

УДК 691.3

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ПОЛІСТИРОЛБЕТОНУ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

DESIGN OF POLYSTYRENE CONCRETE MIXTURE

Кочкаръов Г. В., асп., Гарницький Ю. В., к.т.н., доцент, Дворкин Л. Й., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Кочкарёв Г. В., асп., Гарницкий Ю. В., к.т.н., доцент, Дворкин Л. И., д.т.н., профессор (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Kochkarjow G. V., post-graduate student, Harnitskyi Y. V., candidate of technical sciences, associate professor, Dvorkin L. J., doctor of technical sciences, professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

В статті запропонований алгоритм проектування складу полістиролбетону із заданими значеннями міцності на стиск та середньої густини. Використання методу "приведеного" цементно-водного відношення дозволило врахувати можливість застосування активних мінеральних добавок для зниження витрати цементу. Наведені приклади розрахунку складу теплоізоляційного та конструктивно-теплоізоляційного полістиролбетону.

В статье предложен алгоритм проектирования состава полистиролбетона с заданными значениями прочности на сжатие та средней прочности. Использование метода "приведенного" цементно-водного отношения позволило учесть возможность применения активных минеральных добавок для снижения расхода цемента. Приведены примеры расчета состава теплоизоляционного та конструктивно-теплоизоляционного полистиролбетона.

In the article the algorithm of design of polystyrene concrete mixture with predetermined values of compressive strength and average density is offered. The use of method of "resulted" cement-water ratio that allows to consider possibility of using of finely divided mineral admixtures for weight consumption of cement. An examples of calculation of the mixture of heat insulation and constructional polystyrene concrete is given.

Ключові слова:

Енергозбереження, полістиролбетон, склад, властивості, міцність на стиск.
Энергосбережение, полистиролбетон, состав, свойства, прочность на сжатие.
Saving energy, polystyrene concrete, mixture, properties, compressive strenght.

Одним із ефективних теплоізоляційних і конструкційно-теплоізоляційних матеріалів, який знаходить певне застосування в будівництві, є полістиролбетон. Цей матеріал володіє задовільними міцнісними характеристиками при низькій густині, має пониженою теплопровідність і сорбційну вологість, покращені показники морозостійкості, хімічної і біологічної стійкості. Тому актуальною є задача розробки методики розрахунку його складу при умові забезпечення заданих проектних вимог. Певні спроби розробити таку методику на основі суто емпіричного підходу наведені в роботах В.А. Рахманова [1, 2]. Однак пропонувані автором залежності мають обмежене застосування, бо не враховують можливість введення до складу полістиролбетону піску та активних мінеральних добавок для збільшення міцності та зменшення витрати цементу.

Розрахунок складів легких бетонів на відміну від важких потребує забезпечення поряд із міцністю, також і середньої густини. Для важких бетонів розрахункове визначення складів стало можливим завдяки використанню правила В/Ц, що припускає однозначну залежність міцності бетону від водоцементного відношення.

Залежність міцності бетону від В/Ц правильно розглядати не як самостійний і основний закон їх міцності, а як наслідок або правило, що впливає з універсальної фізичної закономірності. Ця закономірність полягає в залежності міцності твердих матеріалів від їхньої відносної густини або пористості. Для полістиролбетону, як і для бетонів на пористих заповнювачах правило водоцементного відношення в традиційному формулюванні [3] неприйнятне, оскільки міцність цього виду бетонів визначається не тільки пористістю і відповідно міцністю цементного каменю, але також міцністю й об'ємною концентрацією заповнювача.

Нашими роботами [4-6] доведено, що міцність бетону як на щільних, так і на пористих заповнювачах можна описати лінійною залежністю, яка включає "приведене" цементно-водне відношення:

$$f_c = pA_i R_y \cdot \left(\frac{Ц + k_{ц.е.} \cdot Д}{B + V_n} + b \right), \quad (1)$$

де pA_i - мультиплікативний коефіцієнт, який враховує якість вихідних матеріалів, легкоукладальність суміші, вид і концентрацію добавок і ін.; $R_{ц}$ - активність цементу, МПа; $Ц$ - витрата цементу на 1 м^3 бетону, кг/м^3 ; $k_{ц.е.}$ - коефіцієнт цементуючої ефективності або "цементний еквівалент" 1 кг активної мінеральної добавки, якщо вона вводиться в бетон; $Д$ - витрата активної мінеральної добавки, кг/м^3 ; $В$ - витрати води на 1 м^3 бетону, л/м^3 ;

$V_{п}$ - об'єм повітря, залученого в бетонну суміш в т.ч. пористими заповнювачами, який "приводиться" до впливу води, що в основній своїй масі утворює капілярні пори цементного каменю, л.

