

ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ПІНОБЕТОНІВ

CONSTRUCTION OF MODELS FOR FORECASTING THE STRENGTH OF FOAM CONCRETE

Заякін Д.К., аспірант, Мікуліч О.А., д.т.н., проф. (Луцький національний технічний університет)

Zayakin D.K., graduate student, Mikulich O.A., doctor of technical sciences, prof. (Lutsk National Technical University)

У роботі досліджено основні способи отримання пінобетону, проведено його класифікацію за маркою та призначенням залежно від густини отриманого матеріалу. Використовуючи інтерполяційний метод у роботі, побудовано моделі, що дають можливість прогнозувати міцність пінобетону при стиску за різних значень густини матеріалу. Використання запропонованого підходу дає можливість використовувати пінобетон у якості альтернативного будівельного матеріалу, оскільки дозволяє оцінити його міцність та забезпечити підбір оптимальної густини матеріалу задля реалізації конструктивних рішень різної складності.

Foam concrete is a material that has become widely used in construction in recent years. The main advantage of foam concrete is its lightness, which saves material for producing walls and foundations in civil construction. Since this material has a natural porous structure, it also provides thermal insulation for structural elements. The main areas of application of foam concrete are structural elements, non-structural partitions and thermal insulation materials.

The paper contains a description of the methods for obtaining foam concrete. The classification by brand and purpose depending on the density of the obtained foam concrete is carried out in this paper. It also identifies the main directions and features of using different brands of foam concrete. The analysis of experimental research on the definition of compressive strength of various marks of foam concrete is carried out and it is generalized in the form of graphic dependence. It allows analyzing the influence of the density of the received material on compressive strength.

Using the interpolation method, analytical models of dependence of compressive strength have been constructed. These models allow us to predict the compressive strength of foam concrete at different values of material density. The paper presents six models based on exponential, linear, logarithmic, polynomial and power dependence, which allow estimating the dependence of foam concrete strength on its density. The reliability of the constructed models is also evaluated in the work.

The advantages of using such models are cases when the density of the obtained foam concrete differs from the available data in the literature, for which experimental methods have determined the compressive strength. In this case, designers will be able to assess the strength of foam concrete and ensure its optimal use in construction.

The use of the proposed approach makes it possible to use foam concrete as an alternative building material, as it allows for the assessment of its strength and ensures the selection of optimal material density for the implementation of design solutions of varying complexity, as well as ensure optimal use of this material in construction.

Ключові слова: пінобетон, механічні характеристики, міцність при стиску.

Keywords: foamed concrete, elastic properties, compressive strength.

Вступ. Одним із методів зниження щільності бетону є введення стабільних порожнин усередину затверділого цементного тіста або розчину. Порожнини можуть утворюватися при використанні газу або повітря. Бетон, в який піноутворювач вводить повітря, називається пінобетоном.

До пінобетонів відноситься переважна більшість бетонів, які не містять великих заповнювачів, лише дрібний пісок у поєднанні з надзвичайно легкими матеріалами, а також цемент, воду та піну. Його можна вважати відносно однорідним у порівнянні зі звичайним бетоном, однак властивості пінобетону залежать від мікроструктури та складу, на які впливає тип використовуваної в'язуючої речовини, способи попереднього спінування та затвердіння.

Основною перевагою пінобетону є його легкість, що забезпечує економію матеріалу при будівництві стін і фундаменту. Оскільки цей матеріал має пористу за своєю природою структуру, то забезпечує також і теплоізоляцію елементів конструкцій.

Важливими сферами застосування пінобетону є елементи конструкцій, неконструкційні перегородки та теплоізоляційні матеріали. На ринку будівельних матеріалів наявні пінобетони різної густини, щоб задовольнити вищезазначені вимоги.

Використання пінобетону для відновлення траншей, опор мостів, заповнення порожнин, ізоляції даху, підкладки доріг, будівництва стін тунелів, тощо зумовлює необхідність дослідити вплив різних факторів, зокрема, густини матеріалу на міцність відповідних елементів конструкцій, що є актуальною задачею механіки суцільних середовищ.

Постановка мети та задач досліджень. Робота присвячена побудові математичних моделей, що описуватимуть залежність міцності пінобетону при стиску від густини матеріалу, та оцінці достовірності цих моделей.

