

УДК 624.012.45:693.554

*Д.В. Бібік, к.т.н., доцент
Т.М. Нестеренко, к.т.н., асистент
Н.М. Магас, к.т.н., ст. викладач
В.В. Леценко, студент*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗОВНІШНІМ СТРІЧКОВИМ АРМУВАННЯМ

Виконано оцінювання напружено-деформованого стану перерізу елементів залізобетонних наскрізних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням за деформаційним методом.

Ключові слова: *напружено-деформований стан, сталезалізобетонні конструкції, зовнішнє армування.*

УДК 624.012.45:693.554

*Д.В. Биби́к, к.т.н., доцент
Т.Н. Нестеренко, к.т.н., ассистент
Н.Н. Магас, к.т.н., ст. преподаватель
В.В. Леценко, студент*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ВНЕШНИМ ЛЕНТОЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния сечения элементов железобетонных сквозных конструкций с внешним листовым армированием по деформационному методу.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, сталежелезобетонные конструкции, внешнее армирование.*

UDC 624.012.45:693.554

*D.V. Bibik, PhD, Associate Professor
T.N. Nesterenko, PhD, assistant
N.N. Magas, PhD, senior lecturer
V.V. Leshchenko, student*

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE STRUCTURES WITH EXTERNAL SHEET REINFORCEMENT

The estimation of the stress-strain state of the cross section elements of reinforced concrete structures with external reinforcement sheet for deformation method.

Keywords: *the stress-strain state, reinforced concrete structures, external reinforcement.*

Вступ. До появи нових нормативних документів [3, 4] розрахунки і проектування сталезалізобетону виконували в основному згідно з нормами [8, 9] та посібниками до них [3, 4]. Ці нормативні документи не перекривають усе широке поле нинішнього використання сталезалізобетону в будівництві. Дослідженню сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, присвячено роботи Л.І. Стороженка, О.І. Лапенка [10, 11], О.В. Семка, О.В. Сколибога [7, 12], В.В. Биби [1], В.Ф. Пенца, Л.М. Стівби [13] та інших дослідників.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. До цього часу не виконано оцінювання напружено-деформованого стану перерізу елементів залізобетонних наскрізних конструкцій із зовнішнім симетричним листовим армуванням за деформаційним методом.

Мета роботи – визначення впливу геометричних та міцнісних параметрів на напружено-деформований стан перерізу конструкції із зовнішнім листовим армуванням. У процесі дослідження використовувалися діаграми бетону, які були отримані за криволінійною діаграмою, Єврокод 2 [14] з максимумом на діаграмі R_b , прийнятим за нормами [9].

Основний матеріал і результати. Відповідно до вимог норм [4] за критерій вичерпання несучої здатності поперечного перерізу приймалися: втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (досягнення максимуму на діаграмі «момент – кривизна» або «момент – прогин»); руйнування стиснутого бетону при досягненні крайніми стиснутими деформаціями граничних значень ε_{cu1} , ε_{cu3} ; досягнення крайніми стиснутими/розтягнутими деформаціями сталеві частини поперечного перерізу граничних значень ε_{au} .

Для визначення напружено-деформованого стану перерізів були побудовані такі залежності: деформацій у крайніх фібрах перерізу від значення згинального моменту; висоти стиснутої зони від згинального моменту та деформацій; «кривизна – момент»; «деформації – кривизна» й ін.

Був розроблений алгоритм [7], за яким побудовано поверхні взаємодії $M(N, k)$. Як вихідні дані в алгоритмі задаються поздовжня сила N_{ext} , кривизна k , переріз (форма, розміри), матеріали (діаграми $\sigma - \varepsilon$ бетону, сталі, арматури). Розроблений алгоритм розрахунку дозволяє задавати діапазон зміни значень поздовжніх сил та кривизни до граничних величин (N_{lim} та k_{lim}). За описаною раніше методикою визначалися згинальний момент M та відносне подовження нейтрального волокна ε_N . Результати формувалися в масиви даних, які наводили у вигляді графіків та діаграм.

