

УДК 666.973.6

Дворкін Л.Й., доктор технічних наук, професор,  
 Безусяк О.В., кандидат технічних наук, доцент,  
 Ковалик І.В., кандидат технічних наук, асистент,  
 Національний університет водного господарства та  
 природокористування, м. Рівне

## РОЗРАХУНОК СКЛАДІВ ПОРИЗОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

**Поризовані будівельні суміші** представляють собою гетерогенні системи, дисперсною фазою яких є повітряні бульбашки, а дисперсійним середовищем – розчинна суміш на основі в'язучого з можливим включенням наповнювачів. Розчинна суміш, в свою чергу, також можна розглядати як гетерогенну систему, дисперсною фазою в якій є суміш в'язучого і наповнювача, а дисперсійним середовищем – вода замішування з розчиненою в ній ПАР [1]. На рис. 1. приведена розрахункова схема поризованої суміші.

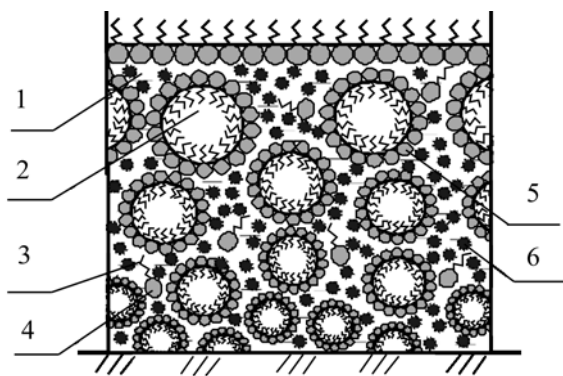


Рисунок 1 - Розрахункова схема поризованої суміші:

- 1 – розчин ПАР;
- 2 – повітряне включення (бульбашка);
- 3 – гідрофобна частина молекули ПАР;
- 4 – гідрофільна частина молекули ПАР;
- 5 – “килим” з одного шару молекул ПАР;
- 6 – суміш в'язучого і наповнювача

Якість поризованої суміші характеризуються кратністю та густиною [2].

При взаємодії в'язучого з водним розчином ПАР, утворюється тісто, густина якого значно більша ніж густина водного розчину ПАР. Збільшення густини дисперсійного середовища поризованої суміші по відношенню до дисперсійного середовища піни, призводить до підвищення тиску газу в бульбашках і відповідно до зменшення їх об'єму.

Маса в'язучого, наприклад гіпсу ( $\Gamma$ ), в 1 дм<sup>3</sup> піногіпсової суміші становить:

$$\Gamma = \frac{\rho_{nz.c} V_{nz.c}}{1 + B/\Gamma}, \quad (1)$$

де  $\rho_{nz.c}$  – густина піногіпсової суміші;  $V_{nz.c}$  – об'єм 1 дм<sup>3</sup> піногіпсової суміші;  $B$  – маса води, г;

Об'єм гіпсового тіста в 1 дм<sup>3</sup> піногіпсової суміші визначиться за залежністю:

$$V_{z.m} = \frac{\Gamma}{\rho_{z.g}} + \Gamma \frac{B}{(\Gamma \rho_g)}, \quad (2)$$

де  $\rho_{z.g}$  – густина гіпсового в'язучого,  $\rho_{z.g} = 2,65$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_g$  – густина води,  $\rho_g = 1$  г/см<sup>3</sup>.

