

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ПРОЛІТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З НІЗДРІОВАТИХ БЕТОНІВ, ЯКІ МІСТЯТЬ ТОРЦЕВІ УПОРИ ТА АРМОВАНІ НЕТРАДИЦІЙНИМ АРМУВАННЯМ**

**BEARING CAPACITY AND DEFORMATIVITY OF SPAN ELEMENTS MADE OF CELLULAR CONCRETE CONTAINING BUTT-END STOPS AND REINFORCED BY UNCONVENTIONAL REINFORCEMENT**

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

**Бурчення С. П., к.т.н., в.о. доцента,** (Львівський національний аграрний університет, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0002-6903-1134>

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

**Burchenya S., candidate of technical sciences, acting associate professor,** (Lviv National Agrarian University, Dubliany), <https://orcid.org/0000-0002-6903-1134>

У статті наведено результати експериментальних досліджень та поданий аналіз роботи під навантаженням згинаних балкових зразків з пінобетону, що армовані гнучким армуванням органічного походження з торцевими упорами і без них. Подані рекомендації щодо застосування торцевих упорів в подібних пролітних конструкціях.

The article discusses the results of experimental research and an analysis of the work under a load of bending beam samples of foam concrete, reinforced with flexible reinforcement of organic origin with butt-end stops and without them. One has provided recommendations for the use of butt-end stops in such span structures.

Today we can characterize the construction industry by the use of materials that allow combating heat loss to the environment effectively. This rule is actively applied in all types of construction - not only in residential construction but also in the construction of industrial buildings and structures. Cellular concrete occupies a significant niche among the materials used for the installation of enclosing structures. Foam and aerated concrete have become the most popular among cellular concrete. One should emphasize such main disadvantages of aerated concrete as their fragility and not too high mechanical strength, which limits the use of this material. The low mechanical strength of cellular concrete requires the installation of a reinforcing core in the structural elements of cellular concrete, which would absorb external forces. On the other hand, due to the low mechanical strength

of such concrete, there is a problem of reliable anchorage of the working reinforcement in cellular concrete. One of the options for the anchorage of reinforcing bars in fragile, not very strong environments may be the installation at the ends of the rods at the end faces of butt-end stop structures.

Six experimental samples were made with butt-end stops of different types and without them to study the problem of the influence of butt-end stops on the bearing capacity of foam concrete beam samples. Nylon ropes were used as working longitudinal reinforcement. The butt-end stops were made of 10 mm thick waterproof plywood and 75×50×5 mm metal angle trim. Plywood butt-end stops were made flat and tridimensional of half and full height of the cross section of the experimental foam concrete beam sample.

One performed testing of research samples on bending after 28 days from the start of concreting. The research of foam concrete beam samples was performed on the experimental stand in the laboratory of building materials of Lviv National Agrarian University. The samples were loaded with two concentrated forces applied at a distance of 300 mm from the support of the test sample on its upper face.

The analysis of experimental data showed that the presence of butt-end stops in foam concrete beams with unconventional flexible reinforcement causes an increase in the bearing capacity of foam concrete beams. The increase in the bearing capacity of the beams is only up to a certain limit of the height of the butt-end stops, which is approximately equal to half the height of the beam. Further increase in the height of the butt-end stop does not cause the expected increase in bearing capacity and decrease in deflections.

Therefore, the installation of butt-end stops in foam concrete elements with unconventional reinforcement reduces the deflections of the latter under load and increases their bearing capacity.

**Ключові слова:** несуча здатність, деформативність, нетрадиційна арматура, ніздрюватий бетон, торцевий упор.

bearing capacity, deformability, unconventional reinforcement, cellular concrete, butt-end stop.

**Вступ.** Будівельна сфера сьогодення характерна застосуванням матеріалів, що дозволяють ефективно боротись з тепловтратами в навколишнє середовище. Дане правило активно застосовується у всіх видах будівництва – не лише у житловому будівництві але й при спорудженні виробничих та інших типів будівель та споруд. Значну нішу серед матеріалів, які використовують при цьому для влаштування огорожуючих конструкцій займають ніздрюваті бетони. Вдалий виробничий досвід та позитивні результати, отримані під час експериментальних досліджень, дозволили

такий тип бетону широко використовувати у будівельній сфері України, Польщі, Німеччини та інших зарубіжних країн [1-3, 10].

