

**ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО МЕТОДІВ АНКЕРУВАННЯ
АРМАТУРИ У МАСИВІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ**

**GENERAL INFORMATION ON METHODS OF REINFORCEMENT
ANCHORING IN CELLULAR CONCRETE**

Баранович Л.Р., аспірант, <https://orcid.org/0000-0002-4521-311X>;

Баранович А.М., магістр будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-5783-7897>; **Фамуляк Ю.Є.,** к.т.н., доцент, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>

Baranovich L., graduate student, <https://orcid.org/0000-0002-4521-311X>;

Baranovich A., master of civil engineering, <https://orcid.org/0000-0001-5783-7897>; **Famulyak Yu.,** candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>

Будівельна галузь сьогодення вимагає розробку енергоефективних і екологічних будівельних матеріалів. Одним із таких будівельних матеріалів можна з впевненістю вважати ніздрюватий бетон. Основний недолік такого матеріалу – не надто високу механічну міцність, можна частково розв’язати завдяки армуванню масиву ніздрюватого бетону, забезпечивши надійне анкерування арматурних стрижнів.

The requirements of the modern world and the construction industry in particular pose challenges to humans in the development and production of energy-efficient and environmentally friendly building materials. Cellular concrete can be considered one of these building materials. Due to its structure, it has such desirable properties as thermal insulation, frost resistance, sound insulation, low water absorption, non-toxicity, etc. At the same time, unfortunately, it has a rather significant disadvantage for the construction industry - insufficiently high mechanical strength. Because of this, it is quite problematic to use cellular concrete as a material for the manufacture of structural elements, especially span structures. That is why these types of concrete are mainly used as a material for filling self-supporting enclosing structures, on which external influences and loads are minimized. This problem can be partially solved by rigid or flexible rod reinforcement of structural elements made of cellular concrete with or without the use of dispersed reinforcement. Due to the low physical and mechanical properties of this construction material, there is a risk that the reinforcing bars may be pulled out of the cellular concrete massif when an external load is applied to a

structural element made of such material. Reliable anchoring of reinforcing bars in an array of cellular concrete is of great importance for solving the problem of operational reliability of structural elements. The article discusses the currently known methods of anchoring reinforcement bars in an array of concrete of various types using different design solutions or with the use of additional elements or devices.

Ключові слова: ніздрюватий бетон, армування, анкерування, механічна міцність, метод
cellular concrete, reinforcement, anchoring, mechanical strength, method.

Вступ. Ознакою сьогодення у світі є все зростаючі вимоги щодо енергозберігаючих і екологічних технологій. Така тенденція не оминула і будівельну галузь. Відповідно до сучасних нормативних вимог усі матеріали, що використовують для виготовлення будівельних конструкцій повинні володіти не лише високими механічними властивостями, а й бути енергозберігаючими та екологічними.

Одним із таких будівельних матеріалів є ніздрюватий бетон. Завдяки своїй пористій структурі він має дуже хороші характеристики теплопровідності, а його маса, у порівнянні із звичним бетоном, значно менша, що дозволяє зменшити навантаження на фундаменти будівлі чи споруди та конструкції. Але, нажаль, цей матеріал має також і досить вагомі недоліки – крихкість та не надто високу механічну міцність. Цю проблему можна частково вирішити завдяки жорсткому чи гнучкому стрижневому армуванню конструктивних елементів з ніздрюватого бетону з одночасним застосуванням дисперсного армування або без нього.

Саме тому дослідження анкерування стрижнів армування у масиві ніздрюватого бетону є важливим та актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Питання анкерування арматури в масиві бетону цікавило дослідників давно. Армованими конструкціями займалися такі науковці, як П.А. Теслер, Є.Н. Добринін, В.А. Пінскер, К.М. Романовська (Мілейковська), Н.І. Левін, В.В. Макаричев, М.Я. Кривицький, Б.П. Филиппов, О.П. Винокуров, В.С. Писарев, А.Г. Почтенко, К.П. Муромський, Р.Л. Серих, Ю.В. Свідзінський, О.О. Постернак.