Для поперечного перерізу залізобетонних наскрізних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням зі зміною кривизни k та поздовжньої сили N була отримана поверхня взаємодії $M(N, k)$ [2]. Поздовжня сила змінювалася у рамках від -180 до 180 кН, кривизна – від 0 до $9 \cdot 10^{-5}$.

Поверхня має опуклий характер. При критичних значеннях N та k можна спостерігати різке зменшення згинального моменту, що характеризується перевищенням деформацій у бетоні граничних $\varepsilon_b > 0,0035$.

Розроблений алгоритм дозволяє визначати згинальний момент M і відносне подовження нейтрального волокна ε_N залежно від поздовжньої сили N та кривизни k . Маючи масив даних, можемо визначити залежність висоти стиснутої зони перерізу від відносного ексцентриситету графоаналітичним способом. Визначаємо висоту стиснутої зони перерізу

$$x = \frac{h \cdot \varepsilon^-}{|\varepsilon^-| + |\varepsilon^+|}.$$

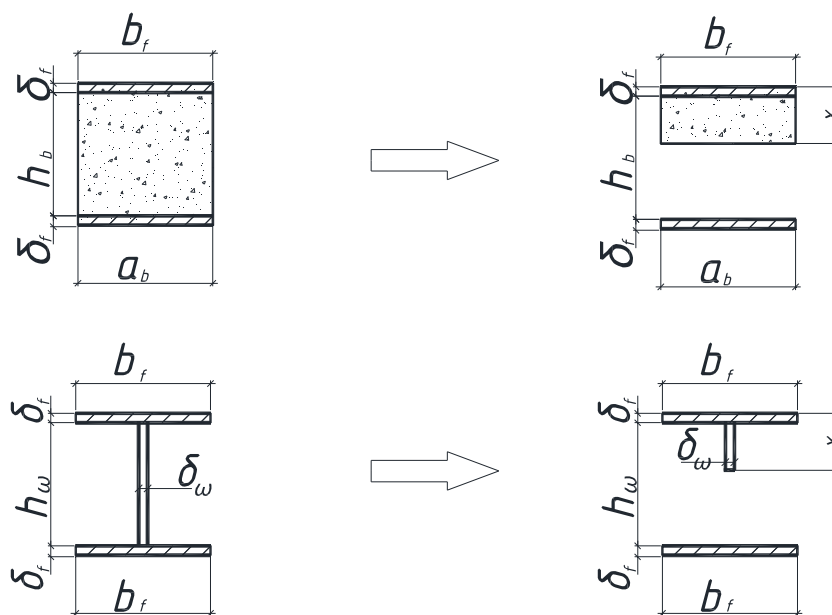


Рис. 1. Висота стиснутої зони перерізу наскрізної залізобетонної конструкції із зовнішнім листовим армуванням та приведеного до сталі перерізу

Відносний ексцентриситет приведенного до сталі перерізу залізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням обчислюємо як e/ρ , де $e = M/N$ – ексцентриситет поздовжньої сили N , ρ – ядро жорсткості перерізу.

Визначаємо геометричні характеристики приведенного перерізу A_{red} , $I_{x,red}$, $W_{x,red}$, ρ . Було побудовано залежності висоти стиснутої зони приведенного до сталі перерізу до відносного ексцентриситету для різних значень кривизни k . Графіки залежності побудовано окремо для стиснуто-згинаних та розтягнуто-згинаних елементів (рис. 2, 3).

