

УДК 624.012

ЗБІРНО-МОНОЛІТНА КОНСТРУКТИВНА СИСТЕМА «КУБ-2,5» ПІД СОЦІАЛЬНЕ ЖИТЛО В УКРАЇНІ: З'ЄДНАННЯ КОЛОНИ З ПЕРЕКРИТТЯМ

СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ КОНСТРУКТИВНАЯ СИСТЕМА «КУБ-2,5» ПОД СОЦИЛЬНОЕ ЖИЛЬЕ В УКРАИНЕ: СОЕДИНЕНИЕ КОЛОННЫ С ПЕРЕКРЫТИЕМ

MONOLITHIC STRUCTURAL SYSTEM "CUBE-2, 5" UNDER SOTSILNE HOUSING IN UKRAINE CONNECTION COLONIES WITH OVERLAPPING

Довженко О.О., к.т.н., доц., Погрібний В.В., к.т.н., доц., Гриценко А.Г., магістр (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Довженко О.А., к.т.н., доц., Погребной В.В., к.т.н., доц., Гриценко А.Г., магистр (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Dovzhenko O.A., candidate of technical sciences, docent, Pogribnoy V.V., candidate of technical sciences, docent, Griysenko A.G., graduate (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Викладені результати оцінювання міцності шпонкового стику колони з перекриттям за різними методиками. Досліджено вплив обтиснення.

Изложены результаты оценки прочности шпоночного стыка колонны с перекрытием по разным методикам. Исследовано влияние обжатия.

The results of assessing the strength of the joint keyed columns overlap with different methods. The effect of the reduction.

Ключові слова:

«КУБ-2,5», шпонка, стик, міцність.

«КУБ-2,5», шпонка, стык, прочность.

"CUBE-2,5", joint, connection, strength.

Вступ. В Європі постійно зростає потреба у соціальному житлі, що обумовлено економічною кризою, інтенсифікацією міграції, урбанізацією.

Тому уряди європейських країн і надалі впроваджують та розвивають соціально відповідальну житлову політику.

За роки незалежності України спостерігається уповільнення темпів зведення соціального житла. Зважаючи на існуючий попит, питання необхідності забезпечення таким житлом знайшло відображення в низці національних і регіональних програм. Однак через недосконалість вітчизняного законодавства, відсутність дієвих механізмів державного планування розвитку будівельної галузі, зважаючи на низький рівень інвестиційної привабливості соціальної сфери, вони практично не виконуються.

Усе вищевказане зумовлює актуальність обраної теми дослідження, її спрямованість на вирішення конкретних науково-прикладних завдань.

Соціальне житло розраховане на найбільш незаможні верстви населення. Його зведення фінансують із міського або державного бюджету. Воно є власністю міста, безоплатно надається найбіднішим громадянам. При цьому таке житло не може бути приватизоване, продане або здане в оренду, передане у спадок. Соціальне житло розраховане на забезпечення певного санітарно-гігієнічного мінімуму проживання, а за рівнем комфорту поступається доступному житлу. У нормативно-правових документах площа доступного житла на людину становить 20 м², соціального – 14 м². Головна вимога до такого житла – його максимальна дешевизна.

У Мінрегіонбуді уважно вивчається питання здешевлення будівництва житла. Досвід підказує, що цього можна досягти завдяки широкому використанню місцевих будівельних матеріалів, а нові технології дозволяють побудувати багатопверхівки в термін від 8 до 12 місяців. Яскравим прикладом їх застосування є зведення будівель на основі конструктивної системи «КУБ-2,5».

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. У 60-х рр. минулого століття було подолано проблему виключення розширених оголовків колон (капітелей) із конструкцій каркасу безбалкових перекриттів. Нова революційна конструктивна система була схвалена експертами ЦНИИЭП жилище й отримала назву «КУБ-1». Вона являла собою безбалкове перекриття у вигляді плит однакової товщини з безкапітельними колонами постійного поперечного перерізу. У 80-ті рр. з'явився «КУБ-2» для будівель військового відомства. Новий варіант системи «КУБ-3» розроблений для швидкого будівництва 5-ти поверхових будівель, а у 1986 р. затверджена та рекомендована для застосування наступна модифікація системи – «КУБ-2,5» [1]. Зараз активно відбувається її розвиток. Вдосконаленню піддалися всі елементи каркаса, починаючи від найпростіших складених деталей, і закінчуючи найскладнішими елементами – плитами перекриття. Модернізація елементів системи здійснюється без заміни металоформ, що у майбутньому дозволить зменшити вартість житла. Нова розробка отримає назву «КУБ-4» [2].