Найбільш популярними серед ніздрюватих бетонів у будівництві є піно- та газобетони. Вироби та матеріали з ніздрюватих бетонів використовують для мурування зовнішніх та внутрішніх стін, перегородок, з них влаштовують теплоізоляції покрівель, горищ, підлог, заповнюють порожнечі, виконують звукоізоляцію залізобетонного перекриття [4, 5]. Серед переваг виробів з піно- та газобетонів потрібно відмітити їх легкість, достатньо низьку вартість, добрі тепло- та звукоізоляційні властивості, вони екологічно безпечні; окрім того, їх можна легко додатково механічно обробляти, тобто: пиляти, свердлити, фрезерувати тощо.

Серед основних недоліків ніздрюватих бетонів необхідно відмітити їх крихкість і не надто високу механічну міцність, що обмежує використання такого матеріалу. Тому без додаткових, як традиційних так і не традиційних засобів [6, 7], які би сприймали розтягувальні зусилля, їх важко використовувати як пролітні згинані конструкції. Те саме можна сказати і про центрально чи позацентрово стиснуті конструктивні елементи – вони вимагають встановлення засобів, які би сприймали стискаючі зусилля. Як було сказано вище, низька механічна міцність ніздрюватих бетонів вимагає встановлення у конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів арматурного осереддя, яке б сприймало такі зусилля. З іншого боку, через низьку механічну міцність такого бетону виникає проблема надійного анкерування робочого армування в масиві ніздрюватого бетону [8, 9]. Одним з варіантів анкерування арматурних стрижнів в крихких, не надто міцних середовищах може бути встановлення на кінцях стрижня на торцях конструкції торцевих упорів, який за рахунок збільшення площі зминання під ним дозволяє, по-перше, виключити висмикування арматурного стрижня з масиву ніздрюватого бетону, по-друге, захищає торець конструктивного елемента від механічних впливів, що може призвести до руйнування конструкції.

**Постановка мети і задач досліджень.** Метою дослідження є проведення експериментальних досліджень несучої здатності пінобетонних балок неавтоклавного твердіння з гнучким нетрадиційним армуванням з торцевими упорами і без них; дослідним шляхом встановити вплив торцевих упорів на несучу здатність пролітних пінобетонних елементів; експериментально дослідити особливості роботи і характер руйнування пінобетонних балок з торцевими упорами і без них; розробити рекомендації і пропозиції щодо застосування торцевих упорів в пролітних пінобетонних елементах і їх впливу на несучу здатність.

**Методика досліджень.** Для вивчення проблеми впливу торцевих упорів на несучу здатність пінобетонних балкових зразків, при їх виготовленні використовувався пінобетон, виготовлений за рецептами науково-виробничого підприємства "Бетонгруп" (м. Львів).

Як робоче поздовжнє армування було використано капронові мотузки. Для вивчення впливу торцевих упорів на несучу здатність пінобетонних балок останні виконувалися з різними типами торцевих упорів і без них.

Перед початком експериментальних досліджень балкових зразків на згин, визначалися фізико-механічні властивості матеріалів: пінобетону та капронової мотузки, відповідно до нормативних рекомендацій. За результатами досліджень були отримані наступні характеристики використаних матеріалів:

- капронова мотузка: діаметр – 3 мм, розривне зусилля – 824 Н, розрахунковий опір мотузки на розтяг – 11,7 МПа;

- пінобетон: кубикова міцність – 1,43 МПа, призмova міцність – 1,19 МПа, міцність на розтяг – 0,28 МПа, початковий модуль пружності –  $3,22 \times 10^{-3}$  МПа, густина – 850 кг/м<sup>3</sup>.

Загальна кількість дослідних балкових зразків, які були виготовлені та поділені на 2 серії, становила 6 шт. Розрахунковий проліт зразків складав 1100 мм. Загальна довжина зразків – 1200 мм. Поперечний переріз всіх дослідних зразків – 100 × 170(h) мм.

