

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ РОЗПОДІЛУ ТВЕРДОЇ СКЛАДОВОЇ ПІНОБЕТОНУ**

**Мартинів В.І.**, д.т.н., доцент,  
ogasa\_psk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9674-7920

**Ветох О. М.**, к.т.н., ст. викладач,  
vetoh.ogasa@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0672-4387

**Макарова С.С.**, к.т.н., доцент,  
svetlana.makarova@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3237-1431  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

**Мартінова О.Б.**, к.т.н., доцент,  
pingu\_@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7324-2543  
*Одеський державний аграрний університет*

**Анотація.** У статті проведено аналіз способів управління властивостями композиційних будівельних матеріалів, розглянуті питання впливу об'єму міжпорових перегородок на властивості пінобетону неавтоклавного твердіння.

Запропонована методика кількісного визначення об'ємних змін в пінобетоні, що твердіє. Наведено результати експериментальних досліджень, які свідчать, що головним джерелом контракції є цементний гель. Приведені залежності вказують, що збільшення кількості цементного гелю призводить до збільшення пористості затверділої речовини.

Показана перспективність використання отриманих результатів при проектуванні складів пінобетону неавтоклавного твердіння з урахуванням деформації усадки, оскільки це є одним з основних недоліків неавтоклавного пінобетону.

**Ключові слова:** пінобетон, механохімічна активація, розчинна складова, міжпорові перегородки, цементний гель, структуроутворення, усадка, деформація.

**Вступ.** Використання в якості огорожуючих елементів ніздрюватих бетонів в будівництві та експлуатації цивільних будинків та споруд показує ефективність цих будівельних матеріалів. Ніздрюватий бетон – це відносно новий матеріал. До порівняння: цеглі більше, ніж 2500 років, а пористому бетону близько 100. На сьогоднішній день існують два види цього матеріалу: газобетон, пінобетон. Останні роки характеризуються новим сплеском інтересу до пористого бетону. Це пояснюється двома причинами: новими досягненнями в технології і конструюванні виробів з ніздрюватих бетонів та посиленням норм щодо вимог теплозахисту будівельних елементів.

Співвідношення твердої та газової фази впливають на фізико-механічні та експлуатаційні властивості ніздрюватих матеріалів. Особливу увагу слід звернути на те, що властивості ніздрюватих матеріалів визначаються геометричними характеристиками розподілу твердої складової, тобто протяжністю та формою міжпорових перегородок. Властивості твердої складової залежать від її складу та технологічних умов отримання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1-3] на прикладі пінобетону розглянута поетапна організація його структури. На початковому етапі при введенні в розчинну суміш піни виникає структурна неоднорідність «матричний матеріал – газові включення», при цьому система перебуває в невірноваженому стані, що супроводжується спонтанними процесами переорганізації структури. Структурна неоднорідність є причиною формозміни газових включень. Зміна форми пор відбувається у бік зниження поверхневої енергії. При цьому форми контактів на границі «матричний матеріал – газові включення» змінюються із круглих (сферичних в об'ємі) на плоскі. Це, в свою чергу, призводить до локальних змін густини розчинової частини і виникненню градієнтів усадочних деформацій. Одночасно тривають процеси гідратації в'язучої речовини, що супроводжуються зміною

реологічних властивостей (пластичності) розчинової суміші. В результаті в міжпорових перегородках, які твердіють, з'являються несучільності у вигляді тріщин. Такі тріщини авторами віднесені до технологічних (початкові, спадкоємні). Все це дозволило припустити, що основним носієм властивостей ніздрюватих бетонів є тверда складова. При цьому властивості залежать від характеру розподілів твердої фази [4-6].

В свою чергу змінювати характер структури твердої складової ніздрюватих бетонів можна за рахунок зміни рецептурно-технологічних факторів [7]. Особливо ефективно застосування механохімічної активації [8].

Зведення залежності властивостей ніздрюватих бетонів від характеру твердої фази вимагає детального аналізу, розробок нових методів візуалізації і кількісного визначення структурних параметрів, а також вивчення впливу зміни рецептурно-технологічних факторів виробництва на характер структури, фізико-механічні властивості ніздрюватого бетону і їх взаємозв'язок.

**Мета дослідження.** Поліпшення експлуатаційних властивостей пінобетону за рахунок направленої курування об'ємними змінами в твердуючій та твердій складовій пенобетону.

