

УДК 624.046:624.016

**МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ  
СКЛАДЕНОГО ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ НА ЛЕГКИХ БЕТОНАХ**

Д-р техн. наук О. В. Семко, канд. техн. наук Н. М. Магас, асп. В. О. Сіробаба (ПолтНТУ)

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СОСТАВНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ЛЕГКИХ БЕТОНАХ**

Д-р техн. наук А. В. Семко, канд. техн. наук Н. Н. Магас, асп. В. А. Сиробаба (ПолтНТУ)

**DENSITY AND DEFORMATIVITY OF STEEL CONCRETE STRUCTURES OF A  
DIRECT CIRCULATION PERIOD ON LIGHT CONCRETES**

Dr. sc. sciences O. V. Semco, phd. tehn. N. M. Magas, pg. V. O. Sirobaba

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.178.2018.139460>

*Проведено аналіз та експериментальне обґрунтування створення коректної геометричної моделі сталобетонної конструкції. Проаналізовано та виконано підбір ефективних матеріалів для утворення ефективного перерізу легкої сталобетонної конструкції. Визначено фізико-механічні характеристики використаних матеріалів. Наведено результати експериментальних досліджень міцності та деформативності сталобетонних конструкцій складеного прямокутного перерізу на легкому полістиролбетоні. Проведено аналіз ефективності застосування даного типу конструкцій з подальшими рекомендаціями щодо використання у будівництві.*

**Ключові слова:** сталобетон, експериментальні дослідження, полістиролбетон, міцність, деформативність.

*Проведен анализ и экспериментальное обоснование создания корректной геометрической модели сталобетонной конструкции. Проанализирован и выполнен подбор эффективных материалов для образования эффективного сечения легкой сталобетонной конструкции. Определены физико-механические характеристики использованных материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности сталобетонных конструкций составного прямоугольного сечения на легком полистиролбетоне. Проведен анализ эффективности использования данного типа конструкций с последующими рекомендациями по использованию в строительстве.*

**Ключевые слова:** сталобетон, экспериментальные исследования, полистиролбетон, прочность, деформативность.

*A critical analysis of recent studies on the usage and design of lightweight steel structures has been carried out. The unresolved issue remains the definition of compatible work of light concrete and the profiles in composite closed structures working on compression. The corresponding data is not enough to provide clear recommendations for the design, modeling and actual operation of such structures. Therefore, the obtaining of new data, which allow to describe and correct as much as possible precisely the well-known mathematical models of the work of structures, to specify more accurate the boundary conditions is a current issue nowadays.*

*The data presented in this article have an experimental substantiation, which will further influence the creation of the correct geometric model of steel structure on light concrete. The selection of effective materials for the construction of a lightweight steel structure has been analyzed and performed. The physical and mechanical characteristics of the used materials are determined. The results of the experimental studies of strength and deformability of steel concrete structures of composite rectangular cross section on light polystyrene concrete are given. The experimental researches were carried out in three stages: the consideration of constructions of open section profiles, closed composite section and the formation of spatial steel structure - pylon. The efficiency of gradual reinforcement of composite profiles by polystyrene concrete has been determined. Characteristics of the destruction of each of the above listed composite steel and steel concrete structures are described. Photofixation of the destruction of steel concrete structures was carried out.*

*The effectiveness of using this type of structures is confirmed by the results of the experimental studies. Taking into account the absence of domestic and foreign normative base as for the design of lightweight steel structures, the collection of information, the conduct of field experiments, the standardization and synthesis of already existing works are the perspectives for the development and improvement of this type structures.*

**Key words:** steel concrete, experimental research, polystyrene concrete, strength, deformability.

**Вступ.** Зведення каркасних будівель із застосуванням систем легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК) є досить перспективним напрямком сьогодення. Але такі конструкції мають низку суттєвих недоліків та переваг. Серед недоліків слід зазначити теплопровідність легких

сталевих тонкостінних профілів, міцність, стійкість та ін. Одним із методів мінімізації цих недоліків є застосування комбінованих конструкцій, а саме утворення сталобетонних конструкцій із легких сталевих тонкостінних профілів та легкого бетону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У практиці конструкції даного виду застосовуються досить часто (утеплення легкими бетонами каркасних будівель із легких сталевих тонкостінних профілів). Даній тематиці присвячено наукові роботи таких вчених, як М. В. Савицький, В. І. Большаков, А. М. Сопільняк [1, с. 50; 2, с. 363] та ін. Проте в цих роботах розглядалися лише теплотехнічні властивості конструкцій з легких сталевих тонкостінних профілів.

