

МЕТАЛЕВА ЗВАРНА СІТКА ЯК ВИД НЕТРАДИЦІЙНОГО АРМУВАННЯ В ПРОЛІТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ З НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ

WELDED METAL MESH AS A TYPE OF UNCONVENTIONAL REINFORCEMENT IN SPAN ELEMENTS OF CELLULAR CONCRETE

Фамуляк Ю.Є., к.т.н., доцент, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

Демчина Б.Г., д.т.н., професор, (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>

Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

Demchyna B., doctor of technical sciences, professor (National University «Lviv Polytechnic», Lviv), <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>

Ніздрюваті бетони, які сьогодні користуються значною популярністю, завдяки простоті їх виготовлення та енергоощадності, належать до крихких матеріалів, які можуть зруйнуватись миттєво, і тому без додаткового армування їх неможливо використовувати як матеріал для пролітних конструкцій. Для армування таких конструкцій переважно використовується традиційна металева стрижнева арматура, міцність якої використовується лише на 10-20%. Використання нетрадиційного армування дозволяє більш повно використати запас міцності матеріалу такого армування.

The construction industry of today requires not only the maximum reduction in cost while ensuring the reliability of the buildings under construction, but special attention is paid to the energy efficiency of buildings. One of the ways to solve such problems is to use cheap, at the same time high-quality and easy-to-use materials. Cellular concrete can be confidently attributed to such materials. Domestic and foreign experience in the construction and operation of residential, civil buildings and structures has shown the effectiveness of the use of cellular concrete as enclosing and heat-insulating elements. According to its bearing properties, cellular concrete belongs to brittle concrete, and therefore without additional means (installation of elements that would perceive tensile forces) it is difficult to use it as a span structure, which is important in the construction industry. In the

structural elements of cellular concrete, which are used in the construction industry today, the traditional reinforcement with steel rod reinforcement is mainly used. It should be noted that this type of reinforcement with a sufficiently high strength, in structures made of cellular concrete, uses no more than 10-20% of its strength. Unconventional reinforcement allows to make fuller use of the safety margin of the material of such reinforcement and reduce the cost of the structure by reducing the cost of unconventional reinforcement compared to metal rod reinforcement. Not enough attention was paid to the study of span structures made of cellular concrete, and the issue of the use of unconventional reinforcement in such structures was practically not considered and therefore not studied to the end. The objective of our study is to substantiate the possibility of using unconventional reinforcement in the form of welded fine metal mesh in span structures made of cellular concrete, which would be an effective substitute for steel rod reinforcement. In order to study the possibility of using such reinforcement in span structural elements made of cellular concrete, experimental studies of experimental beam samples were conducted. Fine welded metal mesh was used as a working reinforcement in the prototypes. The analysis of experimental data showed that the use of unconventional reinforcement in span elements made of cellular concrete causes an increase in bearing capacity, a decrease in deformability and an increase in crack resistance under load. Summarizing, it can be stated that unconventional reinforcement in the form of fine metal mesh can be used as working reinforcement in span structural elements made of cellular concrete.

Ключові слова: ніздрюватий бетон, проліт, нетрадиційне армування, зварна металева сітка.

cellular concrete, span, unconventional reinforcement, welded metal mesh.

Вступ. Будівельна галузь сьогодення потребує не лише максимального здешевлення вартості із забезпеченням надійності споруджуваних будівель, але особлива увага приділяється енергоощадності будівель. Одним із шляхів вирішення таких задач є використання дешевих, одночасно якісних та простих у використанні матеріалів. До таких матеріалів можна із впевненістю віднести ніздрюваті бетони. Вітчизняний та зарубіжний досвід будівництва та експлуатації житлових, цивільних будинків та споруд показали ефективність використання ніздрюватих бетонів в якості огорожуючих та теплоізоляційних елементів.

Ніздрюваті бетони – це різновид штучних кам'яних матеріалів пористої структури. Такі бетони отримують в результаті затвердіння суміші з в'язучих, тонко-дисперсного кремнеземистого заповнювача, пороутворювача і води.

Щоб утворити пористу структуру в ніздрюватих бетонах користуються в основному двома способами: додаванням до водної суспензії змішаних матеріалів газоутворюючих добавок, чи шляхом змішування суспензії з піною. Матеріал, виготовлений за першим способом, носить назву газобетон, а за другим – пінобетон [1-4]. Роль в'язучого для приготування таких ніздрюватих бетонів звичайно виконує цемент.

