23 с.
23. Гасенко А. В. Оптимізація розмірів сталезалізобетонних балок при їх розрахунку згідно з вимогами ДСТУ–Н Б EN 1994–1–1:2010 / А. В. Гасенко, С. А. Гудзь, В. В. Дарієнко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків, 2014. – № 148 (2). – С. 123–130.
24. Behaviour and design of composite steel and concrete building structures / B. Uy, Z. Tao, D. Lam, L. H. Han. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 400 p.
25. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій: Монографія / [Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, О.В. Нижник та ін.]. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262 с.
26. Makowski Z. S. Space frames and trusses / Z. S. Makowski // Constructional Steel Design. An International Guide. – Elsevier, 1992. – P. 791–843.
27. Gasii G.M. The flat double-layer grid-cable steel-concrete composite / G.M. Gasii // Proceedings of the METNET Seminar 2016 in Castellon. – Hämeenlinna, Finland: HAMK University of Applied Sciences, 2016. – P. 56 – 62.
28. Замалиев Ф. С. Экспериментальные исследования пространственной работы сталежелезобетонных конструкций / Ф. С. Замалиев // Вестник Московского государственного строительного университета. – Москва, 2012. – № 12. – С. 53–60.
29. Headed stud shear connector for thin ultrahigh-performance concrete bridge deck / [J. S. Kim, J. Kwark, C. Joh et al.]. // Journal of Constructional Steel Research. – Elsevier, 2015. – Vol. 108. – P. 23–30. DOI: 10.1016/j.jcsr.2015.02.001.
30. Гасій Г.М. Зведення структурних сталезалізобетонних покриттів [Текст] : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф./ Г.М. Гасій // Актуальні задачі сучасних технологій. – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 73–74.
31. Krishna P. Cable-suspended roofs / P. Krishna, P. N. Godbole. – New Delhi:

McGraw-Hill Companies, 2013. – 304 p.

32. Бліхарський З. Я. Несуча здатність сталобетонних балок армованих стрічковою арматурою класу C275 та стержневою класу A1000 / З. Я. Бліхарський, Т. В. Бобало // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2010. – № 3. – С. 34–41.

33. Гасій Г.М. Розрахунок вузлів сталезалізобетонної структурної конструкції за методом кінцевих елементів / Г.М. Гасій // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 119–124.

34. Gasii G. Estimate of technical and economic benefits of a new space composite structure / G. Gasii, O. Hasii, O. Zabolotskyi // MATEC Web of Conferences. – 2017. – № 116. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602014>

35. Гасій Г.М. Напружено-деформований стан структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій покриття / Г.М. Гасій // Проблеми сучасного будівництва: матер. Всеукр. інтернет-конф. мол. уч. і студ., 21–22 листопада 2012 р., Полтава / ПолтНТУ, Полт. держ. центр науки, інновацій та інформатизації. – Полтава, 2012. – С. 121–122.

36. Клименко Є. В. Методологія оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану будівель та споруд із залізобетону: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Клименко Євгеній Володимирович – Львів, 2008. – 31 с.

37. Клименко Ф. Є. Міцність та деформативність сталобетонних згинаних елементів підсилених при різних рівнях напруженого стану додатковою ненапруженою арматурою / Ф. Є. Клименко, А. П. Крамарчук // Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: збірник наукових статей. – Кривий ріг, 2004. – № 6. – С. 107–118.

38. Lan T. T. Space frame structures / T. T. Lan. – Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. – 129 p.

39. Innovations in design and construction of the new stadiums and gymnasiums for the 2008 Beijing Olympic games / X. Liu, Q. Zhao, H. Liu, Z. Chen // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. – IASS, 2011. – Vol. 52. – № 1. – P. 39–53.

40. Jianguo N. Steel-concrete composite beams considering shear slip effects / N. Jianguo, C. S. Cai // Journal of Structural Engineering. – ASCE, 2003. – Vol. 129. – № 4. – P. 495–506. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:4(495).

41. Ільницький Б. М. Несуча здатність похилих перерізів сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої арматури з бетоном: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Ільницький Борис Мар'янович – Львів, 2005. – 21 с.

42. Стороженко Л.І. Нові сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1(40). – С. 91–96.

43. Lan T. T. A study on the optimum design of space trusses-optimal geometrical configuration and selection of type / T. T. Lan, R. Qian // Shells, Membranes and Space Frames. – Elsevier, 1986. – P. 191–198.

44. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

45. Lienhard J. Bending-active structures. PhD Thesis / J. Lienhard. – Stuttgart: University of Stuttgart, 2014. – 211 p.

46. Huo B. Y. Experimental and analytical study of the shear transfer in composite shallow cellular floor beams. PhD Thesis / B. Y. Huo. – London: City University London, 2012. –

47. Гасій Г.М. Основи формотворення і проектування просторових покриттів із структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій / Г.М. Гасій // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научных трудов.* – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. – Вип. 87. – С. 48–53.
48. Іваник І. Г. Просторовий розрахунок перехресно-ребристих залізобетонних систем з врахуванням фізичної нелінійності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Іван Григорович Іваник – Львів, 2000. – 20 с.
49. Johnson R. P. *Composite structures of steel and concrete: Beams, slabs, columns, and frames for buildings* / R. P. Johnson. – Blackwell, 2004. – 252 p.
50. Chen W. F. *Handbook of structural engineering* / W. F. Chen, E. M. Lui. – CRC Press, 2005. – 1768 p.
51. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій: монографія / [Л. І. Стороженко, В. М. Тимошенко, О. В. Нижник та ін.]. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262 с.
52. Гиясов А. *Плоскостные и пространственные конструкции покрытий зданий* / Адхам Гиясов. – М.: АСВ, 2008. – 144 с.
53. Зуева И. И. Особенности проектирования структурных конструкций типа «ЦНИИСК» / И. И. Зуева, С. Л. Иванова // *Вестник Пермского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура.* – Пермь, 2013. – № 1. – С. 91–97.
54. Стороженко Л.І. Результати експериментальних досліджень сталезалізобетонної структурної конструкції / Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, Г.М. Гасій // *Будівельні конструкції: Зб. наук. праць.* – К.: НДІБК, 2007. – С. 348-352
55. Гасій Г.М. Проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій покриття / Г.М. Гасій // *Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація.* – К.: НДІБК, 2008. – Вип.70. – С. 269 – 277.
56. Вибранець Ю. Ю. Міцність і деформативність комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Вибранець Юрій Юрійович – Львів, 2016. – 158 с.
57. Kostić D. *Prilog rešenju problema stabilnosti dvopojasnih lančaničnih sistema: doktorska disertacija* / D. Kostić – Niš: University of Nišu, 2007. – 167 p.
58. ДБН В. 2.6–98–2009. *Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
59. Гасій Г.М. Монтаж структурно-вантових сталезалізобетонних оболонок [Текст] : матер. Всеукр. інтернет-конф. мол. уч. і студ. / Г.М. Гасій // *Проблеми сучасного будівництва.* – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 274–275.
60. Стороженко Л.І. Структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // *Будівельні конструкції.* – 2013. – Вип. 78(2). – С. 195–200.