

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕМИЧОК,
ЩО АРМОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ВІДХОДОМ КАНАТІВ К-7,
ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

В. О. Попов, В. А. Хупченко, М. В. Маєвська

У статті розроблено ефективний метод аналізу напружено-деформованого стану брусків перемичок, що армовані технологічним відходом канатів К-7 без попереднього напруження під дією нормованих навантажень. Виконано порівняння результатів аналітичного та чисельного моделювання на програмних комплексах “Lira 9.4” та “Мономах”. Подано рекомендації з раціонального проектування арматурних каркасів перемичок. Доведено, що дане конструктивне рішення може бути економічно доцільним виключно в умовах використання технологічного відходу, а у деяких випадках, не доцільне взагалі.

В статье разработан эффективный метод анализа напряженно-деформированного состояния брусьев перемычек, армированных технологическим отходом каната К-7 без предварительного напряжения под действием нормированных нагрузок. Выполнено сравнение результатов аналитического и численного моделирования на программных комплексах “Lira 9.4” и “Мономах”. Представлены рекомендации по рациональному проектированию армирующих каркасов перемычек. Доказано, что данная конструкция, может быть экономически целесообразной исключительно в условиях использования технологических отходов, а в отдельных случаях и вовсе не целесообразна.

In this article had been developed an effective method of structure analysis of bar dams reinforced by scraps of non-prestressing steel ropes K-7 under the proof-loads. Had been done the comparison of results of analytical and numerical modeling on PC-program Lira 9.4 and Monomah. Had been represented recommendations by rationality designing reinforcing cage frames of bar dams. Had been established that economic expediency is reached under field technological waste conditions and under sometimes absolutely inexpedient.

Вступ

На даний момент в усьому світі підвищуються вимоги до якості збірних залізобетонних виробів взагалі і залізобетонних плит перекриттів зокрема. Відомо також, що одним з основних шляхів здешевлення таких конструкцій є використання ефективного армування із застосуванням попереднього напруження. Вимогам якості та ефективному армуванню відповідає відома фінська технологія безопалубного формування пустотних плит, розроблена відомими фірмами «Elematic» та «Consolis Technology», що впроваджена на даний момент на декількох заводах збірних залізобетонних виробів України, наприклад на «Хмельницькзалізобетон». При цьому плити відповідають нормативним вимогам [11]. Дана технологія використовує як армуючий елемент попередньо напружені канати К-7 (рис. 1) діаметром 9 та 12 мм., що відповідають вимогам [8].

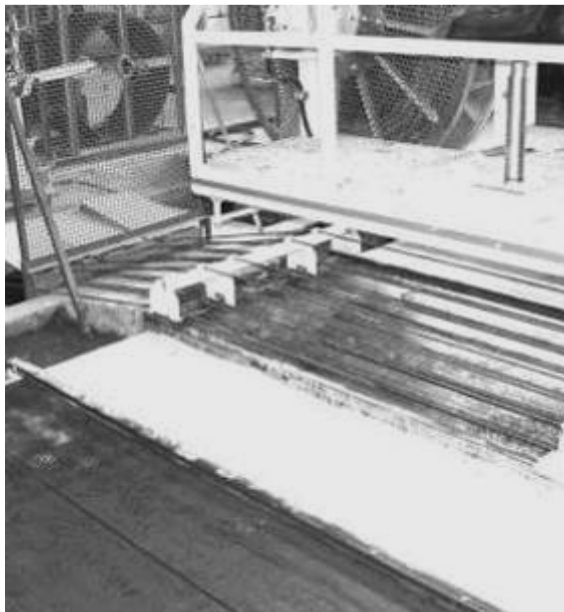
Внаслідок технологічних особливостей ділянки канатів біля затискачів (близько 2...4 м довжиною) є технологічним відходом та під час різання плит їх відокремлюють та, фактично, у зв'язку із неможливістю подальшого використання, утилізують.