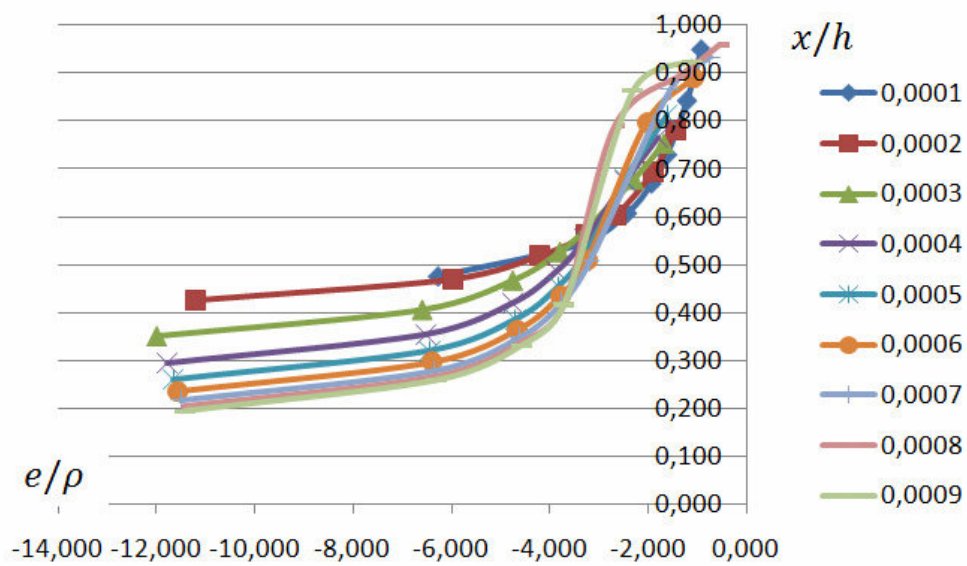


Рис. 2. Залежність відносної висоти стиснутої зони $\xi = x/h$ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для різних значень кривизни k (N) стиснуто-згинаного елемента

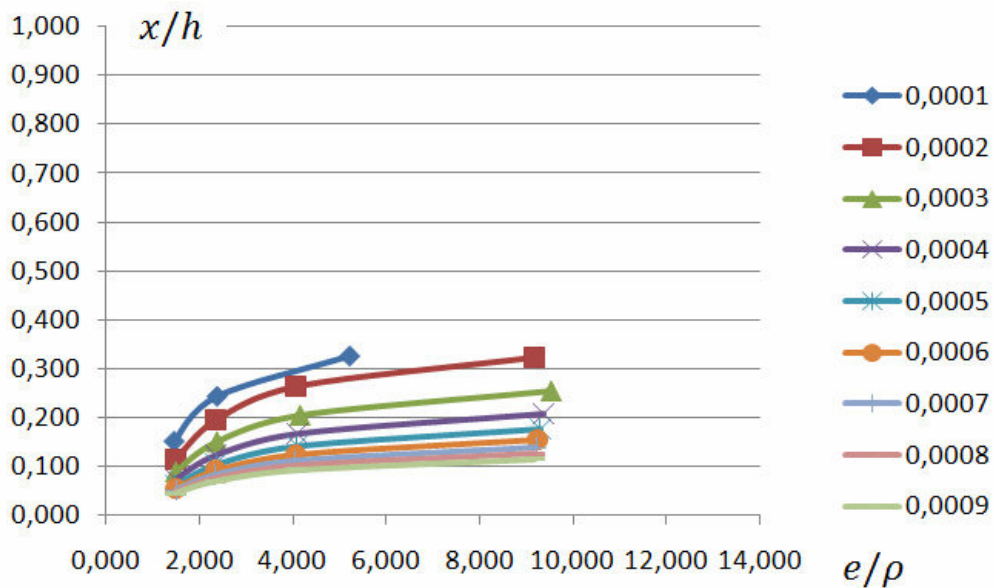


Рис. 3. Залежність відносної висоти стиснутої зони $\xi = x/h$ приведенного до сталі перерізу до відносного ексцентриситету e/ρ для різних значень кривизни k (N^+) розтягнуто-згинаного елемента

Отримані графіки апроксимуємо, використовуючи логарифмічну та степеневу функції. Усереднене значення апроксимуючих функцій для стиснуто-зігнутих та розтягнуто-зігнутих елементів приймаємо:

$\xi = -0,25 \ln(e/\rho) + 0,85$ – апроксимуюча логарифмічна функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для стиснуто-згинаного елемента;

$\xi = 0,06 \ln(e/\rho) + 0,045$ – апроксимуюча логарифмічна функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для розтягнуто-згинаного елемента;

$\xi = 1,1(e/\rho)^{-0,6}$ – апроксимуюча степенева функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для стиснуто-згинаного елемента;

$\xi = 0,06(e/\rho)^{0,54}$ – апроксимуюча степенева функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для розтягнуто-згинаного елемента.