Основоположниками наукових шкіл зчеплення бетону з арматурою вважаються такі науковці:

- М.М. Холмянський, Ш.А. Алієв, Ф.С. Белавін, А.А. Гвоздєв, Б.С. Гольдфайн, В.В. Зайцев, Ю.А. Іващенко, Н.І. Карпенко, В.М. Кольнер, Ю.Ф. Кутін, Н.М. Мулін, А.А. Оатул, Л.П. Серова, Ф.Є. Клименко, П.А. Школьний – радянська школа;

- Abrams D., Goto I., Lutz L., Gergely P., Rehm G., Broms B. – зарубіжні школи.

Серед сучасних науковців, які займалися та займаються дослідженням бетону, можна виділити таких:

- українські: Ю.А. Клімов, В.С. Шмуклер, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкін, Є.М. Бабич, О.С. Чапюк, З.Я. Бліхарський;
- польські: D. Walach, J. Kozicki, D. Ulanska, M. Krol, Z. Cherski;
- італійські: P. Bomonte, L. Lelliel, Pietro G. Gambarova, Gian Paolo Rosati, G. Manfredi, M. Pecce;
- бельгійські: L. Vandewalle, F. Mortelmans;
- голландські: Joop A. den Uijl, Agnieszka J. Bigaj, J. C. Walraven;
- корейські: Oan Chul Choi, Seung Yul Yang, W. S. Lee, Lan Chung, Jang-Ho Jay Kim, Seong-Tae Yi;
- канадські: David W. Mitchell, H. Marzouk, A. Hassan, K. Hossain, M. Lachemi;
- китайські: Shi Zhifei, Cui Chang, Zhou Limin, Congqi Fang;
- шведські: Karin Lundgren, Mario Plos, Kent Gylltoft;
- представники американської наукової школи: A.D. Cowell, E.P. Popov, V.V. Bertero, M.L. Tholen, D. Darwin, J.H. Weathersby.

Серед сучасних українських наукових шкіл, які займаються вивченням саме ніздрюватих бетонів в Україні, варто виділити школи, сформовані в Одесі (під керівництвом Вознесенського В.А., Шинкевич О.С., Мартинова В.І., Вирового В.М., Костюка А.І. та ін.), Дніпропетровську (під керівництвом Приходька А.П.), Києві (під керівництвом Кривенка П.В.) та Львові (під керівництвом Саницького М.А., Демчини Б. Г.).

Однак варто відзначити, що все ж таки питанню вивчення способів анкерування стрижнів арматури в масиві ніздрюватих бетонів було приділено недостатньо уваги і на сьогодні воно до кінця не вирішене.

Постановка мети і задач досліджень. Метою дослідження є опис та аналіз способів анкерування стрижнів арматури в масиві різного роду бетонів, зокрема і в масиві ніздрюватих бетонів. Для досягнення мети було виконане наступне: проаналізовано доступні науково-технічну літературу, публікації та матеріали, які описують способи анкерування стрижнів арматури в масиві різних бетонів.

Методика досліджень. Аналіз доступної науково-технічної літератури, публікацій та матеріалів, які описують способи анкерування стрижнів арматури в масиві бетону.

Результати дослідження. Ніздрюватий бетон – бетон із рівномірно розподіленими порами у вигляді комірок розміром 1...2 мм. Загальна пористість – 80-90%. Із ніздрюватого бетону виготовляють стінові панелі й блоки, плити покриттів, тепло- і звукоізоляційні вироби [1; ст. 133] (найбільш відомі та використовувані у будівельній галузі ніздрюваті бетони – це газобетон та пінобетон).