За рахунок високих теплотехнічних властивостей досягається зниження експлуатаційних енергетичних витрат, підвищується комфорт житла. Використання ніздрюватих бетонних виробів у житловому будівництві дозволяє знизити вартість житла. Ніздрюваті бетони за своїми фізичними та технічними властивостями повною мірою відповідають вимогам раціонального використання енергоресурсів на обігрів, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівель та споруд.

З іншого боку, за своїми несучими властивостями ніздрюваті бетони відносяться до крихких бетонів, і тому без додаткових засобів (встановлення елементів, які б сприймали розтягуючі зусилля) його важко використовувати як пролітну конструкцію [5,6], що має важливе значення в будівельній індустрії. В конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів, які використовують в будівельній індустрії на сьогодні, переважно застосовують традиційне армування сталевую стрижневою арматурою. Необхідно відмітити, що такий вид армування з досить високою міцністю, в конструкціях з ніздрюватих бетонів, використовує не більше 10-20% його міцності. Нетрадиційне армування дозволяє більш повно використати запас міцності матеріалу такого армування та зменшити вартість конструкції за рахунок зниження вартості нетрадиційного армування порівняно з металевим стрижневим армуванням.

Аналіз останніх досліджень. З кожним днем все ширше і ширше застосовують вироби з піно- та газобетону у будівництві. Відповідаючи на запити сьогодення, науковці активно вивчають ніздрюваті бетони у своїх дослідженнях. Щодо сучасних наукових шкіл, які вивчають легкі ніздрюваті бетони в Україні, варто відзначити школи, сформовані в Одесі (під керівництвом В.А. Вознесенського, О.С. Шинкевича, В.І. Мартинова, В.М. Вирового, А.І. Костюка та ін.), Дніпропетровську (під керівництвом А.П. Приходька), Києві (П.В. Кривенко) та Львові (М.А. Саницький, Б.Г. Демчина).

Серед сучасних зарубіжних науковців, які займаються дослідженням пінобетону, можна виділити таких:

- ✓ польські: D. Walach, J. Kozicki, D. Ulanska, M. Krol, Z. Cherski;
- ✓ італійські: P. Bomonte, L. Lelliel, Pietro G. Gambarova, GianPaolo 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-No 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;
- ✓ американські: A. D. Cowell, E. P. Popov, V. V. Bertero, M. L. Tholen, D. Darwin, J. H. Weathersby.

Постановка мети і задач досліджень. Завданням нашого дослідження є обґрунтування можливості використання нетрадиційного армування у вигляді зварних дрібних металевих сіток в пролітних конструкціях з ніздрюватих бетонів, яке б було ефективним заміником сталевого стрижневого армування.

Методика досліджень. Для вивчення можливості застосування нетрадиційного армування в пролітних конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів були проведені експериментальні дослідження дослідних балкових зразків. Матеріалом пролітної конструкції був один з найбільш розповсюджених видів ніздрюватого бетону – газобетон. В ролі робочого армування в дослідних зразках було використано зварну дрібну металеву сітку. Газобетон, який використовувався для виготовлення дослідних зразків був неавтоклавного природнього твердіння.

Газобетонна суміш для дослідних зразків була виготовлена у ПП «Beto» (Львівська область) за її рецептами, одним замісом одразу на всі дослідні зразки. Всі дослідні зразки виготовляли у вигляді балок, з розрахунковим прогоном 1100 мм та поперечним перерізом прямокутної форми розміром 100x150(h) мм. Загальна довжина балкових зразків 1200 мм. Всього було виготовлено чотири балкових зразків. Для визначення фізико-механічних властивостей газобетону одночасно виконували ряд кубів з розміром ребра 150 мм та призм перерізом 150×150 мм та довжиною 600 мм.

Перший дослідний балковий зразок був виконаний з газобетону без армування для отримання базових значень. Другий балковий зразок армували смугою зварної металеві сітки, яку розміщували по низу балки на відстані 10 мм від нижньої грані зразка (рис. 1, 2). Третій балковий зразок армували зігнутою зварною сіткою u-подібного профілю, з відгинами на $\frac{1}{2}$ висоту балкового зразка і четвертий зразок – також зігнутою зварною сіткою u-подібного профілю, але вже з відгинами на всю висоту балки з дотриманням захисного шару газобетону 10 мм.

