

ВПЛИВ ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ ПІСКУ НА МІЦНІСТЬ НЕАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ

INFLUENCE OF GRAIN COMPOSITION SAND ON THE STRENGTH OF NON-AUTOCLAVED FOAM 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>; **Буханец Д.**, к.т.н., доцент, (Університет економіки в Бидгощі, Польща), <https://orcid.org/0000-0002-2777-8272>

Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Environmental University, Dublyany),; **Demchyna B.**, doctor of technical sciences, professor (National University «Lviv Polytechnic», Lviv), **Buchaniec D.**, candidate of technical sciences, associate professor, (WSG University in Bydgoszcz),

Бетони на пористих заповнювачах, а також піно- та газобетони як найбільш поширені представники ніздрюватого бетону надають конструкціям специфічних властивостей і визначають оптимальні сфери їх застосування. Суттєвої економії можна досягнути за рахунок зміни зернового складу дрібного заповнювача (піску), що впливає на міцнісні характеристики неавтоклавного пінобетону при використанні одних і тих же вихідних матеріалів.

The use of concrete with porous aggregates and non-autoclaved foam concrete gives structures specific properties and determines the rational areas of their application. This leads to a reduction in the weight of such structures, thereby reducing the load on the foundations of buildings or structures. On the other hand, the use of porous artificial aggregates contributes to solving environmental problems. Every day, a significant amount of waste accumulates in the country, requiring huge areas for storage. Recycling even a portion of this waste to produce porous aggregate has a positive impact on environmental protection and reduces the area occupied by waste storage. Finally, the use of lightweight or cellular concrete in building envelopes can reduce heat loss in heated buildings by 20...50%, which means energy savings of 10...25% for heating the entire building.

The economic advantages of structures made of lightweight or cellular concrete are also determined by its specific properties, which do not directly affect its cost, but are taken into account when choosing the field of application. These properties include higher fire and frost resistance, and better thermal insulation properties. In general, the economic feasibility of developing the production and use of lightweight concrete structures in construction is assessed by several indicators: reducing the weight and metal consumption of buildings and structures, reducing transportation costs, etc. However, the main complex indicator is the reduced costs, which are initially influenced by the cost of fine aggregates, the availability of a raw material base for their production and construction industry enterprises, the types and nature of the structures, as well as the type and volume of construction.

Significant economic advantages can be obtained when using small aggregates with a changed grain composition in foam concrete elements. When using the same starting materials, by changing the grain composition of the fine aggregate, it is possible to obtain better strength characteristics of the foam concrete itself, which is important in the manufacture of span structures, and therefore it is possible to save on cement and reinforcement in the range of 5...10% of cement and about 5% of reinforcement.

Ключові слова: пінобетон, дрібний заповнювач, пісок, зерновий склад, міцність.

foam concrete, fine aggregate, sand, grain composition, strength.

Вступ. Виробництво різноманітних бетонних сумішей є важливим елементом будівельної індустрії. Бетон є типовим прикладом композиційного матеріалу, який отримують при твердінні раціонально підібраної суміші в'язучої речовини, заповнювачів, води та добавок. Такий штучний матеріал відрізняється складністю структури та широкою гамою властивостей.

Найбільш важливим фактором доцільності прийняття різноманітних інженерних вирішень є питання енергозбереження, які завжди тісно пов'язані з питаннями економіки, екології, конкурентноспроможності продукції, збереженням власних природних ресурсів та забезпеченням життєдіяльності майбутніх поколінь держави.

Зростання цін на всі види енергоносіїв призводить до зростання витрат на будівництво та експлуатацію споруд. Виникає потреба в зниженні енерговитрат як у виробництві будівельних матеріалів, так і при експлуатації споруд. дане питання буде особливо актуальним в Україні в післявоєнний період. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є істотне (в деяких країнах до 3 разів) підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій нових і існуючих споруд, що може бути досягнуте, наприклад, за рахунок використання легких бетонів, в тому числі ніздрюватих.

Ніздрюватий бетон – це штучний пористий матеріал, структура якого характеризується наявністю рівномірно розподілених сферичних пор діаметром до 2 мм, заповнених повітрям або газом. Від величини пор та кількості їх в одиниці об'єму залежать основні властивості ніздрюватого бетону: середня густина, міцність, теплопровідність. Об'єм пор може досягати 85 % загального об'єму ніздрюватого бетону [2, 5, 6].

Порівняння різних показників огорожувальних конструкцій свідчить, що лідером за техніко-економічними показниками є ніздрюватий бетон, різновиди якого представлені газо- та пінобетоном. Необхідно відмітити також і те, що 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.