Невирішені питання міцності, стійкості, деформативності, несучої здатності та конструктивних особливостей несучих легких сталевих тонкостінних профілів досліджували вчені І. В. Астахов, А. С. Білик, С. І. Білик, В. В. Зверев, Л. В. Енджиевський, А. І. Оглобля, С. Ф. Пічугін, О. В. Семко, В. О. Семко, Ю. О. Авраменко, Д. А. Прохоренко, В. В. Юрченко М. В. Лещенко [3-7] та ін.

Усі ці дослідження проводилися як для окремих елементів з легких сталевих тонкостінних профілів, так і з підсиленням легким бетоном. Але вирішення питання сумісної роботи легкого бетону і профілів у цілісних конструкціях, що працюють на стиск, є недостатнім для надання чітких рекомендацій щодо проектування таких конструкцій та врахування сумісної роботи матеріалів сталобетонної конструкції. Тому отримання реальних даних, які дають можливість якомога точніше описати та скоригувати загальновідомі математичні моделі роботи конструкцій, коректніше задавати граничні умови при моделюванні у програмних комплексах, є актуальною задачею.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження сталобетонних конструкцій із складеного прямокутного профілю, підсиленого полістиролбетоном, визначення граничної міцності, схеми деформування та граничних умов роботи новоутвореної конструкції експериментальним методом.

### **Основна частина дослідження.**

Питання забезпечення просторової жорсткості при проектуванні малоповерхових будівель каркасного типу із легких сталевих тонкостінних конструкцій, полегшених надбудов, підсилення існуючих каркасних будівель проектувальники вирішують різними способами. Одним із варіантів вирішення цього питання є створення підсилених конструкцій, які б надавали більшої жорсткості та міцності несучим елементам будівлі. Базуючись на загальних принципах роботи сталобетонних конструкцій, запропоновано підсилити конструкції з легких сталевих тонкостінних профілів легким полістиролбетоном. Саме створення економічно обґрунтованих надлегких сталезалізобетонних конструкцій з урахуванням усіх позитивних і негативних особливостей кожного з використаних матеріалів на основі тонкостінної листової оцинкованої сталі та легкого полістиролбетону є актуальним питанням сьогодення.

Створення серії зразків було обумовлено висновками дослідження підсилення ЛСТК відкритого профілю легким полістиролбетоном. Переріз зразків з пустих та заповнених полістиролбетоном профілів «С-подібної» форми розмірами 70x40 мм та «U-подібної» форми (профіль розмірами 70x50 мм товщиною 0.42 мм та довжиною по 400 мм і 1500 мм).

При цьому були виявлено такі закономірності:

- при надлегкому бетоні від 100 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> суттєвого підсилення металевого профілю не відбувалося, на що вказує характер руйнування (рис. 1, б) – втрата місцевої стійкості та показники руйнівних зусиль, які відрізняються від непідсиленого профілю на 3-5 %, що не є досить значним показником;

- при легкому бетоні від 500-900 кг/м<sup>3</sup> відбувався перехід від місцевої втрати стійкості до загальної (рис. 1, в), показники руйнівних зусиль у межах 10-20 %, що є кращим, ніж попередній, але

водночас не є економічно вигідним підсиленням;

- при використанні бетонів вагою понад  $900 \text{ кг/м}^3$  застосування полістирол-

бетону як конструкційного легкого бетону не є доцільним.