Перша серія дослідних зразків складалася з трьох пінобетонних балок неавтоклавного твердіння (рис. 1). Перша пінобетонна балка була армована двома капроновими мотузками, які розміщувалися в нижній зоні балки на відстані 30 мм від нижньої грані. Друга і третя балки містили плоскі торцеві упори виготовлені з 10 мм фанери. Розміри пластин складали 90 × 90 мм та 90 × 170 мм відповідно для другої та третьої балок. Поздовжнє армування виконувалось капроновими мотузками, які розміщувались, як і в першій балці, тобто на відстані 30 мм від нижньої грані балки і додатково встановлювалась така ж третя мотузка посередині, на 20 мм нижче верхньої грані торцевої пластини. Ця мотузка виконувала фіксуючу роль.

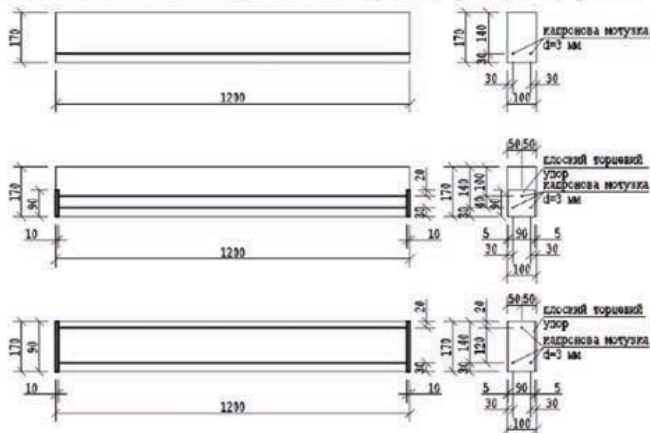


Рис.1. Схеми армування дослідних балок серії I

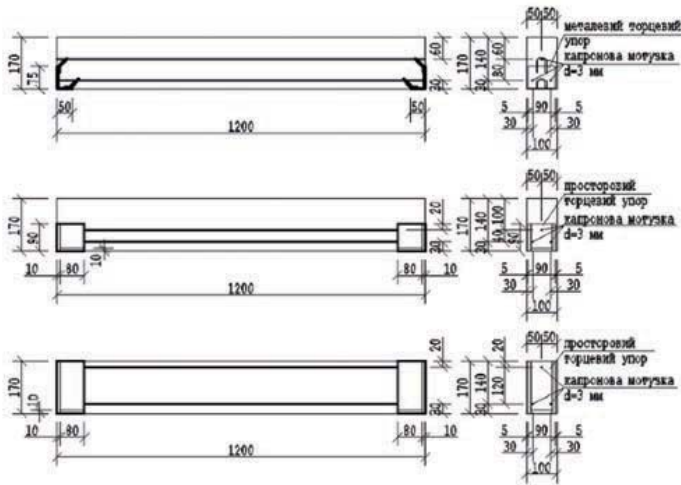


Рис.2. Схеми армування дослідних балок серії II

Друга серія дослідних зразків складалася також з 3 пінобетонних балок неавтоклавного твердіння (рис. 2). На відміну від першої серії дослідні пінобетонні балки містили торцеві упори виконані з обрізків металевих кутника 75×50×5 мм та з просторових упорів виконаних з 10 мм фанери. Для кращої фіксації металевих торцевих упорів в масиві пінобетону до кутників приварювали металеві петлі з дроту діаметром 6 мм, які були нахилені під кутом 45° до площини пера кутника в його середину. Просторові торцеві упори виконувались з фанерних пластин товщиною 10 мм, які збивались в просторову конструкцію у вигляді кутника з ребрами розвернутими всередину. Висота просторових упорів становила 90 та 170 мм, відповідно для пінобетонних балок № 5 та № 6.

Поздовжнє армування пінобетонних балок серії II виконувалось також двома капроновими мотузками діаметром 3 мм у нижній зоні балки на відстані 30 мм від нижньої грані балки та ще однією капроною мотузкою розміщеною посередині балки на віддалі 20 мм від верхньої грані торцевих упорів.

Процес виготовлення пінобетонних дослідних зразків можна поділити на два етапи: перший – підготовка торцевих упорів; другий – бетонування дослідних зразків. Для армування використовувалась мотузка без видимих ушкоджень за довжиною вибраного зразка. Натяг капронових мотузок виконувався на торцеві частини форми, до яких вони закріплювались до початку бетонування, а після розпалублення дослідних зразків закріплювались на торцевих упорах.