Було визначено усереднюючі прості апроксимуючі функції та виконано перевірку збігу теоретичних і фактичних даних та визначений відсоток відхилення. Відсоток відхилення побудованих за апроксимованою функцією й отриманих за теоретичними розрахунками графіків залежності відносної висоти стиснутої зони перерізу від відносного ексцентриситету становить 7 – 12%.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень, маючи залежності висоти стиснутої зони елементів із симетричним зовнішнім листовим армуванням, розроблено практичну методику визначення несучої здатності за допомогою коефіцієнтів приведення до сталі сталезалізобетонного перерізу, в якій стиснутий бетон замінюється відповідно зменшеною в $\alpha_E = E_b / E_s$ разів сталеву частиною. Приведення сталезалізобетонного перерізу до сталі може виконуватися як за модулем пружності, так і за розрахунковим опором матеріалів $\alpha_R = R_b / R_s$ або за січним модулем деформацій для врахування пружно-пластичних властивостей бетону $\alpha_v = vE_b / E_s$. Коефіцієнти приведення геометричних характеристик перерізу визначаємо як

$$k_w = \frac{W_{x,red}}{W_0}; \quad k_A = \frac{A_{red}}{A_0}.$$

При проектуванні наскрізних залізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням можна використовувати різне армування перерізів, різні розміри перерізів конструкцій та варіювати використовуваний бетон за міцністю. Залежно від класу бетону та розмірів поперечного перерізу товщина стійки δ_w приведенного до сталі перерізу наведена на рисунку 4.

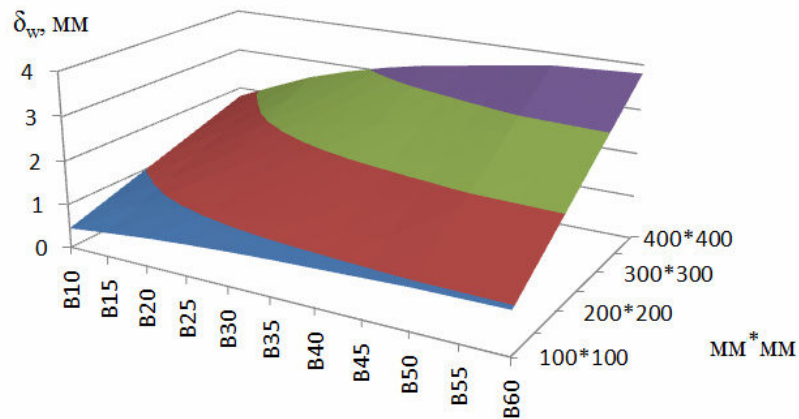


Рис. 4. Поверхня взаємодії, що показує залежність кривизни товщини стінки δ_w від класу бетону та розмірів поперечного перерізу конструкції

Визначаємо коефіцієнт армування поперечного перерізу конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, що залежить від розмірів поперечного перерізу та товщини δ_f зовнішнього листового армування (рис. 5).