Зазначена конструктивна система використовується в Україні, зокрема в м. Полтаві. В ПолтНТУ виконуються дослідження елементів каркасу будівлі та вузлів їх з'єднання [3].

Стик з'єднання колони із надколонною плитою (рис. 1) зазнав еволюції разом із розвитком системи. Починалося все із так званої «розподільчої системи», запропонованої Л.М. Кукшею [4].

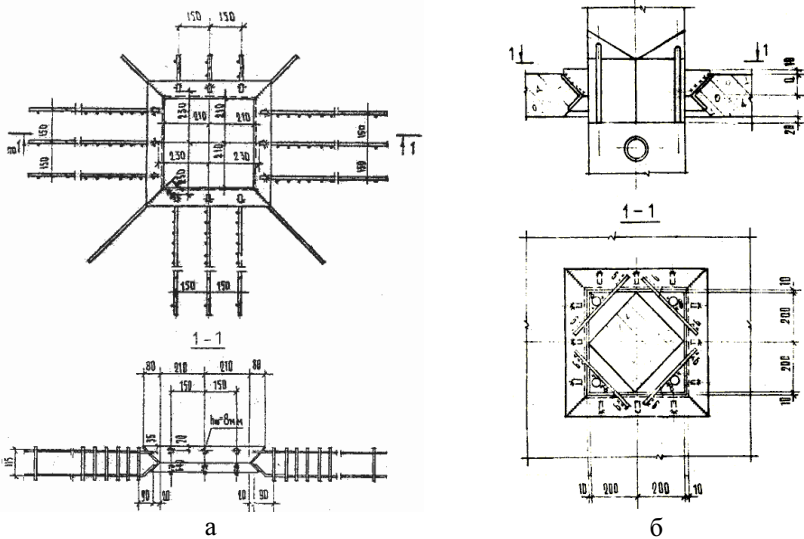
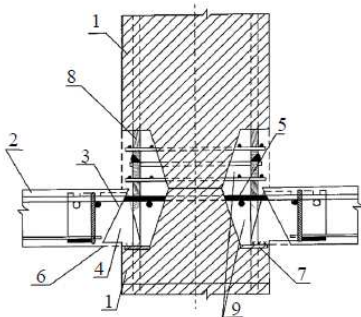


Рис. 1 Вузол з'єднання надколонної плити з колоною в каркасі:
а – «КУБ-1»; б – «КУБ-2»

У [5] запропоновано інше вирішення проблеми з'єднання збірної колони з надколонною плитою (рис. 2): колона пропущена через отвір плити; на гранях останньої, виконаних під кутом 60° до площини плити, встановлені з'єднувальні елементи у вигляді трапецієподібних металевих пластин, котрі сполучені зварюванням із арматурою плити.



- 1 – колона;
- 2 – плита;
- 3 – грані плити;
- 4 – трапецієподібні металеві пластини;
- 5 – арматура плити;
- 6 – ребро плити;
- 7 – закладна деталь;
- 8 – арматура колони;
- 9 – бетон замонолічування

Рис. 2 Стик надколонної плити з колоною (за [5])

Ребро плити опирається на колону через закладну деталь. Проміжки між колоною та плитою в зоні стику заповнюються бетоном.

За серією [6] надколонні плити кріпляться за допомогою зварювання закладених у них металевих елементів до арматури колони (рис. 3), а монтажні проміжки заповнюються високоміцним дрібнозернистим бетоном. При цьому утворюються шпонки.