Випробування дослідних зразків на згин виконувалось через 28 діб від початку бетонування. Дослідження пінобетонних балкових зразків виконувалось на дослідному стенді в лабораторії будівельних матеріалів ЛНАУ. Завантаження зразків проводилось двома зосередженими силами,

прикладеними на відстані 300 мм від опори дослідного зразка на верхній його грані (рис. 3). Балки опиралися на дві опори: рухому і нерухому. Навантаження створювалось за допомогою попередньо зважених цеглин, які вкладались одна на одну.

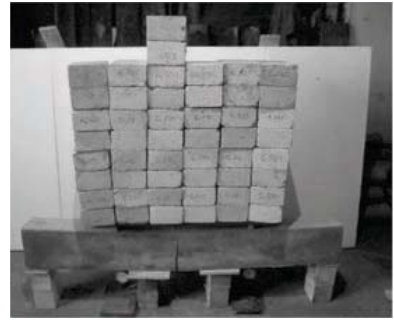


Рис. 3. Розташування балки на дослідному стенді та завантаження пінобетонних балкових зразків цеглинами

Прогини балок вимірювались за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Індикатори встановлювались посередині прольоту дослідного зразка та на осі прикладання зовнішнього навантаження (зосередженої сили) (рис. 3). Індикатори кріпили на незалежні штативи, що дозволяло виключити зовнішні впливи на покази індикаторів в процесі завантаження.

**Результати досліджень.** Так як пінобетонний елемент є одним з різновидів бетонних, а якщо пінобетон армований то і залізобетонних елементів, то в їх роботі можна відслідкувати подібні процеси, які відбуваються в останніх. Разом з тим, пінобетон накладає свої особливості на етапи роботи таких конструкцій. Суттєву роль відіграє армування пінобетонних елементів, яке впливає на напружено-деформований стан пінобетону, незалежно від типу поздовжньої арматури на всій довжині конструктивних елементів.

Проводячи дослідження пінобетонних балкових зразків вже з самого початку проявились свої особливості роботи таких елементів. Зокрема стадія роботи з тріщинами в таких елементах відсутня або тривалість її є незначною. Так як пінобетон досить крихкий матеріал, то і розрахунковий опір на розтяг є незначним. Тому процес тріщиноутворення в пінобетонних балкових зразках тривав не довгий період або майже миттєво, тобто балкові зразки пружно працювали до певного рівня навантаження, далі виникали невеликі за довжиною  $((1/10-1/20)h)$  нормальні тріщини практично по всій довжині пінобетонної балки, після чого утворювалась домінуюча тріщина, яка перетинала від 80 до 100% висоти балкового зразка, що спричиняло розвиток значних деформацій і елементи переходили в завершальну стадію –

стадію руйнування. Разом з тим на загальну роботу пінобетонних балок спричиняв вплив і такий фактор, як наявність торцевих упорів. Результати отриманих експериментальних прогинів подано на рисунку 4 та зведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Несуча здатність та деформативність дослідних зразків

Балка	Несуча здатність та прогини на стадії експлуатації				F <sub>u</sub> , кг
	при 0,4F <sub>u</sub>		при 0,7F <sub>u</sub>		
	F, кг	f, мм	F, кг	f, мм	
№1	32,1	0,45	56,1	0,80	80,2
№2	42,4	0,54	74,1	0,88	105,9
№3	35,2	0,46	62,4	0,79	89,1
№4	37,0	0,65	64,8	0,96	92,6
№5	43,4	0,67	76,0	0,86	108,6
№6	34,3	0,76	60,1	1,04	85,8