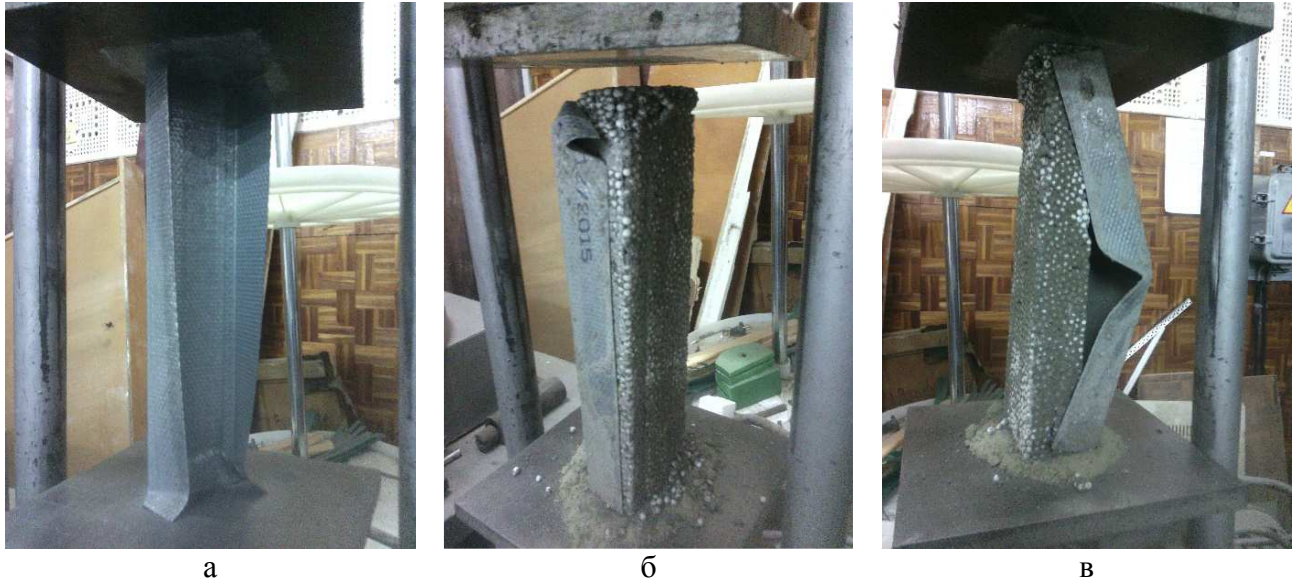


Рис. 1. Результати випробувань елементів з легких сталевих тонкостінних профілів, підсилених полістиролбетоном:

а – руйнування непідсиленого профілю; б – руйнування профілю, підсиленого полістиролбетоном,  $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ ; в – руйнування профілю, підсиленого полістиролбетоном,  $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$

У результаті випробувань виявлено, що сумісна робота двох матеріалів (сталевий профіль відкритого типу і легкого полістиролбетону) дає незначний відсоток збільшення несучої здатності непідсиленого відкритого профілю.

З урахуванням отриманих результатів розроблено експериментальні зразки у вигляді замкнутих складених профілів, заповнених полістиролбетоном. Загальний вигляд досліджуваних зразків зображено на рис. 2.

Для підсилення складеного профілю застосовано легкий полістиролбетон класу середньої густини D800. Міцність бетону підібрано з урахуванням міцності заклепкових з'єднань профілів. Міцність бетону на стиск становила  $0,12 \text{ кН/см}^2$ .

Експериментально досліджувалися чотири типи елементів (рис. 2):

1-й тип – складений пустий профіль,  $l = 400 \text{ мм}$ ;

2-й тип – складений профіль, заповнений легким бетоном,  $l = 400 \text{ мм}$ ;

3-й тип – складений пустий профіль,  $l = 1500 \text{ мм}$ ;

4-й тип – складений профіль, заповнений легким бетоном,  $l = 1500 \text{ мм}$ .

Експериментально було визначено характер руйнування сталобетонних зразків (рис. 3) та ефективність підсилення легким бетоном. При центральному стиску навантаження прикладалося на весь переріз зразків. Показники міцності зразків подано у табл. 1.



$L=400$  мм

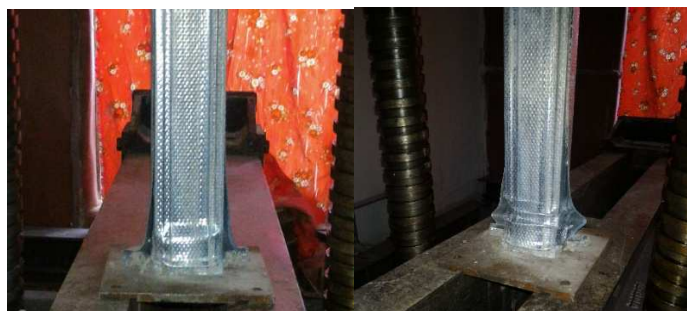


$L=1500$  мм

Рис. 2. Сталобетонні зразки складеного прямокутного перерізу, заповнені полістиролбетоном



а



б

Рис. 3. Характер руйнування сталобетонних зразків:  
а – оголовок стійок; б – база стійок

Таблиця 1

Порівняння результатів експериментальних досліджень сталобетонних стійок

Найменування характеристик	Поздовжнє зусилля стиску $N$ , кН			
	1-й тип	2-й тип	3-й тип	4-й тип
Початок втрати стійкості конструкції	12,5	30,1	10,7	20,1
Максимальні значення несучої здатності конструкції	18,1	34,20	14,3	23,5

Після підсилення полістиролбетоном показники міцності зростали. Спостерігалася втрата місцевої стійкості зовнішнього профілю з подальшим розкриттям з'єднання складеного перерізу. Руйнування відбувалося на припорних ділянках бази та оголовка зразка. Міцність бетону на центральний стиск була досить малою, але з урахуванням характеру

руйнування, міцності бетону вистачає для підсилення металевих профілю, стінки і полочки профілю втрачають стійкість при значно більших навантаженнях.