Об'єм газу в 1 дм<sup>3</sup> піногіпсової суміші становить:

$$V_{z(nz.c)} = V_{nz.c} - V_{z.m} = V_{nz.c} - \Gamma \left( \frac{1}{\rho_{z.g}} + \frac{B}{\Gamma} \right). \quad (3)$$

**Кратність поризованої суміші** є відношення її об'єму до об'єму розчинової суміші, що включає в'язуче та наповнювач [3]. Для піногіпсової суміші:

$$\beta_{nz.c} = \frac{V_{nz.c}}{V_{z.m}} = \frac{\Gamma/\rho_{z.g} + B/\rho_g + V_{z(nz.c)}}{\Gamma/\rho_{z.g} + B/\rho_g} = 1 + \frac{V_{z(nz.c)}}{\Gamma(1/\rho_{z.g} + B/\Gamma)}, \quad (4)$$

Рівняння (4) включає об'єм газу в піногіпсовій суміші  $V_{z(nz.c)}$ , який можна визначити за рівнянням:

$$V_{z(nz.c)} = A_z V_z, \quad (5)$$

де  $A_z$  – параметр, який враховує зміну стану газу (зміну його об'єму при зміні тиску) в піні та його втрати, при замішуванні гіпсового в'язучого з піною;  $V_z$  – об'єм газу в піні, який на основі попередніх досліджень авторів визначається за залежністю:

$$V_z = \frac{A_o(\sigma_o - a_n \ln(1 + 3,25^m C))V_p C}{1000 I}, \quad (6)$$

де  $A_o$  – коефіцієнт, який враховує умови диспергування розчину і клас ПАР;  $\sigma_o$  – поверхневий натяг води,  $\sigma_o = 72,8$  мН/м;  $a_n$  – постійна для гомологічного ряду ПАР у піні;  $m$  – величина пропорційна номеру гомологічного ряду;  $C$  – концентрація розчину ПАР, %;  $V_p$  – об'єм розчину ПАР, мл;  $I$  – умовна інтенсивність диспергування розчину. Для прийнятих умов проведення дослідів  $A_o = 1675$ ,  $a_n = 3,96$ , для синтетичного ПАР Hostapur OSB  $m = 14$  та  $I = 1$ .

Враховуючи рівняння (5), (6) і те, що  $\rho_g = 1$  г/см<sup>3</sup>, рівняння (4) прийме вид:

$$\beta_{nz.c} = 1 + \frac{A_z A_o (\sigma_o - a_n \ln(1 + 3,25^m C)) V_p C}{1000 I \Gamma (1/\rho_{z.g} + B/\Gamma)}. \quad (7)$$

**Густина поризованої суміші** є відношення маси суміші до її об'єму. Для піногіпсової суміші:

$$\rho_{nz.c} = \frac{m_{nz.c}}{V_{nz.c}} = \frac{\Gamma + B}{\Gamma/\rho_{z.g} + B/\rho_g + V_{z(nz.c)}}, \quad (8)$$

де  $m_{nz.c}$  – маса поризованої суміші, г.

Враховуючи рівняння (7), і те, що  $\rho_g = 1$  г/см<sup>3</sup>, рівняння (8) прийме вид:

$$\rho_{nz.c} = \frac{1 + B/\Gamma}{\beta_{nz.c} (1/\rho_{z.g} + B/\Gamma)}. \quad (9)$$

Рівняння (7) включає невідомий параметр  $A_z$ , який був визначений для піногіпсової суміші на основі експериментальних досліджень. Основними факторами, які впливають на показники якості піногіпсової суміші, є водогіпсове відношення  $B/\Gamma$  та відношення об'єму газу в піногіпсовій суміші до маси гіпсу в ній  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$ .  $B/\Gamma$  впливає на текучість піногіпсової суміші, а  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  – на розмір та кількість бульбашок в піногіпсовій суміші в залежності від якісних показників піни. Умови планування експерименту наведені в табл.1.

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

**Таблиця 1 - Умови планування експерименту**

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний вид	кодований вид	-1	0	+1	
Водогіпсове відношення $B/\Gamma$	$X_1$	0,74	0,80	0,86	0,06
Відношення об'єму газу в піногіпсовій суміші до маси гіпсу в ній $V_{z(nz.c)}/\Gamma$	$X_2$	0,1	0,8	1,5	0,7

Експериментальні дослідження проводились за трирівневим планом для  $k=2$  [4]. Матриця планування, склад піногіпсової суміші та вихідні параметри наведено в табл. 2.