Тому вивчення зміни фізико-механічних властивостей, а саме міцності ніздрюватих бетонів, в нашому випадку неавтоклавно пінобетону, у конструктивних елементах за рахунок зміни зернового складу дрібного наповнювача – піску, дозволить більш широко використовувати такий матеріал у різноманітних будівельних конструкціях з достатньо задовільними теплотехнічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень. Активне вивчення конструкційних якостей ніздрюватих бетонів, пінобетону зокрема, проводилося з середини минулого століття цілим рядом вітчизняних та зарубіжних науковців. Серед сучасних українських науковців, які долучаються до дослідження ніздрюватих бетонів, можна віднести: Вознесенського В. А., Шинкевича О. С., Мартинова В. І., Шмуклера В. С., Бабича Є. М., Приходька А. П., Кривенка П. В., Саницького М. А., Демчину Б. Г. та ін., які створили наукові школи з центрів у Києві, Одесі, Рівному, Львові, Дніпрі [3-4]. Серед зарубіжних вчених доцільно відмітити наукові школи Польщі (D. Walach, J. Kozicki, D. Ulanska, M. Krol, Z. Cherski), Італії (P. Bomonte, L. Lelliel, Pietro G. Gambarova, Gian Paolo Rosati, G. Manfredi, M. Pecce), Бельгії (L. Vandewalle, F. Mortelmans), Кореї (Oan Chul Choi, Seung Yul Yang, W. S. Lee, Lan Chung, Jang-Ho Jay Kim, Seong-Tae Yi), Канади (David W. Mitchell, H. Marzouk, A. Hassan, K. Hossain, M. Lachemi), Китаю (Shi Zhifei, Cui Chang, Zhou Limin, Congqi Fang), Швеції (Karin Lundgren, Mario Plos, Kent Gylltoft), США (A. D. Cowell, V. V. Bertero, M. L. Tholen, D. Darwin, J. H. Weathersby) та багато інших.

Постановка мети і задач досліджень. Питання пов'язані з вивченням ніздрюватих бетонів і зокрема використанням дрібних заповнювачів в

ніздрюватих бетонах, як було зазначено, досліджувались цілим рядом вітчизняних та зарубіжних науковців [3-4]. В нормативній та рекомендаційній літературі поданий широкий перелік різновидів дрібних заповнювачів, які можуть використовуватись при виробництві ніздрюватих бетонів [1-4, 6], але питання саме зернового складу таких заповнювачів приділялось недостатньо уваги.

Методика досліджень та їх результати. Для дослідження впливу зміни зернового складу дрібного заповнювача пінобетонної суміші на фізико-механічні властивості пінобетону було виготовлено ряд пінобетонних зразків у вигляді кубиків з ребром $100 \times 100 \times 100$ мм. Як заповнювач в пінобетонній суміші використовувався кварцовий пісок. При їх виготовленні використовувався пінобетон, виготовлений за рецептами одного з науково-виробничих підприємств Львова.

Для визначення зернового складу партії піску використовувався набір лабораторних сит з розмірами отворів в них: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 і 0,16 мм. Для зміни зернового складу піску для виготовлення пінобетону для кубиків різних серій змінювався склад фракцій піску у процентному відношенні з більшим чи меншим вмістом піску певної фракції.

З цією метою, для загального досліду було використано 60 кг кварцового піску, який перед початком робіт, пов'язаних з виготовленням пінобетонних сумішей, був добре висушений та перемішаний і поділений на три частини. Одна частина (20 кг піску) була використана для приготування пінобетонної суміші контрольної серії (I серія), а дві інші знову перемішувалися та пересипалися через контрольні сита. Залишки частинок піску на ситах після пересівання зважувалися, визначалася вага кожної фракції піску та вираховувався відсоток за об'ємом до загального об'єму піску. Результати цього зважування та підрахунку дали нам зерновий склад піску пінобетону I серії. Для кубиків II і III серій зерновий склад кожної фракції, що залишився на ситах ділився порівно на двоє і змінювався шляхом надбирання чи додавання до окремої фракції піску певної кількості. Причому, яка кількість піску певної фракції забиралась з однієї частини, така ж кількість піску іншої фракції додавалась до іншої. Така операція проводилась з метою незмінності загальної ваги частини піску (20 кг), що використовувався для виготовлення пінобетонної суміші окремої серії. Після чого знову зважувалася кожна фракція піску і визначався вміст кожної фракції у процентному відношенні до загального об'єму піску певної серії.