Для уникнення додаткових витрат, пов'язаних із утилізацією, а також з метою економії дорогого металу, постала проблема пошуку ефективного використання обрізків канатів. Одним із можливих способів використання є армування даними обрізками перемичок, що є однією з номенклатурних одиниць виробів заводу. При цьому для уникнення витрат на додаткове оснащення канати використовують без попереднього напруження. Встановлення канатів здійснюється у звичайну опалубку, подібно до арматурних каркасів, виготовлених за [12].

Аналіз останніх досліджень

У праці [11] виконано ґрунтовний аналіз технології виготовлення залізобетонних виробів методом безопалубного формування із використанням канатів К-7 з попереднім напруженням,

описано їх переваги та недоліки у порівнянні із плитами, виготовленими за поширеною технологією опалубного формування. Оптимізацією сучасної фінської технології безопалубочного формування залізобетонних виробів до потреб вітчизняного виробництва, а також проблемами приведення конструкцій [11] до сучасних вітчизняних норм займається НДІБК (м. Київ) та його відомі вчені А. Н. Бамбура та О. Б. Гурковський. Сучасні вітчизняні залізобетонні елементи, в яких використовуються попередньо напружені канати К-7 отримані шляхом опалубного формування. При такій технології виготовлення технологічний залишок канатів не перевищує 1 м, а його подальше використання у зв'язку з малою довжиною – недоцільне. Таким чином на даний момент не достатньо дослідженими залишаються питання використання технологічних відходів канатів, окрім цього проаналізувавши літературні джерела [1 – 8, 11], можна зробити висновок, що на даний момент немає ефективної методики розрахунку зігнутих залізобетонних елементів, армованих канатами К-7 без попереднього напруження у зв'язку із відсутністю потреби до останнього часу у такому розрахунку.



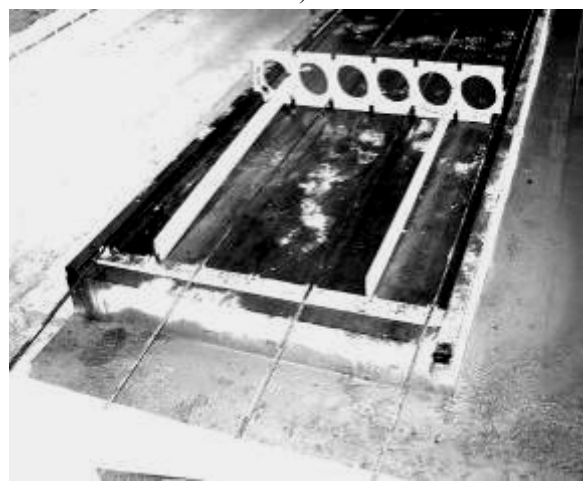
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Технологічний цикл безопалубного виготовлення збірних пустотних плит перекриттів на обладнанні фірми «Elematic»:

- а – натягування канатів, б – вібро-шнекове безопалубне формування та ущільнення плити, в – різання у проектний розмір, г – ділянка технологічного відходу

Постановка проблеми

З огляду на вищезгадане, виникає наукова задача, що полягає у розробленні ефективних

методів чисельного та аналітичного моделювання залізобетонних брускових перемичок, армованих канатами К-7 діаметром 9 та 12 мм без попереднього напруження, а також задача оцінки ефективності запропонованих конструктивних рішень з точки зору витрат матеріалу та собівартості в умовах безвідходного виробництва.

Основна частина

Для моделювання брускових перемичок згідно з чинними на даний момент нормами [2, 4] розглядають їх напружено-деформований стан під дією рівномірно розподіленого по довжині навантаження, яке складається з сукупності постійних та тимчасових впливів.

Для неагресивного навколишнього середовища та для армування канатами К-7 згідно з [2, табл. 2*] гранично допустима ширина розкриття тріщин, що забезпечує захист арматури $a_{crcl} = 0,2 \text{ мм}$, водночас для стрижневої арматури без попереднього напруження, що використовується для стандартних перемичок, ця величина суттєво вища – $a_{crcl} = 0,4 \text{ мм}$.