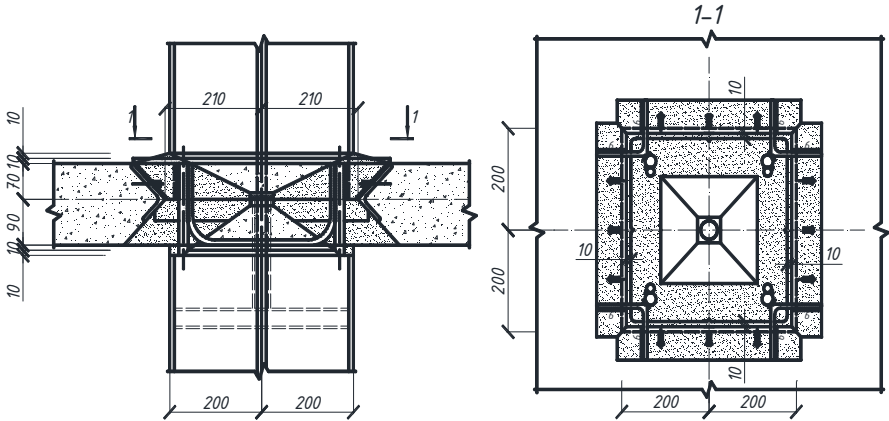


Рис. 3 Стик надколонної плити з колоною (за [6])

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Одним із найвідповідальніших процесів під час зведення каркасу системи «КУБ-2,5» є влаштування з'єднань його елементів.

За даними [7] конструктивна надійність усієї системи базується на якості виконання шпонкових стиків «плита – колона» (рис. 4). Поверховість будівлі також значною мірою лімітується їх міцністю.



Рис. 4 Етапи влаштування стику надколонної плити з колоною

Метою статті є дослідження роботи з'єднання надколонної плити з колоною для надання рекомендацій щодо підвищення надійності та вдосконалення конструкції стику.

Викладення основного матеріалу. За основу взято житловий будинок конструктивної системи «КУБ-2,5», котрий зводиться за адресою: м. Полтава, вул. Жовтнева, 60-д.

Виконано статичний розрахунок каркасу у ПК SCAD Office. Відповідно до плану будівлі задана сітка колон з поперечним перерізом 400x400 мм; плити перекриття розбиті на 16 скінченних елементів («4-угольные КЭ оболочки») розміром 0,75x0,75 м кожен; всі елементи запроєктовані із бетону класу С32/40. Передбачене жорстке з'єднання плит із колонами та шарнірне між собою. Модель 1-го поверху представлена на рис. 5.

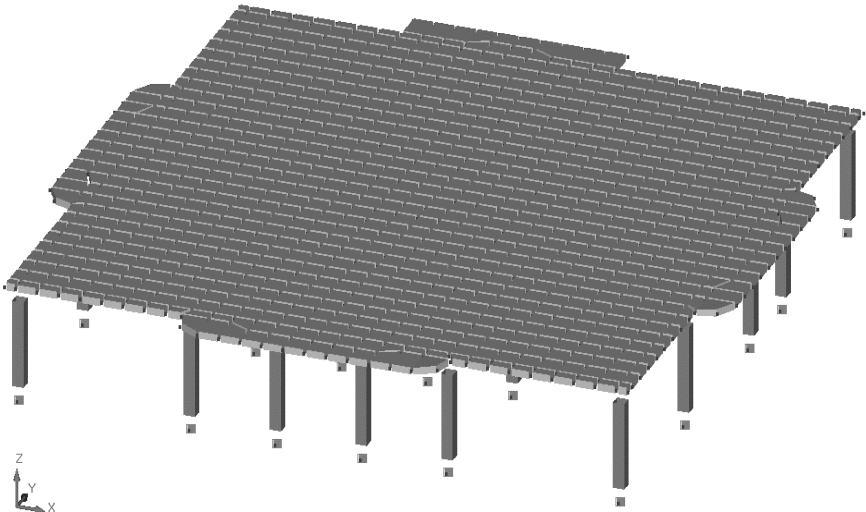


Рис. 5 Модель першого поверху будівлі в ПК SCAD Office

Визначення несучої здатності зазначеного стику виконано з використанням розробленого у ПолтНТУ варіаційного методу в теорії пластичності бетону (ВМТПБ) за умови локалізації спрямованої пластичної деформації у тонкому шарі на поверхні руйнування [8] та двох нормативних методик [9, 10].