Фізико-механічні властивості пінобетону кожної з трьох серій на стиск визначали за результатами випробування кубів з ребром $100 \times 100 \times 100$ мм. Кожна серія складалась з чотирьох кубів, які виготовлялися з пінобетонної суміші з вмістом піску різного зернового складу. Загальна кількість дослідних кубів трьох серій – 12 штук. Випробування проводились на лабораторному пресі П-10.

Перша серія дослідних зразків складалася з чотирьох пінобетонних кубиків. Зерновий склад дрібного заповнювача (піску) пінобетонної суміші визначався шляхом пересіванням піску через контрольні сита. Друга та третя серії склалися також з чотирьох пінобетонних кубиків кожна, зерновий склад дрібного заповнювача (піску) пінобетонної суміші якого визначався шляхом пересіювання піску через контрольні сита, але зі зміною процентного вмісту окремих фракцій.

Результати досліджень та зважувань зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Зерновий склад піску пінобетонної суміші

Розмір отворів контрольних сит, мм	Повний залишок на контрольних ситах	
	чиста вага, кг	% до всього об'єму
I серія		
5	0,2	1
2,5	2,6	13
1,25	4,4	22
0,63	4,2	21
0,315	4,4	22
0,16	3,4	17
проходить через сито 0,16	0,8	4
Разом	20,0	100
II серія		
5	0,1	0,5
2,5	1,8	9,0
1,25	2,9	14,5
0,63	3,5	17,5
0,315	6,5	32,5
0,16	4,2	21,0
проходить через сито 0,16	1,0	5,0
Разом	20,0	100
III серія		
5	0,3	1,5
2,5	3,4	17,0
1,25	5,3	29,5
0,63	4,9	24,5
0,315	2,3	11,5
0,16	2,6	13,0
проходить через сито 0,16	0,6	3,0
Разом	20,0	100

Процес виготовлення пінобетонних дослідних зразків можна поділити на два етапи: перший – підготовка та зважування дрібного заповнювача пінобетонної суміші – піску; другий – замішування пінобетонної суміші та бетонування дослідних зразків. Бетонування виконувалось у металевих формах у лежачому положенні з наступним твердінням пінобетонної суміші в звичайних умовах. Забетоновані дослідні пінобетонні кубики витримувалися впродовж 28 діб. Для кращого просихання пінобетону опалубку знімали через тиждень після їх виготовлення.

В процесі дослідження пінобетонних кубиків, які були виготовлені з пінобетонної суміші з різним зерновим складом були отримані експериментальні дані, які підтвердили прогноз, що із збільшенням частки крупніших фракцій у складі піску міцність пінобетонних кубиків зростала. Таке явище можна пояснити наступними теоретичними припущеннями: в процесі огортання цементною сумішшю бульбашок піноутворювача, крупніша фракція піску виступала як окремі зерна, які не огортали бульбашку повітря, а самі виступали, як елемент до якого прилипала цементна суміш, утворюючи суцільну, а не пористу структуру пінобетону. Отже, щільність такого зразка повинна збільшитися, адже пор в такому середовищі буде менше, а суцільного тіла більше. Це практично і підтвердилося, густина таких кубиків (III серія) була значно вищою від решти кубиків. В кубиках цієї серії великі фракції дрібного заповнювача – піску розміром 5 і 2,5 мм склали 18,5 % від всього об'єму піску, середні фракції розміром 1,25; 0,63 і 0,315 мм склали 65,5 % та дрібні фракції розміром менше 0,2 мм – 16 % від об'єму всього піску. Середнє експериментальне руйнуюче зусилля кубиків III серії склало 20,44 кН.

Пісок II серії пінобетонних зразків був поділений на фракції наступним чином: частка великої фракції складала 9,5 % від усього об'єму піску, частка середньої фракції – приблизно така ж, як і у III серії, тобто 64,5 %, частка дрібної фракції – 26 % від усього об'єму піску. Пінобетонна суміш даної серії містить значну частку дрібної фракції, що значно підвищує здатність дрібного заповнювача обволікати бульбашки піноутворювача та утворювати стійкі комірки «великого» розміру, що спричиняє утворення середовища із значним вмістом пор. Це призводить до зменшення міцності пінобетонних кубиків. Середнє експериментальне руйнуюче зусилля кубиків II серії склало 8,46 кН.

Для I серії дослідних зразків використовувався пісок із наступним співвідношенням фракцій: частка великих фракцій піску складала 14 %, середніх – 65 %, дрібних – 21 % від усього вмісту піску. В цій серії частка великої та дрібної фракцій лежали в проміжку між відсотковими значеннями таких же часток II та III серій, тобто піску великої фракції було дещо більше як у піску II серії, але менше як у піску III серії. Для дрібної фракції ця величина була зворотною – тобто, вміст був більшим, як у піску III серії, але

меншим ніж у піску II серії. Середнє експериментальне руйнуюче зусилля кубиків I серії склало 13,63 кН.