**Методика дослідження.** Визначення зміни пористості та розробка методики її визначення була однією із задач, яка вирішувалась в процесі визначення впливу рецептурно-технологічних факторів, в тому числі механоактивації, на властивості неавтоклавного пінобетону. Для цього було проведено трьохфакторний експеримент. В експерименті був застосований спосіб активації в'язучого або розчинної складової в швидкохідних змішувачах. При цьому способі збільшується ступінь гідратації в'язучих речовин, що призводить до прискореного зростання структурної міцності і підвищення марочної міцності. Суміш розчину активували в лабораторному швидкохідному змішувачі, розробленому І.В. Барабашем [9, 10].

Постійні фактори: густина пінобетонної суміші –  $760 \pm 10$  г/л, діаметр розливу розчину по віскозиметру Суттарда  $270 \pm 10$  мм.

Інформація про змінні фактори, інтервали та рівні варіювання наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Фактори, їх рівні та інтервали варіювання

Найменування фактора	Код фактора	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X <sub>1</sub> – вміст наповнювача, %	Д	0	15	30	15
X <sub>2</sub> – вміст добавки, %	Д	0	1,5	3	1,5
X <sub>3</sub> – час Механоактивації, с	Т	0	20	40	20

**Результати досліджень.** Проведений аналіз об'ємних змін в пінобетоні неавтоклавного твердіння показав, що процес твердіння мінеральних в'язучих супроводжується зміною за часом співвідношенням між вихідними складовими і новоутвореннями, які гідратують. Також змінюється загальний об'єм системи, що призводить до змін в характері і загальній пористості речовини, яка твердіє.

Вивченню процесів, які відбуваються при гідратації цементу, присвячені роботи Волженського О.В., Горчакова та ін. [11]. Зокрема, О.В. Волженським зроблені теоретичні розрахунки зміни загального об'єму твердої фази деяких речовин при взаємодії їх з водою.

Схематично зміни в загальному об'ємі цементної системи до реакції з водою і після приведено на рис. 1. Приймавши за основу схему об'ємних змін цементних композицій, які гідратують, розраховані об'ємні зміни в міжпорових перегородках затверділого пінобетону, який твердів в нормально-вологісних умовах.

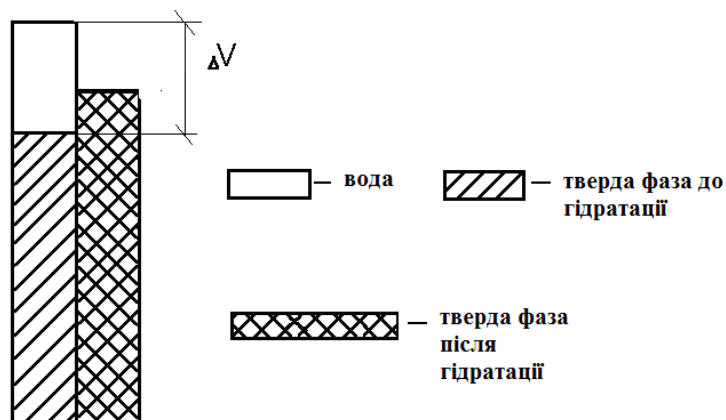


Рис. 1. Зміна об'єму цементних систем, які твердіють

В основу розрахунків закладені наступні дані: істина густина вихідних складових (цемент і наповнювач), істина густина подрібненого пінобетону, В/Т, середня густина пінобетону у висушеному стані, абсолютна вологість (по масі) пінобетону. Розрахункові формули і послідовність розрахунку зміни в об'ємі міжпорових перегородок наведені нижче.

Об'ємні зміни  $\Delta V$ , % визначали за формулою:

$$\Delta V = V_{\text{нач}} - V_{\text{пб}}, \quad (1)$$

де  $V_{\text{поч}}$  – початковий об'єм вихідних складових, %;

$V_{\text{аб}}$  – абсолютний об'єм міжпорових перегородок, %.

Абсолютний об'єм міжпорових перегородок  $V_{\text{пб}}$  визначали за формулою:

$$V_{\text{пб}} = \frac{\rho_0}{\rho_{\text{пб}}}, \quad (2)$$

де  $\rho_0$  – середня густина пінобетону в сухому стані,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{пб}}$  – істина густина пінобетону,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Наприклад, в першому рядку плану експерименту:

$$V_{\text{пб}} = \frac{575}{2546} \cdot 100\% = 22,6\%.$$

Первинний об'єм вихідних складових складається з об'єму твердих складових (в нашому випадку цемент або суміш цементу і наповнювача) і води, тобто:

$$V_{\text{нач}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (3)$$

Об'єм твердих складових  $V_{\text{ТВ}}$  визначали за формулою:

$$V_{\text{ТВ}} = \frac{600}{\rho_{\text{см}}}, \quad (4)$$

де 600 – загальна маса твердих компонентів в сухому стані, які потрібні для отримання пінобетону середньою густиною  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{см}}$  – істина густина суміші твердих складових,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

