

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 624.015.5

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПЕРЕРІЗІВ,
МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У РІЗНИХ НАПРЯМАХ БУДІВНИЦТВА**

Зав. навч. лаб. С. В. Дериземля

**JUSTIFICATION AND CHOOSING OF RATIONAL CONSTRUCTIVE CROSS-
SECTIONS, POSSIBILITIES OF USING IN DIFFERENT CONSTRUCTION
DIRECTIONS**

Head of the teaching laboratory S. V. Deryzemlia

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.240897>

Анотація. Розвиток сучасного будівництва тісно пов'язаний з проблемою ефективного використання будівельних матеріалів з точки зору раціонального використання міцнісних властивостей матеріалів. Важливим є питання пошуку раціональної конструкції з точки зору геометричних параметрів, використання матеріалів, а також забезпечення тієї ж самої несучої здатності. Метою статті є проведення порівняльного аналізу геометричних та міцнісних характеристик різних сталобетонних перерізів, а також розгляд існуючих методів розрахунку несучої здатності і оцінки напружено-деформованого стану сталезалізобетонних балок.

Ключові слова: сталезалізобетонна балка, раціоналізація перерізів, сталезалізобетонний переріз, методи розрахунку балок.

Abstract. The development of modern construction is closely related to the efficient use problem of building materials in terms of rational use materials' strength properties. The search of rational structure in terms of geometric parameters, the materials use and providing the same bearing capacity is important question in the modern building. The purpose of article is to carry out a comparative analysis of the geometric and strength characteristics of different reinforced concrete cross-sections, and consideration of existing methods for calculating the bearing capacity and assessment of the stress-strain state of reinforced concrete beams.

The steel-concrete structures using in different building structures is paid much attention in the world practice. The steel-concrete structures widespread using leads to the economy of materials, reducing the complexity of manufacture, reducing time erection. The using of reinforced concrete leads to significant economy of steel, and set the new tasks for the engineers in the same time: own weight and geometric parameters reducing of the cross-section without reducing of bearing capacity in whole. With the search for new structures that would meet the building requirements and usage of different building, nowadays significant attention pays to the improvement and development of the steel-concrete elements. During the development and improvement of steel-concrete structures, significant changes have been made in terms of ensuring the joint operation of reinforced concrete and steel. Such structures require constant research and improvement in order to reduce their own weight, financial costs, etc. The question of finding a rational structure in terms of geometric parameters, the materials using, as well as ensuring the same bearing capacity is currently important.

Keywords: steel-concrete beam, cross-section rationalization, steel-concrete cross-section, beam calculation methods.

Вступ. Питання підвищення несучої здатності будівельних конструкцій, економії бетону і сталі мають значний вплив при будівництві нових і реконструкції існуючих будівель та споруд, у тому числі транспортних.

Поряд з удосконаленням традиційних залізобетонних конструкцій велику увагу приділяють використанню конструкцій із зовнішнім армуванням сталевим листом, профілем або замкнутою обоймою, тобто сталобетонних і сталезалізобетонних конструкцій. Нині такі конструкції широко застосовуються при реалізації у будівництві споруд різних видів систем (колон, балок, ферм, арок, комбінованих систем) [1–3]. Елементи цих систем зазнають різних видів напружено-деформованого стану – центральний розтяг і стиск, позацентровий стиск, стиск зі згином, поздовжній згин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливістю сталезалізобетонних прогонових будов є значне зменшення поперечного перерізу сталевих несучих елементів, що зменшує несучу здатність і міцність прогонових будов, яких може бути недостатньо для низки монтажних робіт, тому обов'язковим є виконання перевірки міцності і жорсткості сталевих конструкцій на монтажні навантаження.

Поряд з наявними методиками розрахунку сталезалізобетонних конструкцій значного поширення набувають методики, які ґрунтуються на реальних діаграмах деформування матеріалів з урахуванням характеру і тривалості дії навантаження [4, 5]. Такий підхід дає змогу більш точно описувати не тільки граничний стан елемента, а й отримувати залежність розвитку деформацій зі збільшенням навантаження. Використання цих методик дає можливість об'єктивніше враховувати фізичні особливості роботи матеріалів, а також точніше оцінювати напружено-деформований стан та міцність залізобетонних елементів. Основи такої моделі широко застосовуються в закордонній практиці, включені в

міжнародні нормативні документи, впроваджуються в державні норми проектування сталезалізобетонних конструкцій [6, 7].