Нажаль цей будівельний матеріал володіє недостатньою механічною міцністю, що не дозволяє використовувати його як матеріал для виготовлення пролітних конструктивних елементів будівель та споруд, а

лише як такий, що не несе значного навантаження, або ж як заповнювач для інших конструкцій.

Для вирішення цієї проблеми було прийнято рішення застосовувати у масиві ніздрюватих бетонів армування. Експериментальні дослідження науковців довели, що такий спосіб покращення фізико-механічних властивостей цього матеріалу дозволяють значно покращити його роботу.

Арматура – ...елементи конструкції або виробу, що сприймають зусилля розтягу чи згину (наприклад, стрижні – арматура залізобетонної конструкції). Як арматуру, що змінює (поліпшує) фізико-механічні властивості матеріалів, застосовують склопластики, бамбук та ін [1; ст. 20].

Сьогодні відомі дослідження проведені щодо армування ніздрюватого бетону арматурою періодичного профілю, гладкою арматурою, дротом, фіброю тощо. За дослідними даними, міцність зчеплення залежить від наступних факторів: зачеплення в бетоні виступів на поверхні арматури періодичного профілю; сил тертя, що розвиваються при контакті арматури з бетоном під впливом його усадки; склеювання арматури з бетоном, що виникає завдяки клейкої здатності цементного гелю. Найбільший вплив на міцність зчеплення надає перший фактор: він забезпечує близько 3/4 загального опору ковзанню арматури в бетоні; якщо арматура гладка і кругла, опір ковзанню зменшується. Міцність зчеплення зростає з підвищенням класу бетону, зменшенням водоцементного відношення, а також зі збільшенням віку бетону [2]. Хоча зчеплення між бетоном і арматурою періодичного профілю є досить непоганим завдяки зачепленню в бетоні виступів на її поверхні, але все ж таки у випадку гладкої арматури, такий ефект досягається завдяки змащенню її бетонним тістом за 1,5-2 години перед бетонуванням [3; ст. 101- 103]. Проковзування арматури у тілі бетону може і не відбутися, але для ніздрюватих бетонів, беручи до уваги їхні не надто високі міцнісні характеристики, слід заанкерувати її у масиві бетону для уникнення передчасного руйнування всієї конструкції.

Анкерування – це закріплення арматури в бетоні, яке досягається заведенням арматури за розрахунковий переріз на довжину достатню для включення стрижня в роботу, або виконанням спеціальних конструктивних заходів. У зоні анкерування розтягнутий стрижень працює на висмикування з тіла бетону через поверхню зчеплення, а в стиснутому стрижні зусилля передаються через поверхню зчеплення в тіло бетону [2].

Виділяють 4 основні способи анкерування ненапруженої арматури (рис. 1):

- пряме анкерування (використовується прямий кінець стрижня);
- загин (на кінці стрижня формується петля, лапка або гачок);
- зварювання (із встановленням поперечних стрижнів);
- установка на кінцях прутів спеціальних анкерних пристроїв [4].

Вказані способи є актуальними і для анкерування в масиві ніздрюватого бетону.