Опис напружено-деформованого стану залізобетонних брускових перемичок, армованих канатами К-7, в загальному вигляді є неможливим і потребує прийняття низки припущень. Ці припущення є достатньо загальними для будівельних залізобетонних конструкцій, що працюють на чистий згин:

- метал, з якого виготовлені арматурні елементи конструкцій перемичок, є неперервним, однорідним та лінійно пружним;
- бетон є лінійно деформівним тілом у межах стиску та не чинить опору навантаженням розтягу.

Основні фізико-механічні характеристики канатів К-7 наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові характеристики канатів К-7

Нормативний опір розтягу та розрахунковий опір розтягу для граничних станів 2 групи $R_{sn} = R_{s,ser}$, МПа	для Ø 9 мм	1 370
	для Ø 12 мм	1 335
Розрахунковий опір розтягу арматури для граничного стану першої групи R_s , МПа	для Ø 9 мм	1 145
	для Ø 12 мм	1 110
	стиску, R_{sc}	400
Коефіцієнт надійності по арматурі при розрахунку за граничними станами	1 групи	$\gamma_s^1 = 1,20$
	2 групи	$\gamma_s^2 = 1,00$
Модуль пружності арматурного канату E_s , МПа	–	18 000

Збір навантажень виконано із дотриманням вимог [4, 9]. Розрахунок виконуємо за двома групами граничних станів, а саме, перша група – на міцність нормальних і похилих перерізів, друга група – на жорсткість і тріщиностійкість.

Розрахунок міцності брускових перемичок, як зігнутих елементів прямокутного перерізу, виконуємо для нормальних перерізів за співвідношенням (1), для похилих – за співвідношеннями (3) і (3а):

$$M \leq (M_u = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a')), \tag{1}$$

де b – ширина перемички,

$h_0 = h - a$ – відстань від центру ваги її розтягнутої арматури площею A_s ,

a, a' – захисний шар відповідно розтягнутої і стиснутої арматури,

A_s' – площа стиснутої арматури;

висота стиснутої зони бетону x визначається зі співвідношення (2) за умови $x \leq \xi_R \cdot h_0$,

R_b – призмova міцність бетону;

$$R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s' = R_b \cdot b \cdot x. \quad (2)$$

Для забезпечення міцності по похилій лінії між похилими тріщинами:

$$Q \leq (Q_u = 0,3 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0), \quad (3)$$

Для забезпечення міцності по похилій тріщині, оскільки відгини відсутні:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (3a)$$

де φ_{w1} , φ_{b1} – коефіцієнти див. [2, п. 3.30], поперечна сила, що сприймається бетоном $Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot (1 + \varphi_f + \varphi_n) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c}$, але не менше $\varphi_{b3} \cdot (1 + \varphi_f + \varphi_n) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$, поперечна сила, що сприймається поперечним армуванням $Q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s} \cdot c_0$, інші позначення див. [2, п. 3.31*].

Розрахунок тріщиностійкості брусків виконано за формулою (4) та (5):

$$M_r \leq (M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl}), \quad (4)$$

$$a_{crc} = \delta \cdot \varphi_l \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100\mu) \cdot \sqrt[3]{d}, \quad (5)$$

де M_{crc} – момент тріщиноутворення,

$R_{bt,ser}$ – розрахунковий опір осьовому розтягу бетону,

W_{pl} – момент опору приведенного перерізу, що розраховується за [2, п. 4.7],

a_{crc} – ширина розкриття тріщин, мм;

$\delta = 1,0$ – для зігнутих елементів,

d – діаметр каната, мм,

μ – коефіцієнт армування, інші коефіцієнти див. [2, п. 4.14].

Розрахунок прогинів брусків виконано за формулою (6) та (7):

$$f_m = \int_0^l \overline{M}_x \cdot \left(\frac{1}{r} \right)_x dx, \quad (6)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} + \frac{M \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}}, \quad (7)$$

де $\frac{1}{r}$ – повна кривизна елемента, м-1;

I_{red} – приведений момент інерції перерізу;

$\varphi_{b1} = 0,85$;

E_b – початковий модуль пружності бетону;

f_m – прогин, мм;

φ_{b2} – коефіцієнт див. [2, табл. 34],

M – значення згинального моменту.