Розробкою та дослідженням напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій займалися такі вчені, як Л. І. Стороженко, Е. Д. Чихладзе, О. В. Семко, Н. Н. Стрелецький, В. С. Шмуклер, О. Л. Кришан, О. І. Лапенко, О. Л. Шагін, Jianguo Nil, Yan Xiao, Geel Van E., K. J. William, L. L. Mills та ін.

Результати проведених експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкцій були покладені в основу таких нормативних документів як, наприклад, ДБН В.2.6-160:2010, Eurocode 4 [6, 8]. В європейських країнах поряд із загальноєвропейськими нормами при проектуванні і розрахунку сталезалізобетонних конструкцій застосовують власні національні норми, що містять розрахунок і проектування сталевих профільованих покриттів у складі сталезалізобетонних перекриттів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є розгляд, аналіз та порівняння існуючих перерізів сталезалізобетонних балок та методів їх розрахунку, а також визначення їх недоліків та переваг; визначення основних підходів до раціоналізації поперечних перерізів балок; розгляд можливих способів раціонального проектування.

Основна частина дослідження. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій можна виконувати, спираючись на гіпотезу плоских перерізів і пропорційності деформаціям [9–13].

За запропонованою М. С. Стрелецьким і проф. О. О. Гвоздевим методикою, розрахунок будівельних конструкцій виконують методом розрахункових граничних станів. Метод полягає в особливому підході до визначення розрахункових навантажень і розрахункових опорів елементів конструкцій, у той час як зусилля, що виникають у конструкції, та її переміщення визначаються звичайними способами за пружною стадією, тобто у допущенні, що

напруження в конструкції не перевищують межі пропорційності [14].

Оцінка напружено-деформованого стану сталобетонної балки у загальному випадку [15] виконується кількома способами:

- розрахунок балки як елемента різномірної пружності [14];
- розрахунок сталобетонної балки відповідно до норм [6, 7];
- розрахунок балки, що складається з двох стрижнів, об'єднаних жорсткими вставками;
- програмний розрахунок об'ємно-просторової моделі за допомогою програмних комплексів, що базуються на методі скінченних елементів (ЛІРА САПР, SCAD, ANSYS і т. д.).

Оцінка роботи конструкції на всіх етапах навантаження і до моменту руйнування можлива лише на базі нелінійних моделей. Розробці нелінійної теорії залізобетону присвячено праці таких вчених, як А. Я. Барашиков, В. М. Бондаренко,

П. Ф. Вахненко, О. Л. Шагін, О. О. Гвоздєв, М. І. Карпенко, В. С. Шмуклер та ін. [16–20]. Основні підходи до вирішення нелінійних задач будуються на методах послідовних наближень. Головною їх перевагою є можливість шляхом побудови ітераційних процедур спеціального виду використовувати лінійні рішення, отримуючи за допомогою, наприклад, методу скінченних елементів (МСЕ) [21].

Дослідженням сталезалізобетонних конструкцій займалися такі вчені, як Л. І. Стороженко, Е. Д. Чихладзе, О. В. Семко та ін. У роботах [1–4, 22] розглядаються комбіновані перерізи (рис. 1) у вигляді сталевих тавра або двотавра, верхній пояс якого виконано у вигляді бетонної плити з металевою незнімною опалубкою.

На рис. 2 наведено основні типи поперечних перерізів сталезалізобетонних балок із суцільними залізобетонними плитами, що розглядаються в Eurocode 4.