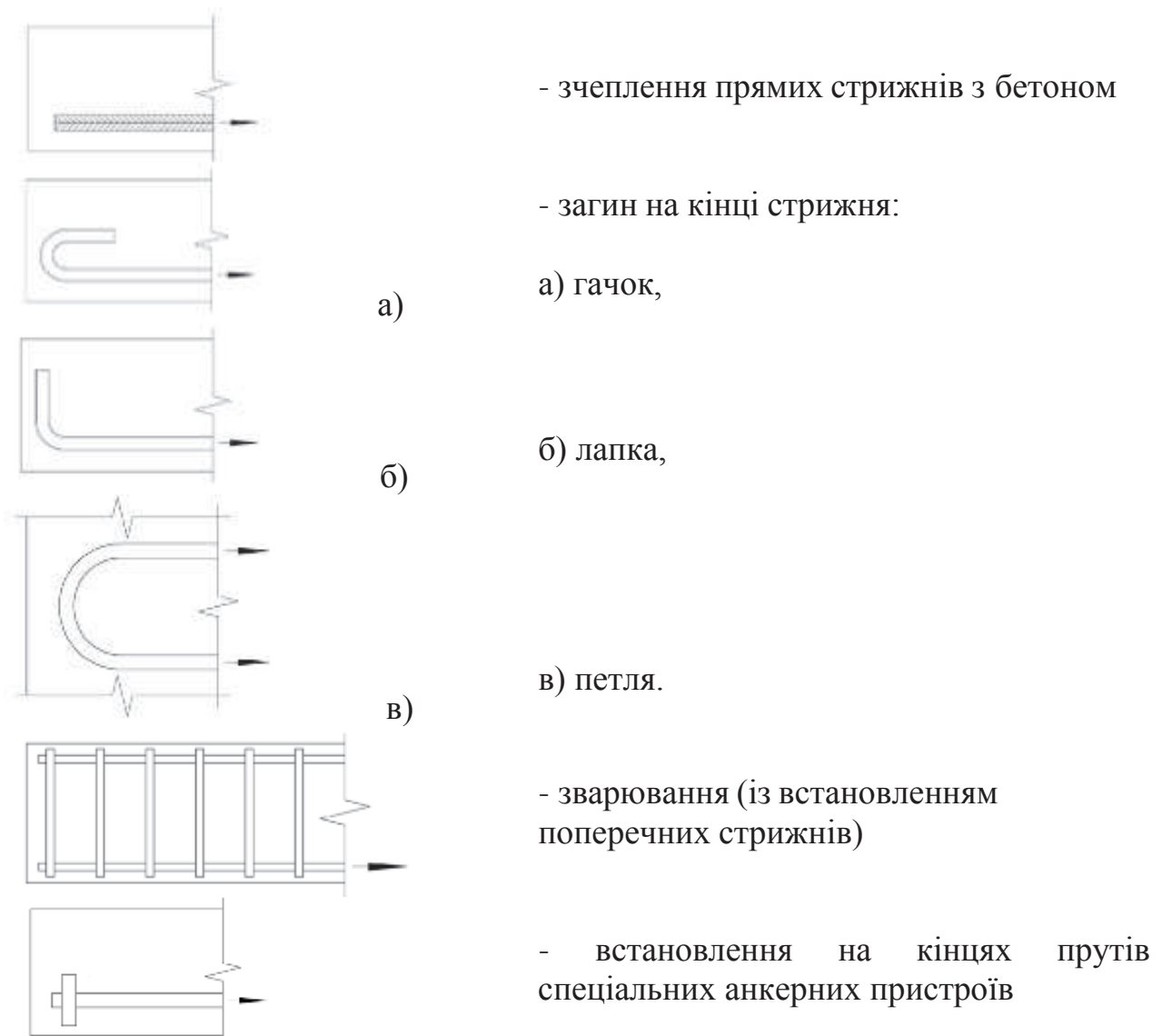
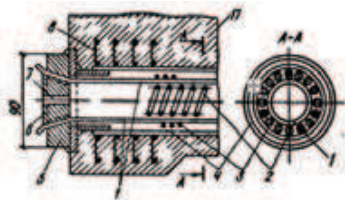


Рис. 1. Способи анкерування ненапруженої арматури у масиві бетону

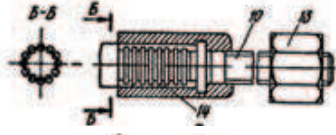
Для анкерування напруженої арматури використовують спеціальні анкери у вигляді пластинок квадратної форми, арматурні обрізки, які приварюють на кінцях стрижнів, гайки, накручувані на кінець стрижня (рис. 2д), циліндричні гільзи, обтиснуті до початку виникнення в них пластичних деформацій (рис. 2б та 2е). Як анкери застосовують висаджені головки на арматурних стрижнях, які формують при розігріванні ділянки стрижня електрострумом [5].