При виконанні експериментів були використанні наступні матеріали: піноутворювач Hostapur OSB, будівельний гіпс марки Г-5 (ВАТ "Івано-Франківськцемент"). Приготування піногіпсової суміші виконувалось методом сухої мінералізації. Піна отримувалась шляхом диспергування, який полягав в інтенсивному сумісному перемішуванні розчину піноутворювача та повітря за допомогою міксеру при 3000 обертах насадки за хвилину на протязі 2 хв. В подальшому на протязі 20 с піна перемішувалась з гіпсовим в'язучим і отримана суміш формувалась у формах розміром  $10 \times 10 \times 10$  см.

Об'єм піногіпсової суміші визначався після її приготування об'ємним способом, а маса і об'єм гіпсового тіста – теоретично з врахуванням його складу. Кратність піногіпсової суміші визначалась як відношення її об'єму до об'єму гіпсового тіста, а густина піногіпсової суміші – як відношення її маси до об'єму (табл. 2).

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії вихідного параметру:

$$A_z = 0,207 + 0,117 B/\Gamma + 0,803 V_{z(nz.c)}/\Gamma - 0,316 (V_{z(nz.c)}/\Gamma)^2. \quad (10)$$

**Таблиця 2 - Матриця планування, склад піногіпсової суміші та вихідні параметри**

№ е. т.	Кодовані значення факторів		Натуральні значення факторів		Склад піногіпсової суміші			Вихідні параметри		
	$X_1$	$X_2$	$B/\Gamma$	$V_{z(nz.c)}/\Gamma, \text{ г/см}^3$	$\Gamma, \text{ г}$	$B, \text{ мл}$	$ПАР, \text{ г}$	$A_z$	$\beta_{nz.c}$	$\rho_{nz.c}, \text{ г/см}^3$
1	1	1	0,86	1,5	440	378	46,1	0,80	2,22	0,68
2	1	-1	0,86	0,1	900	774	8,70	0,38	1,65	1,39
3	-1	1	0,74	1,5	460	340	51,7	0,79	2,35	0,66
4	-1	-1	0,74	0,1	990	733	9,90	0,37	1,09	1,43
5	1	0	0,86	0,8	590	507	30,5	0,75	1,08	0,91
6	-1	0	0,74	0,8	630	466	34,6	0,73	1,71	0,91
7	0	1	0,8	1,5	450	360	48,8	0,79	2,28	0,67
8	0	-1	0,8	0,1	945	756	9,30	0,38	1,08	1,41
9	0	0	0,8	0,8	610	488	32,4	0,74	1,68	0,91
10	0	0	0,8	0,8	610	488	32,4	0,73	1,66	0,93
11	0	0	0,8	0,8	610	488	32,4	0,75	1,71	0,90

На рис. 2 приведенні експериментальні точки параметра  $A_2$  в залежності від  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  при різних  $B/\Gamma$ .

Ці експериментальні точки адекватно апроксимуються за допомогою статистичної моделі (10) при 95 % рівні довірчої ймовірності.

З графіків на рис. 2 видно, що при збільшенні факторів  $B/\Gamma$  та  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$ , значення параметра  $A_2$  монотонно зростає. При цьому вплив фактора  $B/\Gamma$  в досліджуваних межах, є менш значим ніж фактора  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$ .