Наступним етапом досліджень було виготовлення та експериментальне дослідження просторової конструкції, загальний вигляд досліджуваних зразків зображено на рис. 4.

### Просторові колони

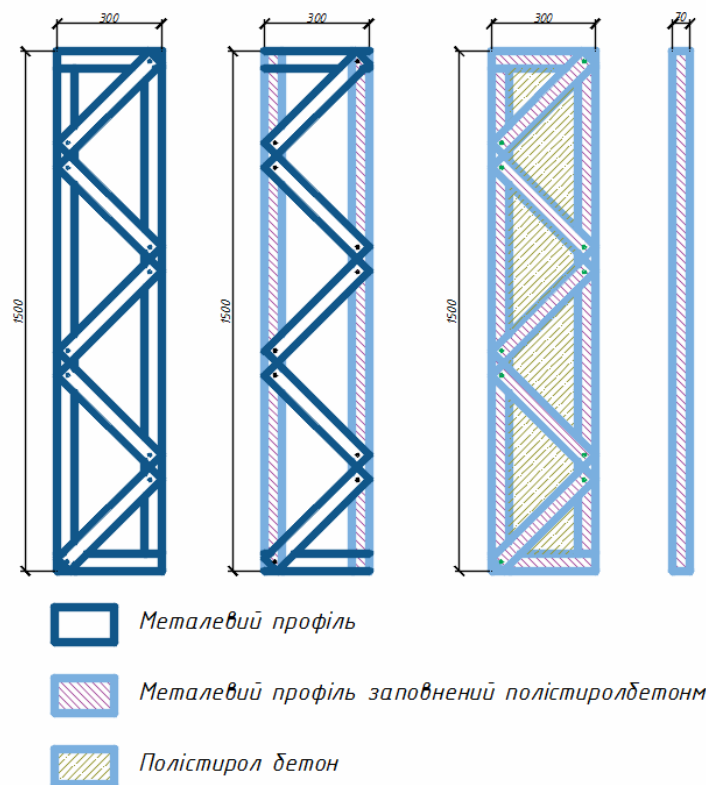


Рис 4. Схема просторової конструкції

Експериментально досліджувалися три типи елементів:

1-й тип – пустий оцинкований профіль просторової конструкції;

2-й тип – стійки просторової конструкції замкнутого профілю, заповнені легким бетоном;

3-й тип – просторова конструкція із оцинкованого профілю, заповнена легким бетоном.

Просторові конструкції випробовувалися на центральний стиск. Форму

руйнування зразків подано на рис. 5. Показники міцності зразків наведені у табл. 2.

Зразки просторової конструкції із підсиленнями легким бетоном стійками (тип 2) у порівнянні з металевією просторовією конструкцією (тип 1) мають на 37 % вищі показники міцності на стадії початкової втрати стійкості і на 39 % на стадії максимальних руйнівних зусиль.

Таблиця 2

Порівняння результатів експериментальних досліджень просторових конструкцій

Найменування характеристик	Поздовжнє зусилля стиску $N$ , кН		
	1-й тип	2-й тип	3-й тип
Початок втрати стійкості конструкції	16,5	26,2	34,8
Максимальні значення несучої здатності конструкції	25,3	41,5	52,1



а



б



в

Рис. 5. Характер руйнування зразків просторових конструкцій:  
а – 1-й тип; б – 2-й тип; в – 3-й тип

Характеристики міцності зразків просторової конструкції із повним обетонуванням (тип 3) у порівнянні із металевою просторовою конструкцією (тип 1) на 52,6 % вищі на стадії початкової втрати стійкості і на 51,44 % на стадії максимальних руйнівних зусиль.

Міцність зразків просторової конструкції із повним обетонуванням (тип 3) у порівнянні із зразками просторової конструкції із підсиленими легким бетоном стійками (тип 2) на 24,7 % вищі на стадії початкової втрати стійкості і на 20,3 % на стадії максимальних руйнівних зусиль.