Основна частина. Розрізняють три типи елементів конструкцій відповідно до їх призначення: тримальні (несучі), огорожувальні та такі, що мають спільні функції. Відповідно до типу відрізняються і умови роботи цих елементів у структурі будівлі при навантаженні, їх призначення та впливи на них під час самого будівництва або ж експлуатації [1].

Призначення несучих елементів конструкцій будівлі — сприймати всі види навантажень і впливів силового характеру, що виникають в будівлі, і передавати їх через фундамент на ґрунт. Такими конструкціями є, наприклад, стіни [1].

Призначення огорожувальних конструкцій будівлі — ізолювати простір будівлі від зовнішнього середовища, розділяти простір на окремі приміщення і захищати їх від усіх видів впливів несилового характеру. Прикладами таких конструкцій можуть служити перегородки, покрівля, вікна [1].

Ряд конструктивних елементів виконують одночасно несучі та огорожувальні функції, наприклад зовнішні і внутрішні несучі стіни одночасно можуть бути вертикальними опорами для плит перекриття та огорожувальними конструкціями [1].

Пінобетон, в основному, використовується в огорожувальних елементах конструкцій. Використання пінистих матеріалів для несучих елементів зумовлює необхідність детального розрахунку напруженого їх стану та оцінку міцності з урахуванням усіх видів навантаження, що зазнаватимуть такі елементи конструкцій під час будівництва та при експлуатації.

У будівництві окрім пінобетону також часто використовують і природні піноматеріали, такі як вулканічна пемза та деякі інші гірські породи, в основному як декоративний матеріал. Також слід відмітити, що пінобетони або аеробетони застосовують як теплоізоляційні й конструкційні матеріали [2].

Пінобетон отримуються за рахунок рівномірного розподілу бульбашок повітря по масі з бетону. Його внутрішня структура має вигляд, наведений на рис. 1. У пінобетоні комірки повинні мати стінки, які залишаються стабільними під час змішування, транспортування, перекачування та укладання свіжого бетону. Вони дискретно розподілені та мають різні розміри: від 0,1 до 1 мм.

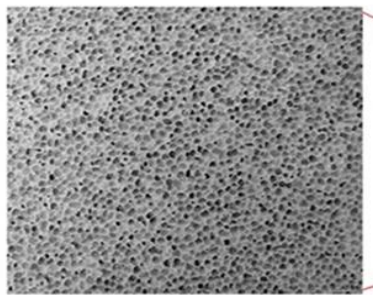


Рис. 1. Мікроструктура пінобетону [3]

Текстурна поверхня та наявність системи закритих пор роблять його широко застосовуваним у сферах теплоізоляції, звукопоглинання та вогнестійкості [3]. Пінобетон — це суміш цементу, піску, води та попередньо спіненої речовини (рис. 2), причому переважна більшість пінобетону не містить великих заповнювачів, а лише дрібний пісок. Сировиною для виробництва пінобетону є в'язуча речовина, заповнювачі, піноутворювач та вода [4].

Властивості пінобетону визначаються такими характеристиками, як густина, міцність при стиску, коефіцієнт проникливості, коефіцієнт водопоглинання та ін. [3].

На відміну від деяких синтетичних легких наповнювачів, затверділий пінобетон є менш схильним до руйнування через вплив бактерій або грибків, а також є захищеним від гризунів і комах. Піноутворювач на основі білка утворює міцні мікробульбашки і не піддається впливу різних хімічних речовин, які можуть бути присутніми під час використання пінобетону.