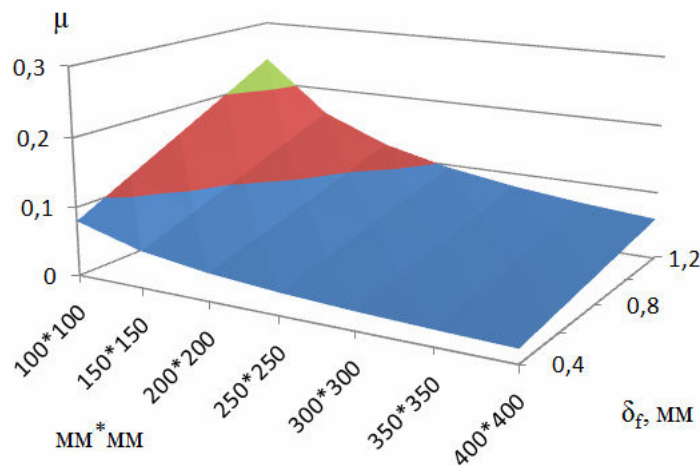


Рис. 5. Поверхня взаємодії, що показує залежність коефіцієнта армування поперечного перерізу від розмірів поперечного перерізу та товщини δ_f зовнішнього листового армування

Коефіцієнт приведення перерізу по площі можна записати як

$$k_A = \frac{A_{red}}{A_0} = \frac{2 \cdot \delta_f \cdot b_f + \delta_w \cdot (x - \delta_f)}{2 \cdot \delta_f \cdot b_f} = \frac{\mu + \xi \cdot \alpha}{\mu} = 1 + \frac{\xi \cdot \alpha}{\mu}$$

У результаті теоретичних розрахунків значень коефіцієнта приведення моменту опору сталезалізобетонного перерізу до сталевому побудовано загальну поверхню залежності коефіцієнта від відносної висоти стиснутої зони перерізу ξ та коефіцієнта армування перерізу μ в межах від 8 до 24% (рис. 6).

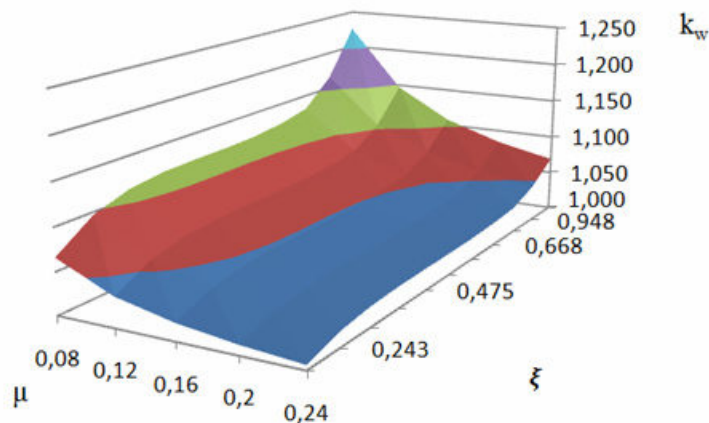


Рис. 6. Поверхня взаємодії, що показує залежність коефіцієнта приведення моменту опору перерізу від відносної висоти стиснутої зони перерізу ξ та коефіцієнта армування перерізу μ в межах від 8 до 24%

Для випадків, що реально зустрічаються на практиці, межі армування перерізу дещо вужчі – до 15 – 16%. Тому надалі приймемо коефіцієнт моменту опору приведення перерізу саме в цих межах (рис. 7) з урахуванням зміни відносної висоти стиснутого бетону в межах від 0,2 до 0,85.

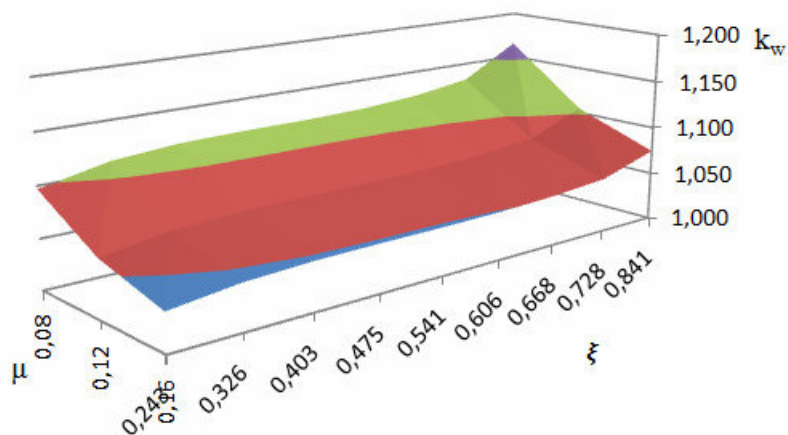


Рис. 7. Поверхня взаємодії, що показує залежність коефіцієнта приведення моменту опору перерізу від відносної висоти стиснутої зони перерізу ξ та коефіцієнта армування перерізу μ в межах від 8 до 16%