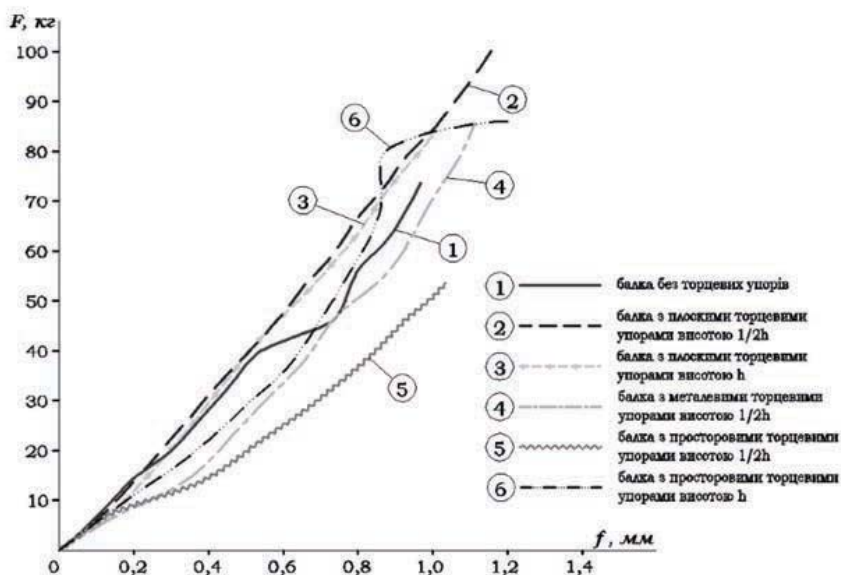


Рис. 4. Залежність прогинів балкових елементів від наявності різного типу торцевих упорів

На початкових стадіях завантаження пінобетонних балкових зразків графіки прогинів були прямолінійними. При утворенні перших незначних нормальних тріщин, з'являється відхилення від прямої лінії і починається проходити приріст прогинів, який значно випереджує приріст зовнішнього навантаження.



В результаті, графіки прогинів все більше викривляються, що пов'язано із зменшенням жорсткості перерізу балки. Таку залежність можна побачити в усіх дослідних зразках.

В процесі дослідження була відслідкована цікава залежність несучої здатності дослідних пінобетонних балок від наявних торцевих упорів (рис. 5). Як видно з графіків встановлення торцевих упорів підвищує несучу здатність пінобетонних балок армованих капроновими мотузками за умови збільшення висоти упора лише до певної межі. Подальше збільшення висоти торцевих упорів очікуваного приросту несучої здатності не спричиняє. Отже, доцільним є встановлення торцевих упорів висотою  $1/2h$  з незначним відхиленням в одну або іншу сторону. Використання в ролі торцевих упорів масивних металевих упорів (балка № 4) приросту несучої здатності та деформативності не спричиняє.

Цей же висновок підтверджують і графіки несучої здатності експериментальних балок з торцевими упорами і без них на різних стадіях завантаження (рис. 6). Як видно з графіків, балки з найбільш високою несучою здатністю – це балки з торцевими упорами висотою  $1/2h$ , незалежно чи це плоский чи просторовий торцевий упор.

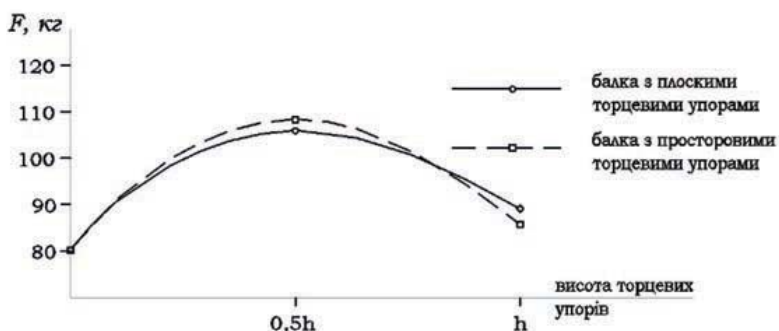


Рис. 5. Залежність несучої здатності балкових елементів від висоти та форми торцевих упорів

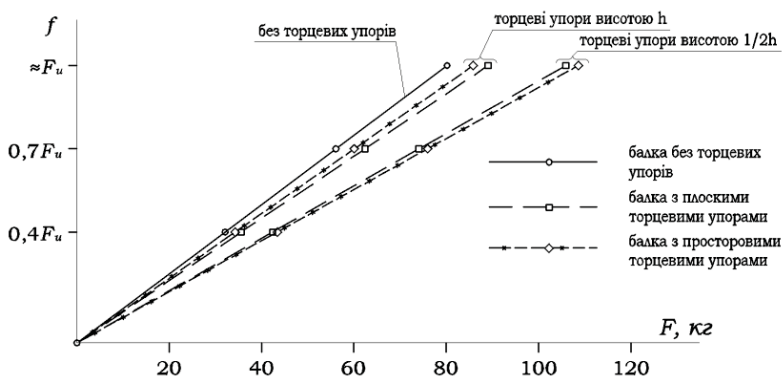


Рис. 6. Несуча здатність експериментальних балок з торцевими упорами і без них



Аналіз експериментальних даних показав, що наявність торцевих упорів в пінобетонних балках з нетрадиційним гнучким армуванням спричиняє підвищення несучої здатності пінобетонних балок. Збільшення несучої здатності балок проходить лише до певної межі висоти торцевих упорів, що приблизно дорівнює половині висоти балки. Подальше збільшення висоти торцевого упору очікуваного приросту несучої здатності та зменшення прогинів не спричиняє.