Дротяну арматуру в пучках анкерують конусними пробками (рис. 2а). Якщо конструктивно забезпечено довжину зони передачі напружень l_p напруженої стрижньової і дротяної арматури періодичного профілю, а також арматурних канатів класів К-7 і К-19, то влаштовувати спеціальні анкери в бетоні не треба, бо анкерування забезпечується зчепленням арматури з бетоном.



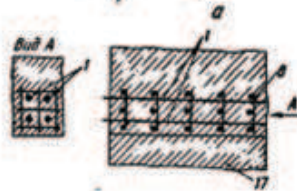
а)

- з пучків високоміцного дроту



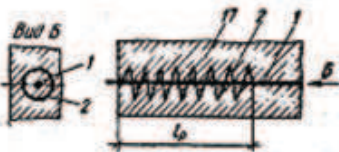
б)

- поперечними сітками біля опор



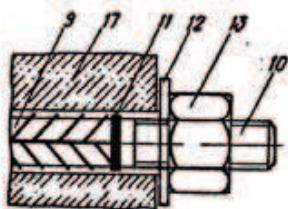
в)

- те саме, спіралями



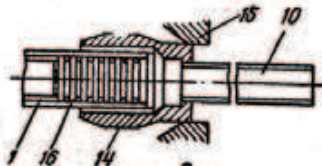
г)

- стрижневою арматурою



д)

- обтискання пучка гільзою



е)

Рис. 2. Способи анкерування напруженої арматури у масиві бетону
 1 – високоміцний дрiт; 2 – спіраль; 3 – скрутка з тонкого дроту; 4 – оболонка каналу в бетони; 5 – колодка анкера; 6 – конічна пробка; 7 – отвір для ін'єкції каналу; 8 – сітки непрямого армування; 9 – напружуваний стрижень; 10 – обрізок з різьбою; 11 – зварювання; 12 – шайба; 13 – гайка; 14 – обтиснута гільза; 15 – обтискне кільце; 16 – виточки на оцупку; 17 – бетон

При натягуванні арматури на бетон на кінцях стержнів приварюють кінець обрізка з різьбою і анкерування виконується шайбами та гайками.

У попередньо напружених конструкціях при поздовжньому обтискуванні бетону виникають поперечні розтягувальні напруження, які можуть спричинити поздовжні тріщини, що значно погіршують анкерування напруженої арматури. Тому на кінцевих ділянках у зоні передачі напружень застосовують непряме армування у вигляді зварних сіток або спіралей (рис. 2б та 2в), вигнутих стрижнів або дисперсного армування [5].

При використанні пластинкових анкерів для армування ніздрюватого бетону та проведення експериментально-теоретичних досліджень такого

анкерування, було зроблено висновки, про те, що форма пластинкового анкера має вплив на величину зусилля продавлювання у ніздрюватому бетоні, на напруження, які виникають у самому анкері та під ним в масиві бетону. Також було доведено, що гострі кути пластинкових анкерів погіршують їх роботу та в подальшому призводять до швидшого руйнування масиву ніздрюватого бетону. Як найбільш оптимальною формою пластинкового анкера зафіксована квадратна форма [3, 6].

В Україні питання анкерування стрижневої арматури в масиві важкого бетону висвітлено в українських нормах проектування – ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування», що ґрунтуються на європейських підходах до проектування залізобетонних конструкцій.

Алгоритм такого розрахунку використовує прямокутну епюру розподілу напружень зчеплення. Величина граничних напружень зчеплення f_{cd} у розрахунку є базовою величиною. Вказані напруження визначають за формулою:

$$f_{cd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (1)$$

де f_{ctd} – розрахунковий опір бетону на розтяг;

η_1 – коефіцієнт, який враховує умови зчеплення та положення стрижнів при бетонуванні;

η_2 – коефіцієнт, який враховує діаметр стрижнів.