У рядку плану, де до складу твердих складових входять цемент і наповнювач,  $\rho_{\text{см}}$  розраховували за формулою:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{(Ц + Н)}{Ц \cdot \rho_{\text{н}} + Н \cdot \rho_{\text{ц}}}, \quad (5)$$

де Ц, Н – відповідно масова доля цементу і наповнювача в їх суміші;

$\rho_{\text{н}}$ ,  $\rho_{\text{ц}}$  – відповідно істина густина наповнювача і цементу,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

У першому рядку плану:

$$V_{\text{ТВ}} = \frac{60\%}{2,923} = 20,53\%.$$

При розрахунку об'єму води в початковому об'ємі виходили з таких припущень:

$$V_{H_2O} = V_o - V_w, \quad (6)$$

де  $V_o$  – загальний об’єм води, %;

$V_w$  – об’єм вільної води, %.

Вважається, що в процесі твердіння пінобетону вільна вода витісняється в міжпоровий простір. Згодом вільна вода була видалена сушінням пінобетону, і її об’єм обчислювався з урахуванням абсолютної вологості пінобетону:

$$V_w = \frac{W_a \cdot \rho_o}{V}, \quad (7)$$

де  $W_a$  – абсолютна вологість пінобетону, %;

$V$  – об’єм.

Загальний об’єм води  $V_o$  визначається за формулою:

$$V_o = 600 \text{ В/Т}, \quad (8)$$

$$V_o = 600 \cdot 0,47 = 282 \text{ л або } 28,2\% \text{ від загального об’єму.}$$

$$V_w = \frac{24 \cdot 575}{100} = 13,8\%$$

$$V_{H_2O} = 28,2 - 13,8 = 14,4\%.$$

Таким чином, внаслідок процесів, які супроводжують твердіння пінобетону, відбулося зменшення об’єму твердої фази міжпорових перегородок на 12,3%, або призвело до збільшення пористості міжпорових перегородок на цю ж величину в загальному об’ємі матеріалу міжпорових перегородок.

В результаті математико-статистичної обробки отриманих результатів побудовані ізоповерхні зміни об’єму твердої фази міжпорових перегородок як результат гідратаційного твердіння цементу. Графічно вони зображені на рис. 2.

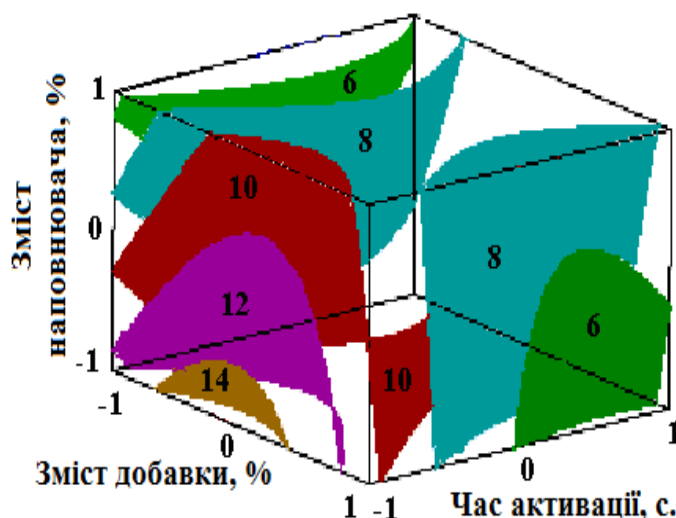


Рис. 2. Ізоповерхні зміни об’єму матричного матеріалу пінобетону

Наведені графічні залежності свідчать, що за допомогою рецептурно-технологічних факторів можна управляти пористістю міжпорових перегородок, а, отже, і властивостями пінобетону. Так, в цілому по експерименту, пористість міжпорових перегородок змінюється від 3,5 до 15%. Причому мінімальна пористість досягається при максимальному вмісті наповнювача і час активації розчинової складової в межах 20 с. Вплив добавки – прискорювача твердіння – носить складний і неоднозначний характер з яскраво вираженим екстремумом в кількості 1,5% від маси цементу. Максимальну пористість мають міжпорові перегородки, що складаються тільки з цементу, при вмісті добавки приблизно 1,2% від маси цементу по сухій речовині, при відсутності активації розчинної складової.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Таким чином, наведені результати досліджень створюють передумови для виробництва пінобетонів з поліпшеними експлуатаційними властивостями за рахунок направлено керування об'ємними змінами в твердіючій та затверділій складовій пінобетону.