Під час чисельних досліджень на програмі “Liga 9.4” було проаналізовано напружено-деформований стан перемичок як фізично нелінійних анізотропних систем для визначення величини прогинів. Виявлено, що величини прогинів, отриманих за стандартною методикою [2, п. 4.24], та чисельні результати адекватні.

Результати чисельних розрахунку класів бетону та параметрів армування канатами К-7 за аналітичною методикою (формули (1) – (7)), при якому брускові перемички задовольняють вимоги чинних норм [1, 2, 4, 10], а також найбільш суттєвий фактор, що впливає на дане армування, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати підбору бетону і армування для брускових перемичок різного розміру

Марка перемички	Геометричні розміри, мм			Армування за методикою, викладеною у [2]: сортамент та витрати					Бетон	Параметр
	l	b	h	канат к-7		інша арматура		загалом		
				Ø, мм	вага, кг	Ø, мм	вага, кг			
2пб-22-3п	2200	120	140	1Ø 12	1,6	4	0.78	2.38	в20	ширина розкриття тріщин
2пб-26-4п	2590	120	140	2Ø 12	3,76	4	0.87	4.63	в20	
2пб-30-4п	2980	120	140	2Ø 12	4,34	4	1.1	5.44	в20	
3пб-13-37п	1290	120	220	1Ø 12	1,86	4	0.87	2.73	в20	
3пб-18-37п	1810	120	220	4Ø 12	5,24	4	1.2	6.44	в25	
3пб-21-8п	2070	120	220	2Ø 12	1,50	4	1.02	2.52	в20	
3пб-25-8п	2460	120	220	2Ø 9	2,04	4	1.14	3.18	в20	
3пб-27-8п	2720	120	220	2Ø 12	3,96	4	1.39	5.35	в20	
3пб-30-8п	2980	120	220	4Ø 12	4,34	4	1.51	5.85	в20	
3пб-34-4п	3370	120	220	4Ø 12	4,92	4	1.56	6.48	в20	
3пб-36-4п	3630	120	220	4Ø 12	5,30	4	1.8	7.1	в20	
5пб-18-27п	1810	250	220	4Ø 9	3,00	4	3.2	6.2	в20	
5пб-21-27п	2070	250	220	4Ø 12	6,00	4	2.48	8.48	в20	
5пб-25-37п	2460	250	220	6Ø 12	10,74	4	4.78	15.52	в25	

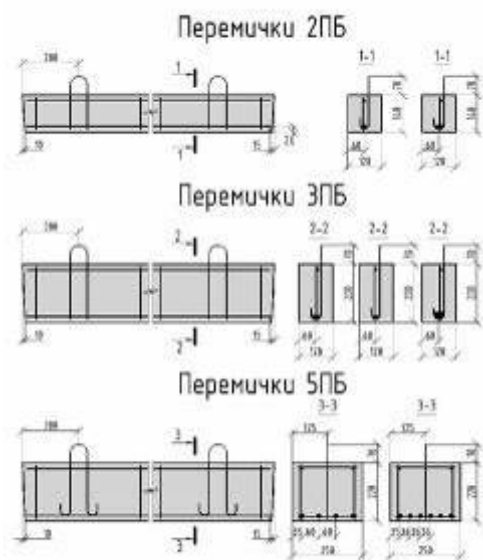


Рис. 2. Конструктивна реалізація армування брускових перемичок канатами К-7.