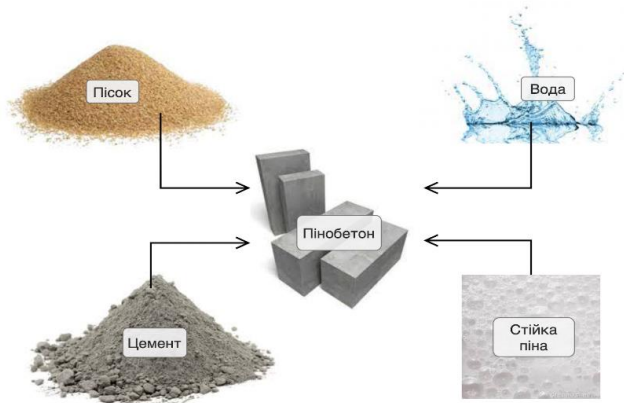


Рис. 2. Матеріали для пінобетону

Виробництво пінобетону передбачає розведення поверхнево-активної речовини у воді, яка пропускається через піногенератор, який утворює піну стабільної форми. Утворену піну змішують з цементним розчином. Для виробництва пінобетону використовуються два основних способи [4]:

- лінійний спосіб;
- метод попереднього спінювання.

При лінійному способі [4] виробництва пінобетону до агрегату додається базова суміш цементу та піску, де суміш ретельно перемішується з піною. При методі попереднього спінювання [4], формування пінобетону відбувається безпосередньо на будівельному майданчику, де попередньо

сформована піна впорскується у бетон, коли змішувач обертається. Таким методом можна отримати невеликі кількості пінобетону для невеликих обсягів робіт, наприклад, для швів або засипання траншей.

Пінобетон, отриманий методом попереднього спінювання, не завжди має густину, що відповідає відповідним стандартам маркам. Тому для оцінки міцності такого матеріалу необхідно використовувати аналітичні моделі, що даватимуть можливість оцінити міцність пінобетону. Оскільки основною характеристикою при цьому методі отримання пінобетону є густина матеріалу, то моделі, що описують залежність міцності від густини, мають практичний інтерес.

Пінобетон, зазвичай, має низькі діапазони густини від 300 до 1600 кг/м³, що сприяє зниженню впливу власної ваги на конструкцію. Межа міцності при стиску коливається від 0,2 до 18 МПа. За густиною пінобетон поділяється на наступні марки [4]:

- конструкційний пінобетон (густина від 1000 до 1200 кг/м³);
- конструкційний та теплоізоляційний пінобетон (густина 500-900 кг/м³);
- теплоізоляційний пінобетон (густина 300-500 кг/м³).

Пінобетон з густиною від 300 до 500 кг/м³ в основному використовується для будівництва стін і покрівлі, оскільки він забезпечує термостійкість, звукоізоляцію та вогнестійкість.

Пінобетон густиною від 600 до 800 кг/м³ використовується для заповнення пустот, наприклад, у ландшафтному дизайні (надземне/підземне будівництво), реконструкції пошкоджених каналізаційних систем, а також для виготовлення кладок. Пінобетон надзвичайно текучий і легко перекачується, повністю заповнює навіть найдрібніші порожнини.

Маючи густину до 300 кг/м³, пінобетон створює невелике вертикальне навантаження на конструкцію. Це особливо важливо в районах, де ґрунти є нестійкими. Для бідних ґрунтів використання пінобетону забезпечує можливість отримання 100% стійкого легкого фундаменту.

Побудова моделі задачі. Для оцінки міцності пінобетону актуальним є побудова математичних моделей, що дадуть можливість спрогнозувати його міцність про різних значеннях густини. Також такі математичні моделі є корисними у випадку, коли густина отриманого пінобетону відрізняється від наявних у літературі даних, для яких експериментальними методами визначено межу міцності при стиску. Ця проблема є особливо актуальною при виготовленні пінобетону методом попереднього спінювання. На основі цих моделей можна спрогнозувати міцність матеріалу та оптимально його використовувати при будівництві.

За результатами експериментальних досліджень [1, 3] побудуємо модель залежності міцності пінобетону на стиск від густини матеріалу. На

рис. 3 представлено графічну залежність між густиною та міцністю пінобетону при стиску.

Використовуючи метод інтерполяції [5] побудуємо моделі, що даватимуть можливість спрогнозувати міцність пінобетону. Отримані за використання методу інтерполяції моделі та їх достовірність наведені у таблиці 1.