Вихідні дані для розрахунку наступні:

– геометричні характеристики одношпонкового стику: кут нахилу опорних поверхонь шпонки до горизонталі $\psi=39^\circ$, товщина стику $b_k=0,4$ м, висота шпонки $h_k=0,16$ м, глибина $l_k=0,17$ м, $\gamma=l_k/h_k=1,06$ (рис. 6, 7);

– бетон класу С32/40: $f_{cd}=22$ МПа, $f_{ctd}=1,4$ МПа.

Кінематично можливу схему руйнування шпонкового стику колони з плитою, котра лежить в основі розрахунку за ВМТПБ зображено на рис. 7.

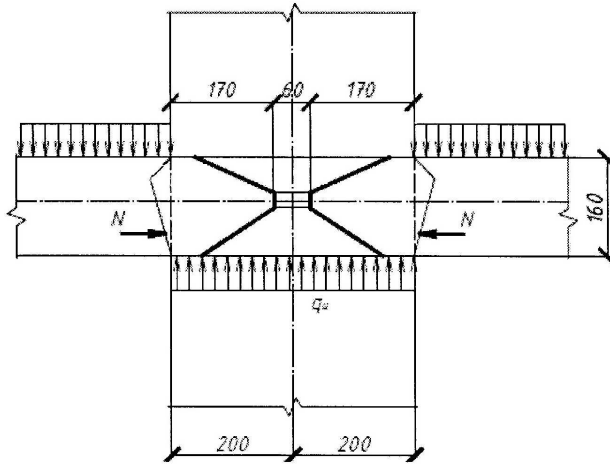


Рис. 6 Схема дії зусиль у стикі надколонної плити з колоною

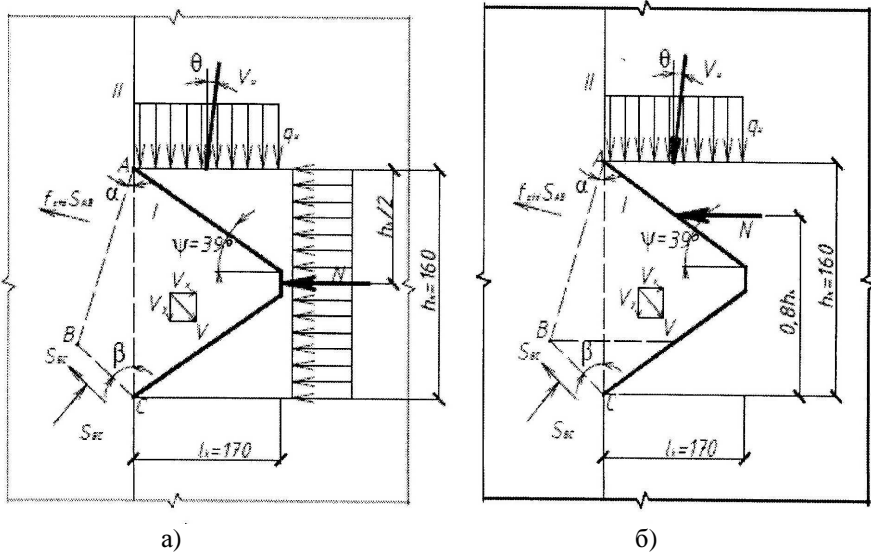


Рис. 7 Кінематично можливі схеми руйнування обтиснутих шпонок:
а – за всією висотою стикі; б – у стиснутій зоні бетону плити

При розв'язанні задачі невідомими виступають: граничне навантаження q_u , співвідношення швидкостей руху дисків на кінематичній схемі $k = V_x / V_y$ і геометричні параметри поверхні руйнування ABC: кути α, β .