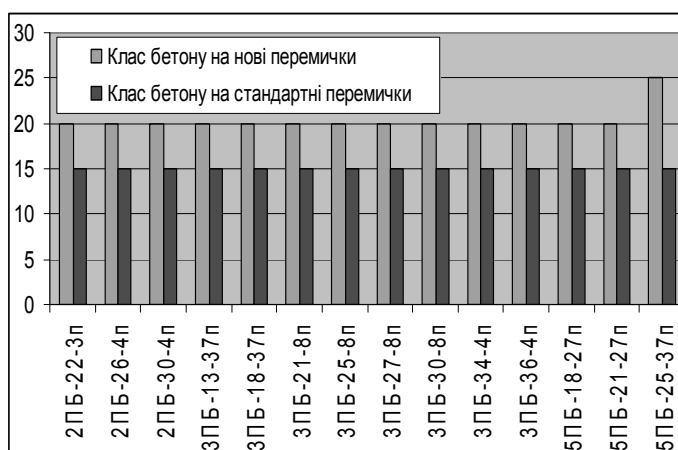


Рис. 3. Порівняння підбраного класу бетону В перемичок з армуванням канатами К-7 з бетоном стандартних перемичок за серією 1.038.1-1.

Схема армування брускових перемичок 2ПБ та 3ПБ плоскими каркасами із арматурного дроту Вр-1 з одним, двома та чотирма канатами К-7, а також перемичок 5ПБ із просторовими каркасами з чотирма та шістьма канатами К-7 показана на рис. 2.

Порівняння результатів чисельного і аналітичного моделювання (підбраного армування технологічним відходом канатів К-7) окремих перемичок, що є найбільш розповсюдженими, з армуванням стандартних перемичок за серією 1.038.1-1 та класів бетону наведено на рис. 3 і рис. 4.

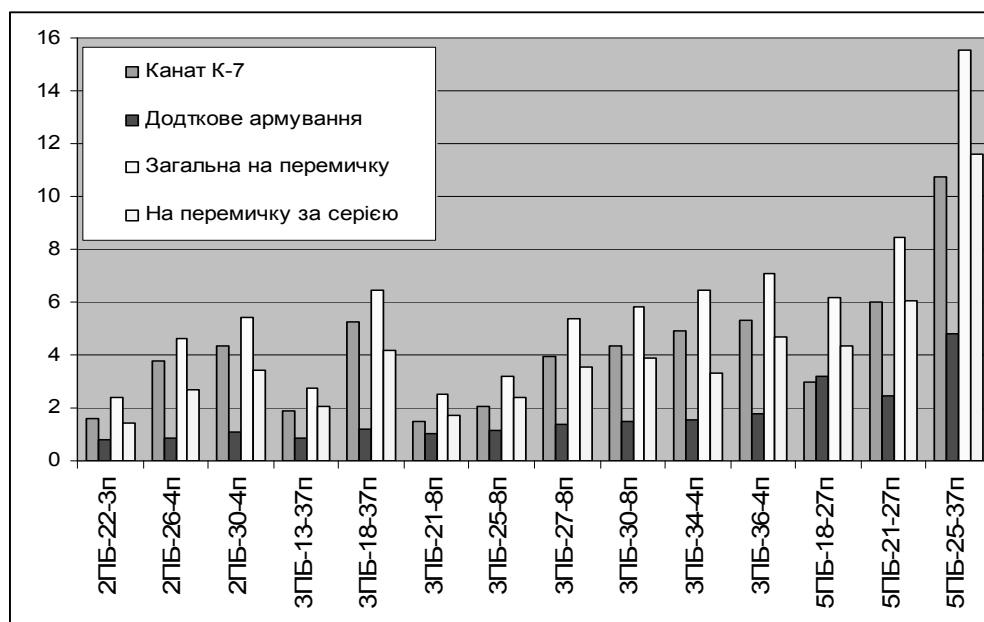


Рис. 4. Порівняння мас підбраного армування перемичок з використанням канатів К-7 з витратами арматури стандартних перемичок за серією 1.038.1-1, дані подані у кг

Аналітичне та чисельне моделювання доводить, що для всіх без виключення перемичок, незалежно від прогону, їх ширини та величини навантаження, армування канатом К-7 без попереднього напруження може бути раціональним тільки в умовах використання технологічних відходів, оскільки загальні витрати арматури при цьому вищі на 31...96%. Це в основному пояснюється більш жорсткими вимогами до ширини розкриття тріщин, характерних для виробів, армованих немасивною (канатною чи дротовою) арматурою, меншим на 10% модулем пружності матеріалу канатів ($1,8 \times 10^{10}$ Па у порівнянні з $2,0 \times 10^{10}$ Па), а також необхідністю влаштування додаткових формоутворювальних каркасів, що підтримують гнучкі канати. окрім цього вищим для всіх без виключення перемичок є клас бетону, знов таки з огляду на тріщиностійкість. однак, оскільки на виробництві плит за технологією безопалубочного формування використовують високомарочні бетони класів В20-В40, даний фактор є не обмежуючим.