Необхідна базова довжина анкерування визначається за формулою:

$$l_{b,rqd} = (d/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}), \quad (2)$$

де σ_{sd} – розрахункові напруження в стрижні в розрахунковому перерізі.

Щодо розрахункової довжини анкерування l_{bd} , то її необхідно розраховувати за формулою:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \quad (3)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – коефіцієнти, що залежать від умов анкерування;

$l_{b,rqd}$ – базова довжина анкерування;

$l_{b,min}$ – мінімальна довжина анкерування:

$$l_{b,min} \geq \max (0,6l_{b,rqd}; 10d; 100 \text{ мм} - \text{при стиску}) \\ \text{або } (0,3l_{b,rqd}; 10d; 100 \text{ мм} - \text{при розтягу}), \quad (4)$$

У нормах проектування певна увага приділена також і анкеруванню за допомогою перпендикулярно приварених коротких арматурних стрижнів та поданий алгоритм розрахунку такого виду анкерування. Але все ж таки стовідсотково використовувати дані рекомендації у випадку використання ніздрюватих бетонів не можна, адже даний вид бетону має свої особливості і тому розрахунок потребує відповідної корекції.

Висновки та рекомендації. Опрацьовуючи відомі методи анкерування стрижневої арматури, було зроблено висновки про те, що саме питання анкерування арматури у масиві ніздрюватих бетонів є недостатньо вивченим. Розглянуті методи, що описані вище, були частково досліджені науковцями. Для кращого розуміння цього питання слід і надалі продовжувати

дослідження у цьому напрямі задля досягнення мети: кращої та більш надійної роботи армування у масиві ніздрюватого бетону за рахунок її анкерування, використовуючи при цьому відомі і розробляючи нові методики.

1. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів, 2010. – 222 с.

Terminolohichnyi slovnyk-dovidnyk z budivnytstva ta arkhitektury / R.A. Shmyh, V.M. Boiarchuk, I.M. Dobrianskyi, V.M. Barabash; za zah. red. R.A. Shmyha. – Lviv, 2010. – 222 s.

2. Зчеплення арматури з бетоном. Анкерівка арматури [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-9/8-93265.html> – Назва титул. з екрану.

Zchepлення armatury z betonom. Ankerovka armatury [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://um.co.ua/8/8-9/8-93265.html> – Nazva tytul. z ekranu.

3. Верба В.Б. Анкерування сталеві арматури в безавтоклавному пінобетоні за рахунок зчеплення та пластинкових анкерів: дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2012. 195 с.

Verba V.B. Ankeruvannia stalevoi armatury v bezavtoklavnomu pinobetoni za rakhunok zchepлення ta plastynkovykh ankeriv: dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Lviv, 2012. 195 s.

4. Що таке анкерування арматури в бетоні? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://home.almedia.com.ua/shho-take-ankeruvannya-armaturi-v-betoni/> – Назва титул. з екрану.

Shcho take ankeruvannia armatury v betoni? [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://home.almedia.com.ua/shho-take-ankeruvannya-armaturi-v-betoni/> – Nazva tytul. z ekranu.

5. Анкерування арматури в бетоні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5286079/page:18/> – Назва титул. з екрану.

Ankeruvannia armatury v betoni [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://studfile.net/preview/5286079/page:18/> – Nazva tytul. z ekranu.

6. Гнучкі пластинкові анкери як засіб анкетування стрижнів в масиві ніздрюватого бетону. Фамуляк Ю.Є., Демчина Б.Г.: Збірник наукових праць НУВГП // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип.37 – Рівне: Вид-во НУВГП, 2019 – С. 231-239.

Hnuchki plastynkovi ankery yak zasib anketuvannia stryzhniv v masyvi nizdriuvatoho betonu. Famuliak Yu.Ie., Demchyna B.H.: Zbirnyk naukovykh prats NUVHP // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Vyp.37 – Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2019 – S. 231-239.