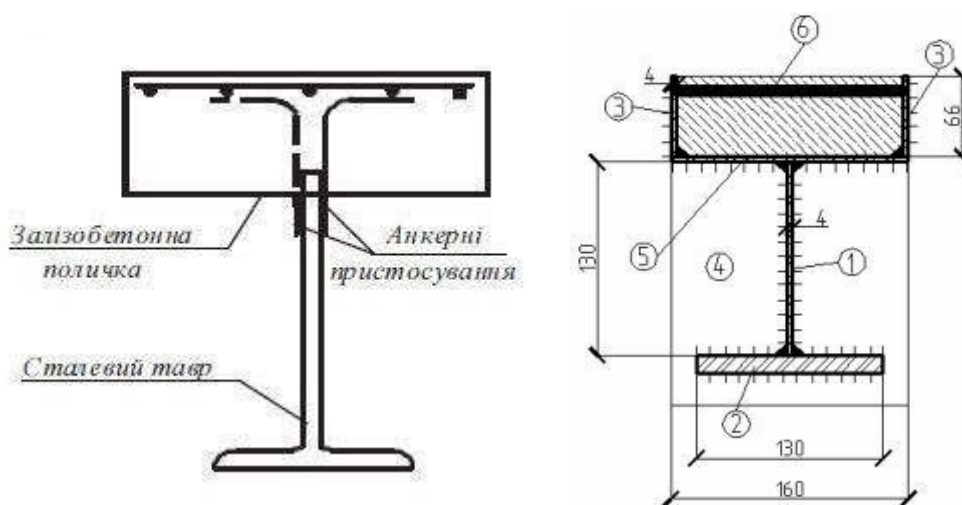


Рис. 1. Комбіновані перерізи у вигляді сталевих тавра або двотавра:
1 – стінка; 2 – нижній пояс; 3 – вертикальні опалубні листи; 4 – опорне ребро;
5 – горизонтальний опалубний лист; 6 – арматура

За методикою, наведеною у Eurocode 4, для визначення внутрішніх зусиль допускається статичний розрахунок у пружній стадії, навіть якщо несуча здатність поперечних перерізів визначена з

урахуванням пластичних або нелінійних властивостей. Пружний розрахунок застосовується і при розрахунках витривалості і при розрахунках за експлуатаційною природністю. За потреби

рекомендується враховувати зсувну податливість у болтових з'єднаннях. Як і в залізобетонних конструкціях, розрахункову ширину полиць таврових і подібних до них

перерізів обмежують «ефективним» розміром, що враховує можливість втрати місцевої стійкості та зсувної податливості.

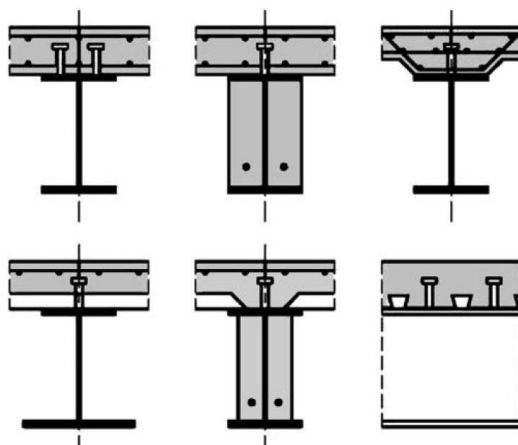


Рис. 2. Основні типи поперечного перерізу сталезалізобетонних балок із залізобетонними плитами, що наведені в Eurocode 4

Недоліками таких перерізів є те, що міцність їх нижча за міцність сталевих профілів [23]. Також недостатньо обґрунтовується вибір геометричних параметрів цих перерізів та їх переваги над іншими. Тому залишається актуальним завдання вибору форми та геометричних розмірів комбінованого перерізу з урахуванням фізико-механічних характеристик їх матеріалів.

Матеріали сталобетонних конструкцій мають, з одного боку, різні фізико-механічні характеристики, з іншого – різні вартості. Наприклад, бетон працює переважно на стиск, тому його слід розташовувати у стиснутій зоні перерізу; сталь однаково сприймає і розтяг, і стиск, тому основну її масу доцільно концентрувати у розтягнутій зоні; механічні характеристики опору деформації і руйнування у сталі значно вищі, ніж у бетону, а це означає, що бетону у складі конструкції має бути більше, ніж сталі. Вага бетонної конструкції більша за сталеву, вартість бетону менша, ніж сталі і т. д.

На підставі аналізу робіт [1–4] з пропозиціями підсилення сталевих стрижнів бетоном у статті [23]

обґрунтовано, що ефективним підсиленням для сприйняття деформації при згині є розташування плити у стиснутій зоні двотаврового перерізу. Така форма перерізу прийнятна під час реконструкції споруди для її підсилення. У сталезалізобетонних конструкціях, що знов проектуються, форма та розміри елементів перерізу мають бути обрані відповідно до деяких особливостей напружено-деформованого стану зведеного перерізу. З точки зору економії матеріалу доцільно врахувати одну з вимог оптимальності конструкції – рівномірність. У рівномірному перерізі напруження у найбільш віддалених від нейтральної осі волокнах одночасно досягають граничних станів: $\sigma_c = f_{cd}$, $\sigma_a = f_{yd}$. Рациональність конструктивної форми, її якість визначається відповідністю конструкції її експлуатаційному призначенню, надійністю і економічністю, що значною мірою залежить від того, наскільки конструктивна форма відповідає вимогам виробництва. Залишається актуальним пошук раціональної конструктивної форми з урахуванням рівномірності перерізу.