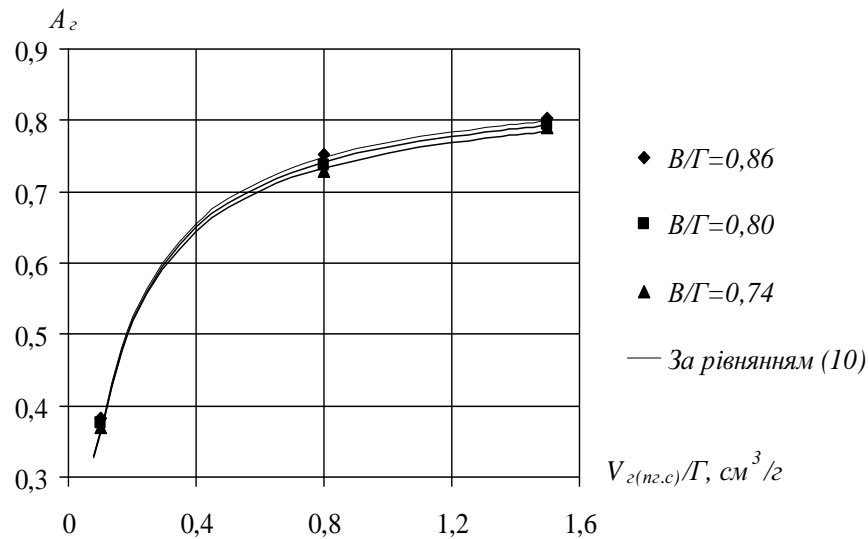


Рисунок 2 - Графіки залежності  $A_2$  від  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  при різних  $B/\Gamma$

Експериментальні точки кратності піногіпсової суміші в залежності від досліджених факторів показані на рис. 3.

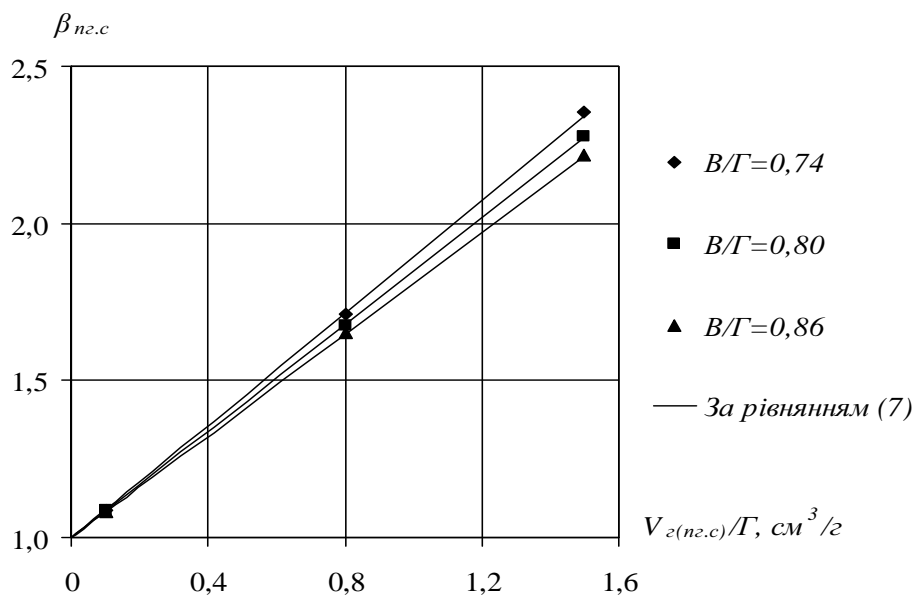
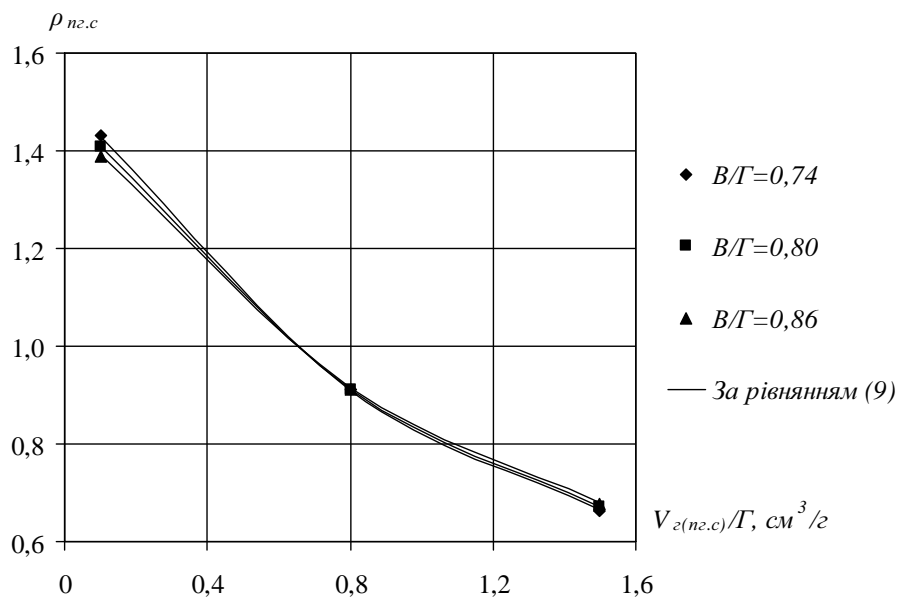