Перед початком експериментальних досліджень балкових зразків на згин, визначали фізико-механічні властивості матеріалів: газобетону та нетрадиційного робочого армування (зварної металеві сітки).

Для дослідження фізико-механічних властивостей газобетону використовували лабораторний прес П-10, а для визначення характеристик

зразків нетрадиційного армування – розривну машину Р-10 (рис. 3). В результаті досліджень було отримано експериментальні значення, які характеризували використовувані матеріали, а саме:

- зварна сітка: діаметр дротин – 2 мм, розмір вічок сітки – 10×10 мм, розривне зусилля – 1230 Н;

- газобетон: кубикова міцність – 0,713 МПа, призмova міцність – 0,59 МПа, початковий модуль пружності – 1,99 ГПа, густина – 611 кг/м³.

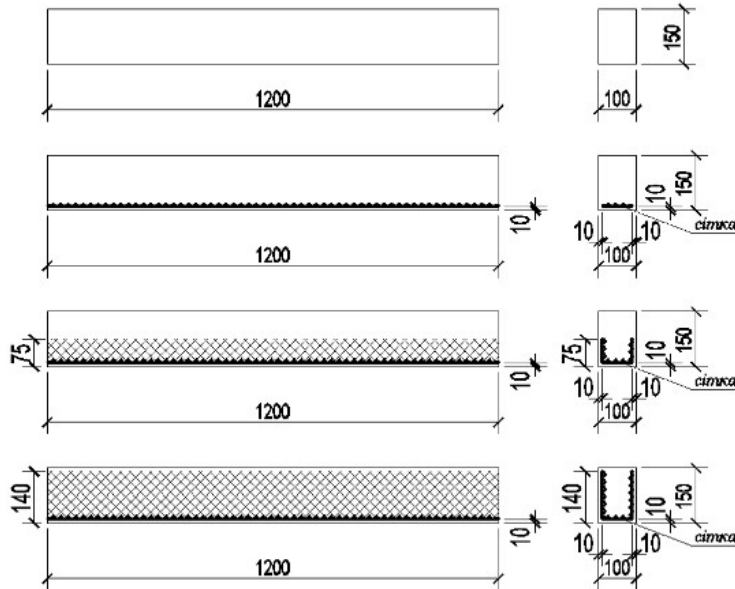


Рис. 1. Схеми армування дослідних балкових зразків



Рис. 2. Форми для виготовлення дослідних балкових зразків із вкладеним нетрадиційним армуванням

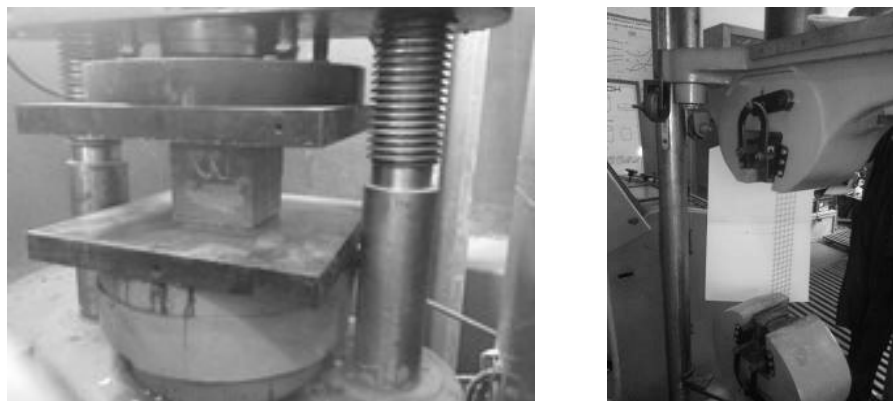


Рис. 3. Визначення фізико-механічних властивостей матеріалів

Випробування всіх дослідних зразків проводилось на згин за подібною схемою. Завантаження проводили двома зосередженими силами, прикладеними до верхньої грані зразка (рис. 4). Балкові зразки спирались на дві опори: рухому та нерухому. Навантаження створювали за допомогою гідравлічного домкрата. Прогини та деформації балкових зразків фіксували за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 чи 0,001 мм.