Таблиця 2

Експериментальні опосередковані значення руйнуючих зусиль.

№ серії	I серія	II серія	III серія
F_u , кН	13,63	8,46	20,44

Графічно залежність руйнуючого зусилля від процентного вмісту зернового складу дрібного заповнювача представлено на рис. 1.

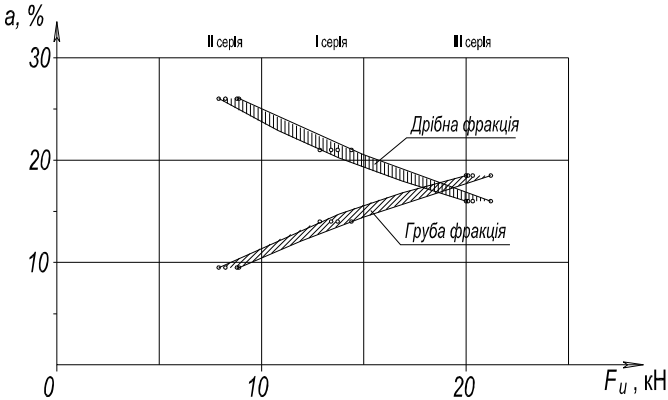


Рис. 1. Залежність руйнуючого зусилля пінобетонних кубиків на стиск від процентного вмісту піску дрібної та великої фракції

Як видно з графіка, при збільшенні процентного вмісту великої фракції піску у пінобетонній суміші руйнуюче зусилля, а, отже, і міцність пінобетону збільшується, і навпаки, при збільшенні дрібної фракції піску у пінобетонній суміші міцність пінобетону зменшується.

Під час визначення стискаючого руйнуючого зусилля при дослідженні пінобетонних кубиків, відслідковувався також характер утворення тріщин на бічній поверхні кубиків в процесі завантаження кубиків та форма кінцевого руйнування кубиків.

За результатами експериментальних досліджень, прослідковувалась цікава закономірність утворення тріщин. Так кубики, які були виготовлені з пінобетонної суміші з дрібним заповнювачем, в якому домінувала велика фракція заповнювача (серія III), процес тріщиноутворення був наступний. При збільшенні навантаження утворювалися вертикальні тріщини, які поступово розкривалися і відколювали бокові грані кубиків (рис. 2.), а процес руйнування кубика завершувався утворенням відколених спарених за висотою пірамідок,

що є характерним для важких бетонів (рис. 3.). Це явище, в певній мірі, вказує, що із збільшенням вмісту великої фракції піску в пінобетонній суміші пінобетонний елемент має більші ознаки конструктивного пінобетону (підвищена міцність, щільність тощо). Тому можна зробити попередній висновок, що для конструктивних елементів доцільно використовувати пінобетонну суміш із більшим вмістом великої фракції дрібного заповнювача. Частка такої фракції повинна бути не більше 15 % від загального об'єму дрібного заповнювача, що використовується для приготування пінобетонної суміші.

Щодо кубиків, які були виготовлені із пінобетонної суміші, в якій в дрібному заповнювачі домінувала дрібна фракція (серія II), то процес тріщиноутворення проходив дещо по іншому. Крім вертикальних тріщин, в процесі завантаження кубика розвивалися також і горизонтальні тріщини на бокових поверхнях пінобетонних кубиків (рис. 4.).

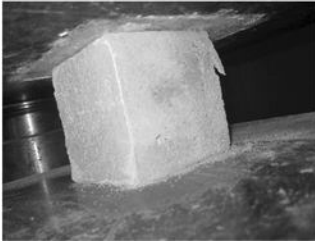


Рис. 2. Характер утворення тріщин в кубиках серії III



Рис. 3. Характер руйнування кубиків серії III

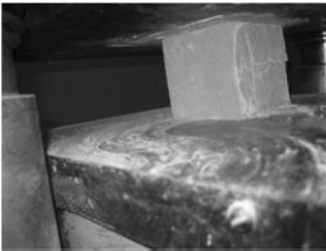


Рис. 4. Характер утворення тріщин в кубиках серії II

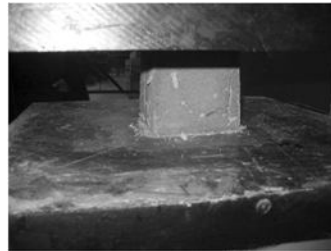


Рис. 5. Характер руйнування кубиків серії II

При завершенні руйнування кубики серії II виглядали «сплюснутими», як губка без значного вилущування бокових поверхонь (рис. 5.).