Рисунок 3 - Графіки залежності  $\beta_{nz.c}$  від  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  при різних  $B/\Gamma$

Експериментальні точки, які наведені на рис. 3 апроксимовані за допомогою отриманого рівняння (7). Аналіз графіків показує, що на кратність піногіпсової суміші суттєвий вплив здійснює фактор  $X_2 - V_{z(nz.c)}/\Gamma$ , при його збільшенні  $\beta_{nz.c}$  монотонно зростає. Фактор  $X_1 - B/\Gamma$ , здійснює незначний вплив на кратність піногіпсової суміші в прийнятих межах досліджень. При його збільшенні  $\beta_{nz.c}$  зменшується.

Експериментальні точки густини піногіпсової суміші в залежності від досліджених факторів наведені в табл. 1 та показані на рис. 4.

Ці дослідні точки адекватно апроксимовані за допомогою рівняння (9). Аналіз графіків приведених на рис. 6 показує, що при збільшенні фактора  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  густина піногіпсової суміші зменшується. При малих значеннях  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  із збільшенням  $B/\Gamma$  густина піногіпсової суміші теж зменшується. При великих значеннях фактора  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  із збільшенням  $B/\Gamma$   $\rho_{nz.c}$  – збільшується.



**Рисунок 4 - Графіки залежності  $\rho_{nz.c}$  від  $V_{z(nz.c)}/\Gamma$  при різних  $B/\Gamma$**

У виробничих умовах, для прийнятої технології, **задача проектування поризованої суміші** полягає у визначенні її складу по заданим значенням оптимального водов'язучого відношення, густини та об'єму.

### Приклад розрахунку:

Розрахунок виконується на  $1 \text{ м}^3$  піногіпсової суміші.

Розрахувати склад та охарактеризувати макроструктуру піногіпсової суміші густиною  $\rho_{nz.c}=0,7 \text{ кг/дм}^3$ , об'ємом  $V_{nz.c}=1000 \text{ дм}^3$  при водогіпсовому відношенні  $B/\Gamma=0,74$ .

Виготовлення піногіпсової суміші виконано за наступними технологічними параметрами: розчин ПАР Hostapur OSB з вихідною концентрацією  $C_g=30 \%$ , емпіричне значення номеру гомологічного ряду ПАР  $m=14$ , коефіцієнт  $a_n=3,96$ , умови диспергування  $A_b=1675$ , умовна інтенсивність перемішування розчину ПАР  $I=1$ .