Для деяких перемичок, наприклад 5пб-18-27п виявлені парадоксальні результати перевищення ваги конструктивного (підтримуючого) армування над розрахунковим (канатами К-7), що пояснюється значною потребою у формоутворюючих елементах.

Висновки

Виходячи з аналізу результатів досліджень напружено-деформованого стану брусків перемичок різної довжини, армованих канатами К-7 без попереднього напруження, під дією розрахункових навантажень можна зробити такі висновки:

1. Набув подальшого розвитку метод аналізу напружено-деформованого стану залізобетонних зігнутих елементів.
2. Основним критерієм набуття граничного стану для перемичок будь-якої довжини, що армовані технологічним відходом канатів К-7 без попереднього напруження, є тріщиностійкість, тому спрощений розрахунок таких конструкцій можна проводити виключно за співвідношеннями (4) та (5).
3. Шляхом порівняння підбраного класу бетону і армування технологічним відходом канатів К-7, разом із конструктивними каркасами для влаштування самого гнучкого армування, для найбільш розповсюджених перемичок з класами бетону і армуванням аналогічних стандартних

перемичок за серією 1.038.1-1 виявлено, що для перемичок на невеликі прогони (до 3 м) в умовах замкнутого безвідходного технологічного циклу, використання канатів К-7 без попереднього напруження є доцільним.

4. За інтегральним критерієм собівартості виявлено, що окремі перемички, в основному великопрогонні (більше 3 м), наприклад 5пб-25-37п, які армовані технологічним відходом канатів К-7, не раціональні взагалі, оскільки, з огляду на підвищені вимоги тріщиностійкості для канатів К-7, виникає потреба у збільшенні класу бетону порівняно зі стандартними перемичками за серією 1.038.1-1 з в15 до В25 та перевитратами арматури більше 40%.

Список літератури

1. Вироби будівельні бетонні і залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. ДСТУ Б В.2.6-7-95 / Держкоммістобудування України. – К., 1997. – 30 с. – (Національний стандарт України).
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. ДСТУ Б В.2.6.-2-95 / Держкоммістобудування України. – К., 1996. – 26 с. – (Національний стандарт України).
4. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Технические условия. ГОСТ 948-84. – М., 1985. – 28 с.
5. ДСТУ 3760-2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.
6. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия. ГОСТ 10922-90. – М., 1990.
7. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры / Госстрой Украины, Киев, 2002. – 39 с.
8. Канаты стальные арматурные 1х7. Технические условия. ГОСТ 13840-68. [Введ. 01.01.1969]. Переиздание 01.06.1995. – М., ИПК Издательство стандартов. – 6 с.
9. Навантаження і впливи. Норми проектування. ДБН В.1.2-:2006. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. [Чинний від 2007-01-01] – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Прогони і переміщення. Вимоги проектування. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85. [Чинний від 2007-01-01] – К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с. – (Національний стандарт України).
11. G. Capuano. The hollow core floor. Design and applications. Manual ASSAP. 1-st edition. [G. Capuano, B. Della Bella, G. Della Bella, P. Ghittoni, P. Morandi, C. Nilson] Verona. Italy, 2002 – 220 p.
12. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 1.038.1-1. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1 Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий. Рабочие чертежи. ЦНИИЭП жилища. Москва – 1990. – 98 с.

Попов Володимир Олексійович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Хупченко Віталій Анатолійович – інженер ТОВ «Гервін», м. Вінниця.

Маєвська Марія Вікторівна – студентка Вінницького національного технічного університету.