Формула для визначення граничного навантаження за умови $k = tg \beta$ для обтиснутих бетонних шпонок трапецієподібної форми [10] має вигляд

$$\frac{q_u^{\psi}}{m} = \left(\frac{Btg\alpha(tg^2\beta+1)}{tg\alpha+tg\beta} + \frac{(f_{ctd} + \sigma)tg\beta}{m} \right) \frac{1}{\gamma(\cos\theta - tg^2\beta\sin\theta)}, \quad (1)$$

де $B = \sqrt{\left(1 + \chi / (1 - \chi)^2\right)} / 3$, $\chi = f_{ctd} / f_{cd}$, $m = f_{cd} - f_{ctd}$;

$\theta = \frac{1}{15} \psi$ – кут відхилення рівнодіючої від вертикалі.

Вказане відхилення обумовлене характером прикладання зовнішнього навантаження та призводить до появи горизонтальної його складової, а це в свою чергу до підвищення міцності стику. Стик обтиснутий зусиллям N , котре виникає від дії згинального моменту $M=53,9$ кНм (визначений за статичним розрахунком).

Значення навантаження q_u знаходиться шляхом пошуку мінімуму функції (1) методом Ньютона за виконання умов $\sum M_B = 0$, $\sum X = 0$:

$$\begin{aligned} \sum M_B = & \frac{f_{ctd}}{m} \frac{tg^2\beta(1+tg^2\alpha)}{2(tg\alpha+tg\beta)^2} + \frac{tg^2\alpha(1+tg^2\beta)}{2(tg\alpha+tg\beta)^2} - \frac{q_u\gamma\cos\theta}{m} \left(\frac{tg\alpha tg\beta}{tg\alpha+tg\beta} + \frac{\gamma}{2} \right) \\ & + \frac{q_u\gamma\sin\theta}{m} \frac{tg\beta}{tg\alpha+tg\beta} + \frac{N}{mb_k h_k} \left(\frac{tg\beta}{tg\alpha+tg\beta} - 0,5 \right) = 0; \\ \sum X = & \frac{tg\alpha - Btg\alpha tg\beta - \frac{f_{ctd}}{m} tg\beta}{tg\alpha+tg\beta} - \frac{\sigma + f_{sh}\sin\theta}{m} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum X = \frac{tg\alpha - Btg\alpha tg\beta - \frac{f_{ctd}}{m} tg\beta}{tg\alpha+tg\beta} - \frac{\sigma + f_{sh}\sin\theta}{m} = 0. \quad (3)$$

Граничне зусилля зрізу, що сприймає стик, у цьому випадку $V_{sh,Rd} = f_{sh}^{calc} b_k h_k$, $f_{sh}^{calc} = q_u \gamma$.

У разі рівномірно розподіленого обтиснення шпонки за всією висотою (рис. 7, а) та застосуванні на основі рекомендацій [9] обмеження величини обтиснення умовою $0,7N \leq 0,5V_{sh}$, розрахунковий опір зрізу шпонкового стику за ВМТПБ дорівнює $f_{sh}=2,78$ МПа.

В реальних умовах зусилля обтиснення діє не на всю висоту шпонки, а лише в межах стиснутої зони бетону плити, яка за умови прямокутної епюри напружень дорівнює $x=62$ мм. Для врахування такого впливу необхідно

прикласти зусилля обтиснення на відстані $0,8h$ від точки С (рис. 7, б). Такі зміни розрахункової схеми відобразяться у рівнянні рівноваги $\sum M_B = 0$. Складова цього рівняння, до якої входить зусилля N , набуває наступного вигляду

$$\frac{N}{mb_k h_k} \left(\frac{tg\beta}{tg\alpha + tg\beta} - 0,2 \right). \quad (4)$$

При розрахунках використовуємо обмеження $0,7N \leq 0,5V_{sh}$.

Методом послідовного наближення було отримано: $N=271,2 \text{ кН}$, $V_{sh}=379,7 \text{ кН}$.

Дані розрахунку за [8, 9, 10] представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння значень зусиль, котрі може сприйняти стик, за різними методиками

<i>Варіаційний метод в теорії пластичності бетону [8]</i>	<i>379,7 кН</i>
<i>Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями [9]</i>	<i>358,4 кН</i>
<i>Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий [10]</i>	<i>268,8 кН</i>

Всі методики показують забезпечення міцності стику. При цьому зусилля V_{sh} (див. табл. 1) значно перевищують, отримані із статичного розрахунку.