Наведені дані можуть бути використані при проектуванні складів пінобетону неавтоклавного твердіння. Методика кількісного визначення об'ємних змін в пінобетоні, що твердіє, може знайти застосування при вивченні деформацій усадки, що є одним з основних недоліків неавтоклавного пінобетону.

### Література

1. Мартынов В.И., Мартынова Е.Б., Загорчемный Ю.О. Управление макроструктурными параметрами и свойствами пенобетона / Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2001. № 6. С. 75–80.
2. Выровой В.Н., Мартынов В.И., Мартынова Е.Б. Системный подход в формировании структуры и свойств пенобетона / Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2004. № 11. С. 17–21.
3. Загорчемный Ю.О. Управление структурой и свойствами пенобетона: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та виробы» / Ю. О. Загорчемный. Одеса, 2004. 21 с.
4. Выровой В.Н., Загорчемный Ю.О., Мартынов В.И. Анализ механизмов организации структуры твердой составляющей пенобетона / Вісник Донбаської державної академії будівництва та архітектури. Макеевка. 2004. №43. С.155–160.
5. Мартынов В.И., Выровой В.Н., Орлов Д. Особенности структурообразования и пути улучшения свойств неавтоклавногo пенобетона / Строительные материалы и изделия. Киев. 2005. №2. С. 17–21.
6. Анализ структурообразования, структуры и свойств пористых строительных композитов / В.И. Мартынов и др. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Київ. 2009. №32. С. 82–88.
7. Меркин А. Влияние технологических факторов на структуру цементирующего вещества и свойства ячеистого бетона на смешанном веществе / Строительные материалы. 1975. № 2. С.33–35., 1975. №12. С. 19–30., 1980. №3. С. 12–13.
8. Pan Zhihua, Li Hengzhi, Liu Weiqing. Preparation and characterization of superlowdensity foamedconcrete from Portlandcement and admixtures / Construction and Building Materials. Volume 72, 15 December 2014, pp. 256-261.
9. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин. Одеса: Астропринт, 2002. 99 с.
10. Барабаш Т.И., Выровой В.Н., Барабаш И.В. Свойства твердеющих механоактивированных цементных композиций / Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. 2001. С. 3-7.
11. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979. 470 с.

### References

- [1] V.I. Martynov, O.B. Martynova, U.O. Zakorchemnyy, "Upravleniye makrostrukturnymi parametrami i svoystvami penobetonu", *Matematicheskkiye, konstruksionnyye, bud' to ta sporudi*, no. 6, pp. 75–80, 2001.
- [2] V.N. Vyrovoy, V.I. Martynov, O.B. Martynova, "Systemnyy pidkhid do formuvannya struktury ta vlastyvoli penobetonu", *Resursoekonomni materialy, konstruksiyi, budivli ta sporudy*. no 11. pp. 17–21, 2004.
- [3] U.O. Zakorchemnyy, "Upravlinnya strukturoy ta vlastyvostyamy penobetonu", avtoref. dys.

- na zbuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.05 «Budiveln'i materialy ta vyroby». Odesa, 2004.
- [4] V.N. Vyrovoy, U.O. Zakorchemnyy, V.I. Martonov, "Analizuvaty mekhanizmy orhanizatsiyi struktur tverdoyi struktury nashoyi derzhavy", *Visnyk Donbas'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, Makiyivka, vol. 43, pp. 155-160, 2004.
- [5] V.I. Martynov, V.N. Vyrovoy, D.A. Orlov, "Osoblyvosti strukturyroobrazovaniya i shlyakhy polipshennya vlastyvostey neavtoklavnoho penobetonu", *Budiveln'i materialy i vyroby*, Kyiv, vol. 2, pp. 17-21, 2005.
- [6] V. I. Martynov y dr., "Analizuvaty strukturoutvorennya, struktury i vlastyvosti budiveln'nykh kompozytsiy", *Budiveln'i materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*, Kyiv, vol. 32, pp. 82-88, 2009.
- [7] A. Merkin, "Uyavleniya tekhnolohichnykh faktoriv na strukturu rechovyn i vlastyvostey yayechnykh rechovyn na budiveln'i materialy", *Budiveln'i materialy*, vol. 2, pp. 33-35, 1975; vol. 12, pp. 19-30, 1975; vol. 3, pp. 12-13, 1980.
- [8] Pan Zhihua, Li Hengzhi, Liu Weiqing, "Preparation and characterization of superlowdensity foamedconcrete from Portlandcement and admixtures", *Construction and Building Materials*, vol. 15, pp. 256-261, 2014.
- [9] I.V. Barabash, *Mekhanokhimichna aktyvatsiya mineral'nykh v'yazhuchykh rechovyn*. Odesa, Astroprynt, 2002.
- [10] T.I. Barabash, "Svoystva tverdeyuchykh mekhanoaktyvovannykh tsementnykh kompozytsiy", *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy*, Rivne, pp. 3-7, 2001.
- [11] A.V. Volzhenskiy, YU. S. Burov, V. S. Kolokol'nykov, *Myneral'nye vyazhushchye rechovyny*. Moscow, Stroyzdat, 1979.

#### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЁРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПЕНОБЕТОНА

**Мартынов В.И.**, д.т.н., доцент,  
ogasa\_psk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9674-7920

**Ветох А.М.**, к.т.н., ст. преподаватель,  
vetoh.ogasa@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0672-4387

**Макарова С.С.**, к.т.н., доцент,  
svetlana.makarova@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3237-1431

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Мартынова Е.Б.**, к.т.н., доцент,  
pingu\_@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7324-2543  
*Одесский государственный аграрный университет*

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу изучения свойств и совершенствованию технологии одного из наиболее эффективных и востребованных современных строительных материалов – ячеистому бетону. В статье проведен анализ способов управления свойствами композиционных строительных материалов, рассмотрены вопросы влияния объёма межпоровых перегородок на свойства пенобетона неавтоклавного твердения. Проведенный анализ литературных данных позволил высказать предположение, что свойства ячеистых бетонов определяются характером распределений твердой фазы. Подобный подход требует разработки соответствующих методов определения характера изменений структуры твердой фазы ячеистого бетона. В качестве модельного материала использован пенобетон неавтоклавного твердения. Для этого предложена методика количественного определения объёмных изменений в затвердевающем пенобетоне (контракция). В свою очередь управлять характером распределений твердой фазы можно за счет изменения рецептурно-технологических факторов. В приведенном эксперименте использовались математико-

статистические методы исследований. Из эффективных технологических факторов управления свойствами ячеистых бетонов был применен способ механохимической активации растворной составляющей пенобетона. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые свидетельствуют о том, что главным источником контракции является цементный гель. Приведенные зависимости указывают на то, что увеличение количества цементного геля приводит к увеличению пористости затвердевшего вещества.

Показана перспективность использования полученных результатов при проектировании составов пенобетона неавтоклавного твердения с учётом деформации усадки, поскольку это является одним из основных недостатков неавтоклавного пенобетона.

**Ключевые слова:** пенобетон, механохимическая активация, растворная составляющая, межпоровые перегородки, цементный гель, структурообразование, усадка, деформация.

## METHOD OF DETERMINING THE CHARACTER OF THE DISTRIBUTION OF A SOLID COMPONENT OF FOAM CONCRETE

**Martynov V.I.**, D.Sc., Professor,  
ogasa\_psk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9674-7920

**Vietokh O.M.**, PhD, Senior Lecturer,  
vetoh.ogasa@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0672-4387

**Makarova S.S.**, PhD, Associate Professor,  
svetlana.makarova@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3237-1431  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

**Martynova O.B.**, PhD, Associate Professor,  
pingu\_@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7324-2543  
*Odessa State Agrarian University*

**Abstract.** The article is devoted to the study of the properties and improvement of the technology of one of the most effective and popular modern building materials – cellular concrete. The article analyzes the methods of controlling the properties of composite building materials, the impact of the volume of interporous partitions on the properties of non-autoclaved foam concrete is discussed. The analysis of the literature data allowed us to suggest that the properties of cellular concrete are determined by the nature of the distribution of the solid phase. This approach requires the development of appropriate methods for determining the nature of changes in the structure of the solid phase of cellular concrete. Foam concrete of non-autoclave hardening is used as a model material. For this purpose, the method of quantitative determination of volume changes in the solidifying foam concrete (contraction) is offered. In turn, the nature of the distribution of the solid phase can be controlled by changing the formulation and technological factors. In the given experiment mathematical and statistical methods of research were used. The method of mechanochemical activation of the foam concrete mortar component was applied from the effective technological factors of controlling the properties of cellular concrete. There are the results of experimental studies, which indicate that a cement gel is the main source of contraction. These dependences indicate that the increasing of the amount of cement gel leads to the increasing of the porosity of the hardened substance.

The prospects of using the obtained results in the design of non-autoclaved hardening foam concrete compositions, taking into account shrinkage deformation, are shown, since this is one of the main disadvantages of non-autoclaved foam concrete.

**Keywords:** foam concrete, mechanochemical activation, soluble component, interporous partitions, cement gel, structure formation, shrinkage, deformation.

Стаття надійшла 16.08.2019