Рис. 4. Випробування дослідних зразків

Результати досліджень. Очевидно, що ніздрюваті бетони є різновидом бетону. За умови армування такого бетону, подібно до залізобетону, при дії зовнішніх навантажень на конструктивний елемент відслідковуються схожі процеси. Хоча, завдяки особливостям ніздрюватого бетону, можна побачити відмінності на всіх етапах роботи конструкцій з таких бетонів. Армування, яке застосовують, відіграє суттєвий вплив на напружено-деформований стан ніздрюватого бетону.

В процесі проведення експериментальних досліджень балкових зразків певні особливості в роботі таких елементів проявились вже на початкових етапах завантаження. У випадку відсутності армування, у зв'язку із досить значною крихкістю ніздрюватого бетону, стадія роботи з тріщинами була практично відсутня або тривала дуже незначний час. Процес тріщиноутворення в дослідних зразках без армування проходив досить швидко або був практично відсутній взагалі, тобто балкові зразки пружно працювали до певного рівня навантаження. Далі виникали незначні нормальні тріщини за довжиною $((1/10...1/20)h)$ практично по всій довжині зразка, одна з яких переростала в домінуючу, яка перетинала від 80% до 100% перерізу балкового зразка, що спричиняло розвиток значних деформацій без збільшення зовнішнього навантаження і дослідні зразки переходили в завершальну стадію – стадію руйнування.

В дослідних зразках з нетрадиційним армуванням у вигляді дрібної зварної металеві сітки, процес руйнування змінювався. Тріщиноутворення проходило більш повільно і картина тріщин була дещо інакшою. У другому дослідному зразку (армування смугою металеві зварної сітки) на початкових стадіях завантаження, після появи багатьох дрібних нормальних тріщин за всією довжиною зразка біля нижньої грані перерізу, з'являлась

горизонтальна тріщина в нижній зоні перерізу балкового зразка (рис. 5). Дана тріщина виникла в площині розміщення металевої сітки, в результаті зрізу масиву ніздрюватого бетону. В процесі розкриття горизонтальної тріщини, дрібні нормальні тріщини закривались або не розвивались, а вище горизонтальної тріщини виникала нова критична тріщина, яка перетворювалась у домінуючу та критичну на завершальних етапах завантаження. У випадку армування балкових зразків з ніздрюватого бетону нетрадиційним армуванням у вигляді зігнутої зварної сітки u-подібного профілю, на завершальних етапах завантаження, з'являлись ряд похилих тріщин і руйнування відбувалось за похилою смугою, горизонтальні тріщини при цьому не утворювались або були незначними (рис. 6).



Рис. 5. Горизонтальна тріщина у дослідному зразку



Рис. 6. Похила смуга тріщин у дослідному зразку

Прогини при цьому зменшувались, а несуча здатність балкових зразків збільшувалась. Це можна відслідкувати на рис. 7, де показані графіки прогинів балкових зразків з нетрадиційним армуванням у вигляді зварної металевої сітки.

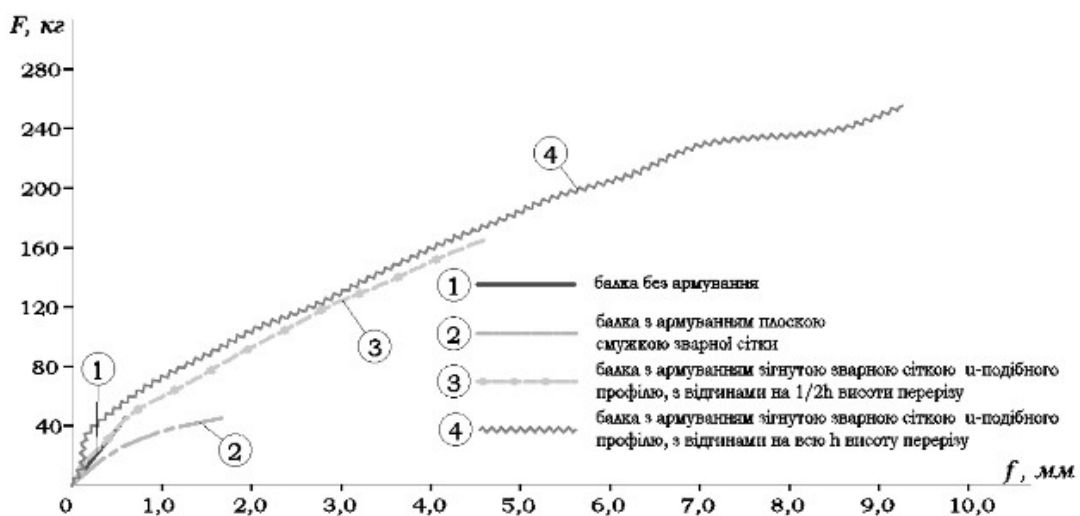


Рис. 7. Залежність прогинів балкових зразків від прикладеного зовнішнього навантаження