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження тонкостінних профілів відкритого типу, підсилених полістирол-

бетоном, дали змогу зробити висновок про недостатню сумісну роботу відкритого профілю та полістиролбетону і вказали на доцільність використання легких тонкостінних профілів закритого контуру із двох або більше металевих профілів, підсилених полістиролбетоном.

Результати експериментальних досліджень відображають реальну роботу сталобетонних конструкцій з урахуванням підсилення як окремих елементів, так і усєї конструкції. Характер руйнування обумовлює розрахунок даних конструкцій з урахуванням сумісної роботи кожного з матеріалів. Наведені результати дослідження характеризують високу ефективність даного виду підсилення.

*Список використаних джерел*

1. Сопротивление теплопередаче трехслойных железобетонных панелей [Текст] / В. И. Большаков, А. М. Сопильняк, Е. Л. Юрченко, Н. В. Панченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск : ПГАСА, 2015. – Вып. 82. – С. 50–54.
2. Savitskiy, N. V. Strength and Crack Resistance of Three-Layer Concrete Beams [Text] / N. V. Savitskiy, A. M. Sopilnyak // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – Вып. 68. – С. 363–367.
3. Горшков, А. С. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков [Текст] / А. С. Горшков, П. П. Рымкевич, Н. И. Ватин // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 8 (52). – С. 38–48.
4. Computational assessment of thermal performance of contemporary ceramic blocks with complex internal geometry in building envelopes [Text] / J. Kočí, J. Maděra, M. Jerman, R. Černý // Energy and buildings. – 2015. – №99. – P. 61–66.
5. Cui H. Development, mechanical properties and numerical simulation of macro encapsulated thermal energy storage concrete [Text] / H. Cui, S.A. Memon, R. Liu // Energy and buildings. – 2015. – № 96. – P. 162–174.
6. Семко, А. В. Легкие сталежелезобетонные конструкции [Электронный ресурс] / А. В. Семко, Ю. А. Авраменко // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2011. – Режим доступа : <http://ramag.ru/prensa/light-sjb-constr>.
7. Лещенко, М. В. Теплотехнические свойства стеновых ограждающих конструкций из стальных тонкостенных профилей и полистиролбетона / М. В. Лещенко, В. О. Семко // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 8. – С. 44–55. – DOI: 10.5862/МСЕ.60.6.

---

Семко Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Тел. (050) 30-50-970. E-mail: [al.vl.semko@gmail.com](mailto:al.vl.semko@gmail.com).

Магас Наталія Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. (050) 02-41-531.

E-mail: [mahasnataliia@gmail.com](mailto:mahasnataliia@gmail.com).

Сіробаба Віталій Олексійович, аспірант кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. (066) 84-65-983. E-mail: [vitalij.sirobaba@gmail.com](mailto:vitalij.sirobaba@gmail.com).

Семко Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры и городского строительства Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка.

Тел. (050) 30-50-970. E-mail: [al.vl.semko@gmail.com](mailto:al.vl.semko@gmail.com).

Магас Наталья Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры и городского строительства Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел. (050) 02-41-531.

E-mail: [mahasnataliia@gmail.com](mailto:mahasnataliia@gmail.com).

Сиробаба Виталий Алексеевич, аспирант, кафедра архитектуры и городского строительства Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел. (066) 84-65-983.

E-mail: [vitalij.sirobaba@gmail.com](mailto:vitalij.sirobaba@gmail.com).

Semko Oleksandr Volodymyrovych, Doctor of Science, Professor, Head of Architecture and Urban Construction

Department, Poltava National Technical Kondratuk University. Tel. (050) 30-50-970. E-mail: [al.vl.semko@gmail.com](mailto:al.vl.semko@gmail.com).

Mahas Nataliia Nikolayevna, candidate of technical sciences, associate professor, Architecture and Urban Construction

Department, Poltava National Technical Kondratuk University. Tel. (050) 02-41-531. E-mail: [mahasnataliia@gmail.com](mailto:mahasnataliia@gmail.com).

Sirobaba Vitaliy Alekseevich, postgraduate, Architecture and Urban Construction Department, Poltava National

Technical Kondratuk University. Tel. (066) 84-65-983. E-mail: [vitalij.sirobaba@gmail.com](mailto:vitalij.sirobaba@gmail.com).

Статтю прийнято 25.05.2018 р.