Порядок розрахунку наступний:

1. Визначаємо витрату гіпсового в'язучого:

$$\Gamma = \frac{\rho_{nz.c} V_{nz.c}}{1 + B/\Gamma} = \frac{0,7 \cdot 1000}{1 + 0,74} = 402 \text{ кг.}$$

2. Визначаємо витрату води:

$$B = \Gamma \frac{B}{\Gamma} = 402 \cdot 0,74 = 298 \text{ л.}$$

3. Визначаємо об'єм гіпсового тіста:

$$V_{z.m} = \Gamma / \rho_{z.g} + B = 402 / 2,65 + 298 = 450 \text{ л.}$$

4. Визначаємо кратність піногіпсової суміші:

$$\beta_{nz.c} = V_{nz.c} / V_{z.m} = 1000 / 450 = 2,23.$$

5. Визначаємо відношення об'єму газу в піногіпсовій суміші до маси гіпсового в'язучого:

$$V_{z(nz.c)} / \Gamma = (\beta_{nz.c} - 1)(1 / \rho_{z.g} + B / \Gamma) = (2,23 - 1)(1 / 2,65 + 0,74) = 1,37.$$

6. Визначаємо об'єм газу в піні:

$$V_z = \frac{V_{z(nz.c)}}{\Gamma} \Gamma \left/ \left( 0,207 + 0,117 B / \Gamma + 0,803 V_{z(nz.c)} / \Gamma - 0,316 \left( V_{z(nz.c)} / \Gamma \right)^2 \right) \right. = \\ = 1,37 \cdot 402 / (0,207 + 0,11 \cdot 0,74 + 0,803 \cdot 1,37 - 0,316 \cdot 1,37^2) = 708 \text{ л.}$$

7. Визначаємо об'єм піни:

$$V_n = V_p + V_z = B + V_z = 298 + 708 = 1005 \text{ л.}$$

8. Визначаємо кратність піни:

$$\beta_n = \frac{V_n}{B} = \frac{1005}{298} = 3,38.$$

9. Методом ітерації визначаємо концентрацію піноутворюючого розчину, яка забезпечить необхідну кратність піни:

$$C = \frac{1000 (\beta_n - 1) I}{A_d (\sigma_o - \alpha_n \ln(1 + 3,25^m C))} = \\ = \frac{1000 (3,38 - 1)}{1675 (72,8 - 3,96 \ln(1 + 3,25^{14} \cdot 0,082))} = 0,082 \text{ \%}.$$

10. Визначаємо необхідну масу піноутворювача (на суху речовину) для утворення розчину з концентрацією C:

$$Q = \frac{V_p C}{100} = \frac{298 \cdot 0,082}{100} = 0,243 \text{ кг.}$$

11. Визначаємо необхідний об'єм розчину піноутворювача з вихідною об'ємною концентрацією  $C_g$  для приготування піни:

$$V_g = \frac{Q}{C_g} 100 = \frac{0,243}{30} 100 = 0,809 \text{ л.}$$

12. Визначаємо масу води у піноутворюючому розчині з вихідною концентрацією:

$$B_{n.p.g} = V_g - Q = 0,809 - 0,243 = 0,567 \text{ л.}$$

13. Визначаємо кількість води, яка необхідна для приготування піноутворюючого розчину з концентрацією  $C$ .

$$V_{n.p} = V - V_{n.p.g} = 298,0 - 0,6 = 297,4 \text{ л.}$$

Таким чином, на основі виконаного розрахунку, для прийнятої технології приготування  $1\text{ м}^3$  піногіпсової суміші з густиною  $0,7 \text{ кг/м}^3$  необхідно  $402 \text{ кг}$  гіпсу,  $297,4 \text{ л}$  води та  $0,6 \text{ л}$   $30\%$  розчину ПАР.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Курс коллоидной химии / под общей ред. А.П. Писаренко. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1969. – 248 с.
2. Ковалик І.В. Розрахунок параметрів технічної піни / І.В. Ковалик // Вісник НУВГП. – Рівне, 2010. – Вип. 4 (55). – С. 127-133.
3. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / [В.К.Тихомиров], 1983. – М. : Химия, – 264 с. – (Монографія).
4. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1982. – 103 с.