Аналіз експериментальних даних показав, що використання нетрадиційного армування у вигляді дрібної зварної металеві сітки в пролітних елементах з ніздрюватих бетонів спричиняє збільшення несучої здатності, зменшення деформативності та збільшення тріщиностійкості під навантаженням.

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень однорідних дослідних зразків з ніздрюватих бетонів (газобетону) з нетрадиційним армуванням у вигляді зварної металеві сітки та їх аналізу можна зробити наступні висновки:

1. На початкових стадіях завантаження однорідні елементи з ніздрюватих бетонів (газобетону) з таким армуванням і без нього працюють практично однаково.

2. Дослідне руйнуюче зусилля на 5...200 % вище для зразків з запропонованим армуванням, ніж у аналогічних зразках без нього.

3. Наявність армування у вигляді зварної сітки в газобетонних елементах уповільнює процес руйнування. Саме руйнування проходить не миттєво, а з певним запізненням.

4. Застосування нетрадиційного армування у вигляді зварної сітки в однорідних елементах з ніздрюватих бетонів суттєво зменшує прогини дослідних зразків.

5. Найбільш доцільним із запропонованих варіантів армування є використання зігнутої зварної сітки у вигляді u-подібного профілю з відгинами на всю висоту газобетонної балки, з врахуванням захисного шару ніздрюватого бетону.

Узагальнюючи наведені вище висновки можна констатувати, що нетрадиційне армування у вигляді зварної дрібної металеві сітки може використовуватись в ролі робочої арматури в однорідних пролітних конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів [7].

1. Ніздрюваті бетони: вчора, сьогодні, завтра [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830 - Назва з титул, екрану.

Nizdriuvati betony: vchora, sohodni, zavtra [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830 - Nazva z tytul, ekranu

2. Y.H. Mugahed Amran, Nima Farzadnia, A.A. Abang Ali. Properties and applications of foamed concrete; a review. Construction and Building Materials. Volume 101, Part 1, 30 Desember 2015. P. 990-1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>.

3. Опекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. Київ: Академія будівництва України, 2006, 85 с.

Opiekunov V. V. Porysti kompozytsiini materialy ta yikh vykorystannia u budivnytstvi. Kyiv: Akademiia budivnytstva Ukrainy, 2006, 85 s.

4. Famulyak Yu., Burchenya S., Mazurak T. et all. Zastosowanie niekonwencjonalnego zbrojenia w elementach piano- i gazobetonowych. 61 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, 20-25 września 2015, Bydgoszcz-Krynica: Wybrane zagadnienia konstrukcji i materialow budowlanych oraz

geotechniki. – Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2015. S. 45-53.

5. Famulyak Yu., Demchyna B., Sobczak-Piąstka Ju. The influence of size and form of plate anchors on their work at anchoring of reinforcement in the array of cellular concrete / AIP Conference Proceedings 2077, 020017 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5091878>.

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

Famulyak Yu., Demchyna B. Hnuchki plastynkovi ankery yak zasib ankeruvannia stryzhniv v masyvi nizdriuvatoho betonu / Zb. nauk. prats NUVHP //Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Vyr. 37 – Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2019. – S. 231 – 239.

7. Патент України на корисну модель, u2016 01245 МПК E04C 2/06 (2006.01) МПК E04C 5/02 (2006.01). Пролітний газобетонний елемент з армуванням зварною сіткою / Фамуляк Ю.Є.; заявн. і патентовласник Львівський нац. аграр. ун-т – №109050, заявл. 12.02. 2016; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 15.

Patent Ukrainy na korysnu model, u2016 01245 MPK E04S 2/06 (2006.01) MPK E04S 5/02 (2006.01). Prolitnyi hazobetonnyi element z armuvanniam zvarnoiu sitkoiu / Famulyak Yu.Ye.; zaiavn. i patentovlasnyk Lvivskiyi nats. ahrar. un-t – №109050, zaiavl. 12.02. 2016; opubl. 10.08.2016. Biul. № 15.