Висновки. У статті розглянуто і проведено аналіз існуючих перерізів сталобетонних балок та методи їх розрахунку. Наведено обґрунтування ефективності розташування бетонної плити у стиснутій зоні двотаврового перерізу. Зроблено висновки про основні критерії вибору оптимального перерізу балки. Раціональним з точки зору економії

матеріалу доцільно вважати комбінований переріз з властивостями рівномірності. Тому для подальшого дослідження є актуальним пошук рівномірного комбінованого перерізу, який буде забезпечувати ту ж саму несучу здатність, при цьому буде зменшено об'єм сталі, що вплине на формування вартості використаних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Стороженко Л. І., Семко О. В., Пенц В. Ф. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посіб. Полтава, 2005. 181 с.
2. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. Київ: Будівельник, 1984. 88 с.
3. Ватуля Г. Л. Расчет и проектирование комбинированных и сталобетонных конструкций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. Харків, 2015. 430 с.
4. Павліков А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія. Полтава: ПолтНТУ, 2007. 259 с.
5. Роговой С. И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений. Полтава, 2002. 183 с.
6. ДСТУ-Н Б ЕМ 1994-1-1:2010. Єврокод 4 Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Загальні правила і правила для споруд. Київ, 2011. 55 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63014
7. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-160:2010: затв. Мінрегіонбудом України 30.12.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 93 с. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=26933.
8. Виноградов А. И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике. Харків: Вища школа, 1973. 168 с.
9. Kitov Yu., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Ye, Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. MATEC Web of Conferences, 2017. Vol. No. 133. P. 03001. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/47/mateconf_bultrans2017_03001/mateconf_bultrans2017_03001.html.
10. Китов Ю. П., Ватуля Г. Л. Влияние параметров проектирования на оптимальность конструкции стальных балок. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 125. С. 24–33.
11. Тимошенко С. П., Гере Дж. Механика материалов. Изд. 2-е. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2002. 672 с.
12. Гибшман Е. Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автодорожных мостах. Москва: Автотрансиздат, 1956. 231 с.
13. Тимошенко С. П., Гере Дж. Механика материалов. Москва: Мир, 1976. 564 с.
14. Дарков А. В., Шапиро Г. С. Сопротивление материалов. Москва: Высшая школа, 1975. 654 с.
15. Веселов В. В., Фёдоров А. М. Методы расчета сталобетонных балок. *Современное промышленное и гражданское строительство*, 2018. Т. 14, № 2. С. 97–107.
16. Барашиков А. Л., Подольский Д. М., Сирота М. Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. Черкаси: НПК «Фотоприбор», 1993. 44 с.

17. Бондаренко В. М., Шмуклер В. С. Оптимальное проектирование железобетонных оболочек. *Повышение качества и снижение материалоемкости конструкций и изделий*: тез. докл. респ. межотр. науч.-техн. конф. Киев, 1974. С. 10–12.

18. Бондаренко В. М., Шагин А. Л. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций. Москва: Стройиздат, 1987. 175 с.

19. Shmukler V. S. About one possibility of Compromise-Criterion Construction in Structure Parameter Rationalization. *Concrete durability: achievement and enhancement: proceedings of the int. conf. Dundee (Scotland)*, 2008.

20. Гвоздев А. А., Карпенко Н. И., Крылов С. М. Теоретическое и экспериментальное исследование работы железобетона с трещинами при плоском однородном и неоднородном напряженном состоянии. *Сборник научных трудов НИИЖБ*. Москва: Стройиздат, 1968. С. 5–43.

21. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Київ: Факт, 2005. 344 с.

22. Кириченко В. А., Крупченко О. А., Третьяк Я. В. Розрахунок сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням з використанням повної діаграми деформування бетону. *Зб. наук. праць*. Рівне: НУВГ та П, 2016. Вип. 32. С. 169–175.

23. Китов Ю. П., Веревичева М. А., Кравцов Л. Б. О целесообразности усиления двутавровых балок путем заполнения межполочных пустот бетоном. *Зб. наук. праць*. Київ: ДП НДІБК, 2011. Вип. 74. С. 318–325.

Дериземля Світлана Володимирівна, завідувач навчальної лабораторії кафедри будівельної механіки і гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6556-4454. Тел.: (057) 730-10-71. E-mail: s.deryzemlia@kart.edu.ua.

Deryzemlia Svitlana, head of the teaching laboratory, department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6556-4454. Tel. (057) 730-10-71. E-mail: s.deryzemlia@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 08.01.2021 р.