ВМТПБ враховує характер руйнування стику, його геометрію, обидві характеристики міцності бетону, обтиснення, особливості прикладання навантаження.

Згідно [11] характер руйнування та міцність шпонок суттєво залежить від співвідношення їх глибини до висоти l_k/h_k , що не знайшло відображення в [9 і 10] і часом приводить до суттєвих відмінностей значень граничного навантаження. У дослідях з бетонними шпонками спостерігається змінання при $l_k/h_k < 0,25$, зріз при $0,25 \leq l_k/h_k \leq 0,5$, а при $l_k/h_k > 0,5$ руйнування відбувається шляхом відриву. Максимальна міцність стику відповідає $l_k/h_k \approx 0,25$.

Обтиснення розширює межі зрізової форми руйнування шпонок до $l_k/h_k \approx 1$.

Для збільшення міцності даного з'єднання можна запропонувати зменшити глибину шпонки l_k до величини 80 мм ($l_k/h_k = 0,5$), що в свою чергу дозволить збільшити площадку обпирання колони на колону з 60 мм до 240 мм (рис. 8).

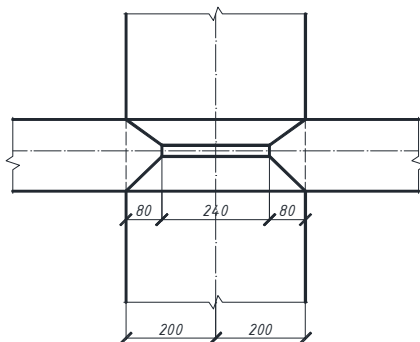


Рис. 8 Схема вдосконаленого стику колони з плитою

Висновок. Шпонковий стик з'єднання колони з плитою в конструктивній системі «КУБ-2,5» має достатні резерви міцності. Для їх використання та підвищення надійності роботи запропоновано внести зміни в геометрію стику. Для розрахунку міцності шпонкових з'єднань пропонується ВМТПБ як достатньо загальний та досить точний, і такий, що враховує найбільшу кількість визначальних факторів міцності.

1. Дрофман А.Э. Проектирование безбалочных безкапительных покрытий / А.Э. Дрофман, Л.Н. Левонтин – М.: Стройиздат, 1975. – 124 с. 2. Електронний ресурс gibarov.com.ua. 3. Павліков А.М., Бабич Є.М., Петер Б.М. Безкапительно-безбалкова каркасно-конструктивна система будівлі: особливості та досвід використання під доступне житло / Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / ДП ДНД ІБК. – Вип. 78: В 2-х кн.: Книга 1. – Київ, ДП НДІБК, 2013. – С. 28–46 4. Ватин Н.И., Иванов А.Д. Сопряжение колонны и безребристой безкапительной плиты перекрытия монолитного железобетонного каркасного здания / Н.И. Ватин, А.Д. Иванов. Санкт-Петербург, 2006. – 82 с. 5. Патент RU 2281363С2 Россия. Узел стыка колонны с надколонной плитой/ С.Л. Березовский, А.Г. Волосач, Т.М. Пецольд // 2004 г. 6. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий: Рабочий проект в 9-ти выпусках. Серия КУБ-2,5. Выпуск 1-1 / Фирма „КУБ“ СП „ИНЭКС“, Научно-проектно-строительное объединение монолитного домостроения (НСПО „МОНОЛИТ“). – М., 1990. – 49 с. 7. Гуров Е.П. Сборное домостроение. Стратегия развития / СтройПРОФИЛЬ, №5 (83) 2010. – С. 10–15. 8. Митрофанов В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона / В.П. Митрофанов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 6. – С. 23 – 28. 9. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями, Москва, Стройиздат 1979 г. – 54 с. 10. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с. 11. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань: характер тріщиноутворення, міцність бетонних і залізобетонних шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 25. – С. 276–286.