Для розрахунку міцності полістиролбетону можна прийняти

$$V_{П} = V_{Пс} + V_{з.п.} + V_{в.п.}, \quad (2)$$

де $V_{Пс}$ – об'єм пінополістирольних гранул, л; $V_{в.п.}$ – об'єм повітря, яке вводиться завдяки повітровтягувальній добавці чи технічній піні, $V_{з.п.}$ – об'єм залишкового повітря в бетонній суміші після формування, л.

Якщо значення $V_{в.п.}$ і $V_{з.п.}$ невідомі, виходячи з методу абсолютних об'ємів з достатньою точністю можна вважати, що

$$\begin{aligned} V_{П} &= V_{Пс} + V_{в.п.} + V_{з.п.} = \\ &= 1000 - \left(C / \rho_C + D / \rho_D + П / \rho_{П} + B \right), \end{aligned} \quad (3)$$

де $П$ - витрата піску на 1000 літрів полістиролбетонної суміші, $\rho_C, \rho_D, \rho_{П}$ - дійсна густина цементу, активної мінеральної добавки та піску відповідно.

Мультиплікативний коефіцієнт pA_i для полістиролбетону можна записати у вигляді:

$$pA_i = A_1 A_2 A_3 A_4 \quad (4)$$

де множник A_1 залежить від діаметра полістирольних гранул, A_2 враховує інші їх особливості, A_3 враховує наявність чи відсутність піску у складі полістиролбетону, A_4 – вплив хімічних добавок.

Для перевірки можливості застосування залежності (1) в широкому діапазоні значень активності цементу та міцності і густини полістиролбетону, а також для уточнення значень $A_1...A_4$ було виконано ряд експериментальних досліджень та виконана статистична обробка їх результатів та даних, отриманих іншими авторами.

Як і очікувалось, зміна активності цементу пропорційно впливає на міцність полістиролбетону за інших рівних умов (рис.1).