Отриману поверхню апроксимуємо, використовуючи рівняння площини, для залежності коефіцієнта приведення моменту опору перерізу від відносної висоти стиснутої зони перерізу ξ і коефіцієнта армування перерізу μ

$$k_w = 1,15 + 0,1\xi - 0,88\mu.$$

За одержаною залежністю побудовано поверхню взаємодії для перевірки збігу та визначення відсотка відхилення. Виконана перевірка показує, що відсоток відхилення побудованої за апроксимованою функцією поверхнею та отриманою за теоретичними розрахунками поверхнею залежності коефіцієнта приведення перерізу становить 3,3%.

Висновки. Відносну висоту стиснутої зони ξ сталезалізобетонного перерізу із симетричним листовим армуванням можна визначати за апроксимуючими рівняннями: апроксимуюча функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для стиснуто-згинаного елемента $\xi = 1,1(e/\rho)^{-0,6}$; апроксимуюча функція залежності відносної висоти стиснутої зони ξ приведенного до сталі перерізу від відносного ексцентриситету e/ρ для розтягнуто-згинаного елемента $\xi = 0,06 \ln(e/\rho) + 0,045$. Коефіцієнти приведення геометричних характеристик перерізу визначаємо як $k_A = \frac{\mu + \xi \cdot \alpha}{\mu} = 1 + \frac{\xi \cdot \alpha}{\mu}$; $k_w = 1,15 + 0,1\xi - 0,88\mu$.

Література

1. Биба, В.В. Аналіз напружено-деформованого стану сталезалізобетонних елементів із листовим армуванням / В.В. Биба // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – Вип. 17. – С. 96 – 101.
2. Бібік, Д.В. Про визначення параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних елементів з симетричним листовим армуванням за деформаційним методом / Бібік Д.В., Магас Н.М. / Матеріали Всеукраїнської Інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва». – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 105 – 107.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. – На заміну СНиП 2.03.01-84*. – К., 2011. – 71 с.
4. ДБН В.2.6.-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К., 2011. – 55 с.
5. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой / НИИЖБ, ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 54 с.
6. Рекомендации по проектированию железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом. – М., 1987. – 91с.
7. Семко, О. В. Чисельний метод розрахунку НДС сталезалізобетонного ригеля з урахуванням фізичної нелінійності / О. В. Семко, Д. В. Бібік // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2009. – Вип.33. – С. 392 – 400.
8. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
9. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции: нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: ЦИИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.

10. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження наскрізних конструкцій, виготовлених у незнімній опалубці. / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко, Н.М. Магас // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2009. – Вип. 86. – С. 44 – 49.
11. Стороженко, Л. І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: монографія / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
12. Стороженко, Л. І. Згинальні залізобетонні елементи, армовані сталевими листами / Л. І. Стороженко, О. В. Семко, О. В. Сколибод // Будівельні конструкції. – Вип. 59, кн. 2. – К: НДІБК, 2003. – С. 31 – 39.
13. Стороженко Л. І. Рекомендації щодо проектування згинальних елементів із тонкостінних труб квадратного перетину, заповнених бетоном / Л. І. Стороженко, В. Ф. Пенц, Л. М. Стовба // Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – № 664. – Львів, 2010. – С. 255 – 261.
14. EN 1992: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1–1: General rules and rules for buildings. – Brussels, 2002. – 230 p.

Надійшла до редакції 16.10.2013

© Д.В. Бібік, Т.М. Нестеренко, Н.М. Магас, В.В. Лещенко