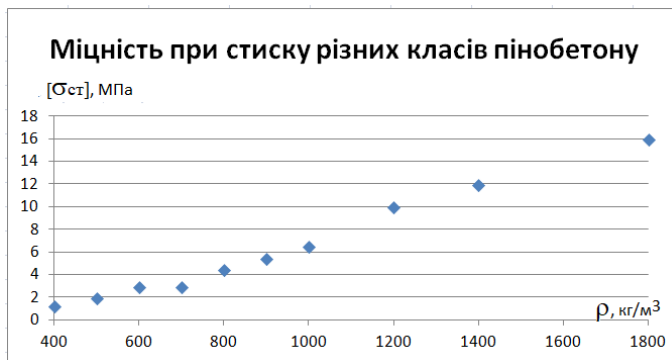


Рис. 3. Міцність пінобетону при стиску

Таблиця 1

Функціональна залежність прогнозованої міцності пінобетону

Залежність	Значення коефіцієнтів	Достовірність
$[\sigma_c] = a \cdot e^{b \cdot \rho}$	$a = 0,9237; b = 0,0018$	0,924
$[\sigma_c] = a + b \cdot \rho$	$a = 0,011; b = -3,8637$	0,9856
$[\sigma_c] = a \cdot \ln(\rho) + b$	$a = 9,8055; b = -59,688$	0,9057
$[\sigma_c] = a + b\rho + c\rho^2$	$a = 1 \cdot 10^{-6}; b = 0,0081$ $c = -2,5657$	0,9883
$[\sigma_c] = a + b\rho + c\rho^2 + d\rho^3$	$a = -6 \cdot 10^{-9}; b = 2 \cdot 10^{-5};$ $c = -0,0122; d = 3,2284$	0,9962
$[\sigma_c] = a \cdot \rho^b$	$a = 5 \cdot 10^{-5}; b = 1,7134$	0,9888

Висновки. Побудовані у роботі моделі для оцінки міцності на стиск пінобетону мають нескладний вигляд та є зручними для прогнозування величини граничних напружень при стиску для різних значень густини матеріалу. Використання таких аналітичних підходів дає можливість використовувати пінобетон у якості альтернативного будівельного матеріалу, оскільки дозволяє оцінити його міцність та забезпечити підбір оптимальної густини матеріалу задля реалізації конструктивних рішень різної складності.

References

1. Sagar W., D., Ajay L. D., Nikhade H.R. (2014) Cellular Lightweight Concrete. Journal of Advantage Research in Mechanical and Civil Engineering, Vol. 2, Iss. 4, 22-25.
3. Fu Ya., Wang X., Wang L., Li Yu (2020) Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Advanced in Material Science and Engineering, ID 6153602.
3. Othman, R.; Jaya, R.P.; Muthusamy, K.; Sulaiman, M.; Duraisamy, Y.; Abdullah, M.M.A.B.; Przybył, A.; Sochacki, W.; Skrzypczak, T.; Vizureanu, P.; et al. (2021) Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete. Materials 2021, 14, 2967.
4. Foam concrete – Materials, Properties, Advantage and Production Methods <https://theconstructor.org/concrete/foam-concrete-materials-properties-advantages-production/15921>
5. Dariusz Ja. Ja. Numerical Quadratures Using the Interpolation Method of Hurwitz-Radon Matrices (2014) Advances in Linear Algebra & Matrix Theory, Vol.4 No.2, 100-108

Список використаної літератури

1. Sagar W., D., Ajay L. D., Nikhade H.R. (2014) Cellular Lightweight Concrete. Journal of Advantage Research in Mechanical and Civil Engineering, Vol. 2, Iss. 4, 22-25.
3. Fu Ya., Wang X., Wang L., Li Yu (2020) Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Advanced in Material Science and Engineering, ID 6153602.
3. Othman, R.; Jaya, R.P.; Muthusamy, K.; Sulaiman, M.; Duraisamy, Y.; Abdullah, M.M.A.B.; Przybył, A.; Sochacki, W.; Skrzypczak, T.; Vizureanu, P.; et al. (2021) Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete. Materials 2021, 14, 2967.
4. Foam concrete – Materials, Properties, Advantage and Production Methods <https://theconstructor.org/concrete/foam-concrete-materials-properties-advantages-production/15921>
5. Dariusz Ja. Ja. Numerical Quadratures Using the Interpolation Method of Hurwitz-Radon Matrices (2014) Advances in Linear Algebra & Matrix Theory, Vol.4 No.2, 100-108