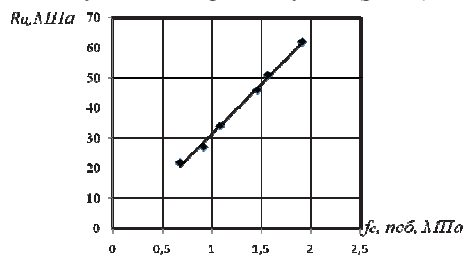


Рис.1. Залежність міцності на стиск полістиролбетону від активності цементу

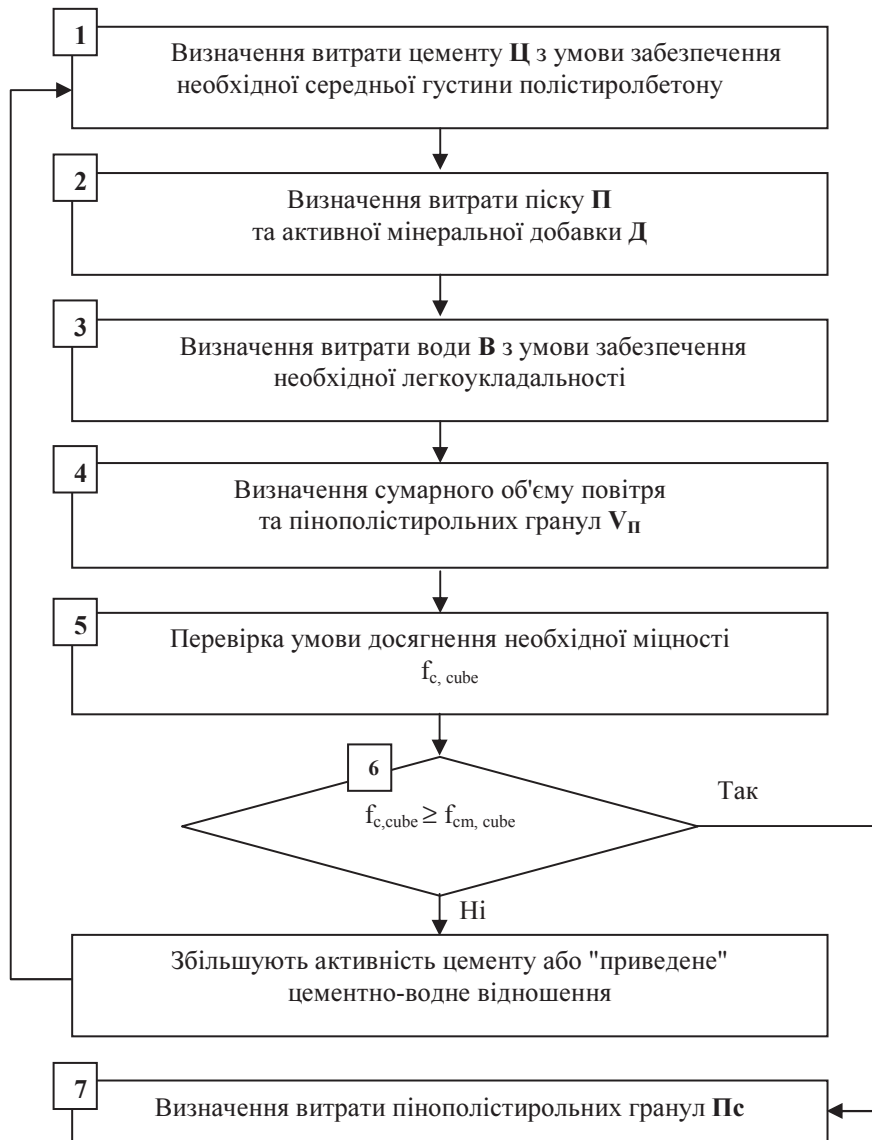


Рис.2. Алгоритм розрахунку складу полістиролбетону із заданими міцністю і густиною

Статистична обробка результатів виконаних досліджень та даних [1, 7, 8] (всього більше 100 експериментальних точок) дозволила встановити, що з достатнім роівнем статистичної забезпеченості можна прийняти $A_1=d^{-0,2}$, $A_2=0,171$, де d – середній діаметр гранул полістиролу, мм. Коефіцієнт A_3 при

наявності у складі полістиролбетону дрібного заповнювача піску можна прийняти рівним $A_3=1,19$, при його відсутності $A_3=1$. До накопичення експериментальних даних про вплив хімічних добавок на міцність полістиролбетону слід вважати $A_4=1$.

Середню густина легкого бетону можна описати відомою [9] залежністю

$$\rho_0 = 1,15Ц + 3 \quad (5)$$

де 3 – сумарна витрата заповнювачів та активних наповнювачів на 1 м^3 бетону. Виходячи з правил "приведеного Ц/В" і абсолютних об'ємів [1] можна запропонувати наступний алгоритм (рис.2) розрахунку полістиролбетону із заданими міцністю та густиною.

Крок 1. Визначаємо витрату цементу.

Запишемо рівняння густини бетону (4) у вигляді

$$\begin{aligned} \rho_0 = 1,15Ц + П + Д + Пс &= 1,15Ц + C_{ПЦ}Ц + C_{ДЦ}Ц + C_{ПсЦ}Ц = \\ &= Ц (1,15 + C_{П} + C_{Д} + C_{Пс}), \end{aligned} \quad (8)$$

де П – витрата інертних заповнювачів (піску) на 1 м^3 бетону;

$C_{П} = П/Ц$ – співвідношення "пісок : цемент";

$C_{Д} = Д/Ц$ – співвідношення "активна мінеральна добавка : цемент",

$C_{Пс} = Пс/Ц$ – співвідношення "пінополістирольні гранули : цемент".

Оскільки витрата пінополістирольних гранул становить 3...5% від маси цементу, то на стадії розрахунку його складу можна прийняти $C_{Пс} = Пс/Ц \approx 0$.

Тоді витрата цементу з умови забезпечення необхідної густини:

$$Ц = \frac{\rho_0}{1,15 + C_{П} + C_{Д}} \quad (7)$$

В першому наближенні на стадії проектування складу значення $C_{П}$ для теплоізоляційного бетону можна приймати в межах $C_{П} = 0,25...0,5$, для конструкційно-теплоізоляційного $C_{П} = 0,5...1,5$ з врахуванням заданих вимог до полістиролбетону. Коефіцієнт $C_{Д} = 0,25...0,5$ для молотого доменного шлаку та $C_{Д} = 0,5...1$ для золи-виносу.

Крок 2. Визначаємо витрату піску та активної мінеральної добавки:

$$П = C_{ПЦ}Ц, \quad (8)$$

$$Д = C_{ДЦ}Ц. \quad (9)$$

Крок 3. Призначаємо витрату води для досягнення необхідної текучості полістиролбетонної суміші. При формуванні литтям вона складає 190...210 кг/м³. Можливе зменшення вказаного значення при застосуванні добавок пластифікаторів.

Крок 4. Визначаємо сумарний об'єм в бетоні пінополістирольних гранул та повітря згідно залежності (3).

Крок 5. Перевіряємо можливість досягнення необхідної міцності за залежністю (1).