Таку картину руйнування можна пояснити висуваючи наступну версію. При навантаженні стінки комірок, якщо можна так сказати, «складаються», заповнюючи порожнечі обломками комірок. Тому відбувається явище «сплющування» кубика. Таке характерне для достатньо пористих матеріалів,

а, отже, і міцність таких кубиків є меншою, що і підтвердили експериментальні дослідження. Отже, при виготовленні пінобетонної суміші з більшим вмістом дрібної фракції (більше 20 %) дрібного заповнювача отримуємо пінобетон більш пористої структури, який доцільно використовувати як теплоізоляційний матеріал.

Висновки. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень пінобетонних дослідних зразків можна зробити наступні висновки:

1. При збільшенні процентного вмісту крупнішої фракції піску у пінобетонній суміші руйнує зусилля, а, отже, і міцність пінобетону збільшується, і навпаки, при збільшенні дрібної фракції піску у пінобетонній суміші міцність пінобетону зменшується.

2. Щільність пінобетону залежить від процентного вмісту зернового складу піску. При збільшенні крупної фракції піску щільність пінобетону збільшується, при збільшенні дрібної фракції піску щільність пінобетону зменшується.

3. Характер тріщиноутворення та руйнування пінобетонних кубиків з різним зерновим складом дрібного заповнювача є різним: при більшому вмісті крупної фракції заповнювача кубики руйнуються подібно до важкого бетону, при збільшенні вмісту дрібної фракції заповнювача – кубики «сплющуються».

4. На основі експериментальних даних можна вказати на наступне: при виготовленні конструктивного пінобетону пінобетонну суміш доцільно виконувати із вмістом крупної фракції дрібного заповнювача не більше 15 %, при виготовленні теплоізоляційного пінобетону пінобетонну суміш доцільно виконувати із вмістом дрібної фракції дрібного заповнювача в межах 20 %.

Узагальнюючи наведені вище висновки можна констатувати, що зерновий склад дрібного заповнювача спричиняє певний вплив на фізико-механічні властивості, зокрема міцність неавтоклавного пінобетону.

1. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [Текст] - [Чинний від 2010-09-01] - Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.

Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnyimi zrazkami: DSTU B V.2.7-214:2009 [Tekst] - [Chynnyi vid 2010-09-01] - Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010.

2. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-45-2010. [Текст] - [Введ. з 01.11.2010.] — Київ:Мінрегіонбуд України, 2010. - (Національний стандарт України).

Budivelni materialy. Betony nizdriuvati. Zahalni tehniczni umovy: DSTU B V.2.7-45-2010. [Tekst] - [Vved. z 01.11.2010.] — Kyiv:Minrehionbud Ukrainy, 2010. - (Natsionalnyi standart Ukrainy).

3. Верба В. Б. Взаємний зв'язок міцнісних та деформаційних характеристик безавтоклавного пінобетону [Текст] / В. Б. Верба, І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина,

В. В. Волощюга, П. О. Голик // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Мakiivka, ДонНАВА, 2012. – Т. 8, № 1. – С. 27–35.

Verba V. B. Vzaiemnyi zviazok mitsnisnykh ta deformatsiinykh kharakterystyk bezavtoklavnoho pinobetonu [Tekst] / V. B. Verba, I. B. Hornikovska, Kh. B. Demchyna, V. V. Volotsiuha, P. O. Holyk // Suchasne promyslove ta tsyvilne budivnytstvo. – Makiivka, DonNAVA, 2012. – Т. 8, № 1. – С. 27–35.

4. Фамуляк Ю. Моделювання масиву ніздрюватих бетонів та його роботи під навантаженням / Зб. наук. праць НУВГП //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 40 – Рівне: Вид-во НУВГП, 2021. – С. 40 – 52.

Famulyak Yu. Modeliuvannya masyvu nizdriuvatykh betoniv ta yoho roboty pid navantazhenniam / Zb. nauk. prats NUVHP //Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Vyp. 40 – Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2021. – С. 40 – 52. 5. Istoriia rozvytku pinobetonu [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-130-penobeton/2.htm>.

5. Історія розвитку пінобетону [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-130-penobeton/2.htm>.

6. Сировинна суміш для приготування пінобетону [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://findpatent.com.ua/patent/223/2233817.html>.

Syrovynna sumish dlia pryhotuvannya pinobetonu [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://findpatent.com.ua/patent/223/2233817.html>.