Отже, встановлення торцевих упорів в пінобетонних елементах з нетрадиційним армуванням зменшує прогини останніх під навантаженням та збільшує їх несучу здатність.

**Висновки.** На основі проведених експериментальних досліджень пінобетонних балок з нетрадиційним армуванням з торцевими упорами і без них та їх аналізу можна зробити наступні висновки:

1. На початкових стадіях завантаження пінобетонні елементи з торцевими упорами і без них працюють практично однаково.

2. Дослідне руйнуюче зусилля на 10...15% вище для пінобетонних балок з торцевими упорами, ніж у аналогічних балках без них.

3. Наявність нетрадиційного гнучкого армування та торцевих упорів в пінобетонних елементах призупиняє процес руйнування останніх. Руйнування проходить не миттєво, а з деяким запізненням.

4. Висоту торцевих упорів в пінобетонних пролітних елементах з нетрадиційним гнучким армуванням доцільно приймати в межах половини висоти балкового елемента.

5. Використання масивних металевих торцевих упорів та достатньо простих у виготовленні дерев'яних, не спричиняє суттєвої відмінності у роботі пінобетонних балок.

6. Заміна плоских торцевих упорів на просторові не суттєво підвищує несучу здатність та деформативність пінобетонних балок з нетрадиційним гнучким армуванням.

1. Ніздрюваті бетони: вчора, сьогодні, завтра [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://eco-ua.org/index.php?d\\_id=5&item=articles&sub=4830](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](http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830) - Nazva z tytul, ekranu.

2. Бабич Е. М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. Київ: Выща школа, 1988. 207 с.

Babych E. M. Konstruktsyy yz lehkykh betonov na porystykh zapolnytelakh. Kyiv: Vyshcha shkola, 1988. 207 с.

3. Исследование ячеистых бетонов и конструкций: сборник науч. тр./гл. ред. Серых Р. Л.; ред. Муромский К. П. Москва: НИИЖБ, 1989. 111 с.

Yssledovanye yacheystykh betonov y konstruktsii: sbornyk nauch. tr./hl. red. Serykh R. L.; red. Muromskiy K. P. Moskva: NYYZhB, 1989. 111 с.

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

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

5. Паплавскис Я., Новикс Ю. Теплотехнические свойства стен из ячеистого бетона. Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. Сборник науч. трудов. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. Вып. 2. С. 193-196.

Paplavskys Ya., Novyks Yu. Teplotekhnicheskiye svoistva sten yz yacheystoho betona. Teoriya u praktyka proyzvodstva u pryumeneniya yacheystoho betona v stroytelstve. Sbornyk nauch. trudov. Dnepropetrovsk: PHASA, 2005. Выр. 2. S. 193-196.

6. 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.

7. Famulyak Yu., Sobczak-Piąstka Ju. Badania doświadczalne zginanych belek wykonanych z betonów lekkich zbrojonych siatką spawaną. 62 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, 11-16 września 2016, Bydgoszcz-Krynica: Czasopiśmo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architek-tury, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. Kwartalnik tom XXXIII, zeszyt 63 (nr 1/1/2016), styczeń-marzec, Rzeszów, 2016. S. 405-414.

8. Анкерування сталеві арматури в безавтоклавному пінобетоні за рахунок зчеплення та пластинкових анкерів: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 [Текст] / В.Б. Верба; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів., 2012. – 20 с.

Ankeruvannia stalevoi armatury v bezavtoklavnomu pinobetonі za rakhunok zchepлення ta plastynkovykh ankeriv: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 [Tekst] / V.B. Verba; Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika». – Lviv., 2012. – 20 s.

9. 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>.

10. Y.H. Mughahed 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>.