Якщо умова міцності виконується, тобто розраховане значення міцності полістиролбетону не менше нормованого $f_{c, \text{cube}} \geq f_{cm, \text{cube}}$, то переходять до

наступного кроку. При суттєвому (більше 20%) перевищенні $f_{c, cube}$ його нормованого значення $f_{cm, cube}$ приймають заходи по економії цементу – замінюють його частину на пісок чи активну мінеральну добавку, збільшивши коефіцієнти $C_{п}$ і $C_{д}$ у рівнянні (7).

У разі невиконання умови міцності (1) слід використати цемент з вищою активністю або збільшити значення "приведеного цементно-водного відношення", застосувавши один із наступних прийомів:

- зменшення вмісту піску $C_{п}$ або повна заміна піску на активну мінеральну добавку;
- використання мінеральної добавки з більшою "цементуючою ефективністю";
- повна заміна усіх компонентів цементом ($C_{п}=C_{д}=0$).

Якщо вказані прийоми не дозволяють забезпечити необхідну міцність, то задане співвідношення "міцність : середня густина" забезпечити неможливо.

Орієнтовні співвідношення "максимальна міцність : середня густина" полістиролбетону, а також рекомендовані значення співвідношень $C_{п}$ (між витратою цементу і піску) та $C_{д}$ (між витратою цементу і пуцоланової добавки) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Співвідношення "максимальна міцність : середня густина"
для полістиролбетону

Середня густина, кг/м ³	Параметри складу					
	$C_{д}=C_{п}=0$	$C_{д}=0,5;$ $C_{п}=0$	$C_{д}=0;$ $C_{п}=1$	$C_{д}=0,5;$ $C_{п}=0,5$	$C_{д}=0,5;$ $C_{п}=1$	$C_{д}=0,5;$ $C_{п}=1,5$
	Максимальна міцність полістиролбетону, МПа					
300	0,55	-	-	-	-	-
400	1,40	0,87	-	-	-	-
500	2,31	1,62	0,54	1,02	0,49	-
600	3,27	2,43	1,09	1,77	1,10	0,63
700	-	3,30	1,68	2,57	1,76	1,20
800	-	4,25	2,32	3,45	2,49	1,82
900	-	-	3,03	4,40	3,28	2,50
1000	-	-	3,80	5,45	4,15	3,24

Крок 6. Визначаємо витрату пінополістирольних гранул та повітровтягуювальної (піноутворюючої) добавки, якщо вона вводиться:

- при дозуванні гранул за об'ємом (у насипному стані):

$$Pc^V = \frac{V_{II} - V_{в.п.} - V_{з.п.}}{1 - P_{Pc}}, \quad (10)$$

де об'єм втягнутого повітря $V_{в.п.}$ визначається за рекомендаціями до застосування повітровтягувальної добавки (як правило [4] він становить 40...60 л), $V_{з.п.} = 10...20$ л.

- при дозуванні гранул за масою:

$$Pc = Pc^V \rho_{н,Пс}. \quad (11)$$

Тут $\rho_{н,Пс}$ – насипна густина суміші пінополістирольних гранул.

Розрахункові склади полістиролбетону як і інших видів бетонів підлягають експериментальному уточненню.

Висновки:

Наведений метод прорахунку полістиролбетону з використанням "приведеного цементно-водного відношення" дозволяє не тільки запроєктувати його склад з достатньою статистичною забезпеченістю, але й розширити діапазону технологічних задач, дозволивши враховувати вплив активних мінеральних та хімічних (повітровтягувальних, пластифікаторів) добавок, які вводяться в бетонну суміш.

1. Рахманов В.А. Инновационная технология полистиролбетона с оптимальными свойствами // Строительные материалы, технологии, оборудование XXI века.- №1, 2009.- С.37-41.
2. Рахманов В.А. Расчетный метод определения состава полистиролбетона с требуемой прочностью и минимальной плотностью // Промышленное и гражданское строительство.- №7, 2009.- С.45-47.
3. Л. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1987. – 449 с..
4. Л.И. Дворкин Проектирование составов бетона с применением метода приведенного цементно-водного отношения / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин // Технологии бетонов 2009. - №5. - С. 34-36.
5. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства. - К.: Основа, 2007. - 616 с.
6. Дворкін Л.Й. Проектування складу легкого бетону з використанням методу "приведеного ц/в" // Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин, О. М. Бордюженко / Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2014. Вип. 26.- С. 98-105.
7. Дворкін Л.Й. Міцність на стиск полістиролбетону / Дворкін Л.Й., Кочкар'юв Г.В. // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2014. Вип. 28.- С. 32-38.
8. Садович М. А. Пенополистиролцементные композиции в строительных материалах: Результаты исследований и внедрения в строительство. - Братск: БрГТУ, 2000.-147 с.
9. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях.- М.: Стройиздат, 1970.- 272 с.