РОЗРАХУНОК СКЛАДІВ ПОРИЗОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА ПРИКЛАДІ ПІНОГІПСУ

CALCULATION OF THE COMPOSITIONS OF POROSITIES BUILDING MIXTURES BY THE EXAMPLE OF FOAMGYPSUM

**Ковалик І.В., к.т.н., ст. викладач, Безусяк О.В., к.т.н., доц.,
Мельник Д.О., студент (Національний університет водного господарства та
природокористування, Україна, м. Рівне)**

**Kovalyk I.V., candidate of technical sciences, senior lecturer, Bezusyak O.V.,
candidate of technical sciences, associate professor, Melnic D. O., student
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

**В статті приводяться дослідження по визначенню основних показників
якості поризованої будівельної суміші (макроструктура, кратність та
густина). Отримані теоретичні залежності та доказана їх адекватність.
Наведено алгоритм проектування поризованої будівельної суміші на
прикладі піногіпсу.**

**The research of porosities build mixture quality indexes determination
(macrostructure, multiplicity and density of mixture) is shown in the article.
The theoretical dependencies are obtained and their adequacy was proved.
The algorithm design of porosities build mixture is proposed by the example
of foamgypsum. This equations adequately describes the experimental points
in the research. Thus, on the basis of experimental studies, the equations for
predicting the strength of foam and the strength of foam-gypsum have been
obtained. They can be used in the design of porosities build mixture. This
technique has been experimentally tested. A series of samples of foam gypsum
was manufactured according to the given technology.**

Ключові слова:

**Поризована будівельна суміші, макроструктура, кратність, густина, піногіпс.
Пористая строительная смесь, макроструктура, кратность, плотность,
пеногипс.**

**Porosities build mixture, macrostructure, multiplicity, density of mixture,
foamgypsum.**

Вступ. Поризовані будівельні суміші представляють собою гетерогенні системи, дисперсною фазою яких є повітряні бульбашки, а дисперсійним середовищем – розчин на основі в'язучого з можливим включенням наповнювачів. Розчин, 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 розчиною в ній ПАР. На рис. 1. приведена розрахункова схема поризованої суміші.

Рис.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

Теоретичний аналіз. 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 (Γ), в 1 м^3 піногіпсової суміші становить:

$$\Gamma = \frac{\rho_{n2.c} V_{n2.c}}{1 + B/\Gamma}, \quad (1)$$

де $\rho_{n2.c}$ – густина піногіпсової суміші; $V_{n2.c}$ – об'єм 1 м^3 піногіпсової суміші; B – маса води, г;

Об'єм гіпсового тіста в 1 м^3 піногіпсової суміші визначиться за залежністю:

$$V_{2.m} = \frac{\Gamma}{\rho_{2.6}} + \Gamma \frac{B}{(\Gamma \rho_6)}, \quad (2)$$

де $\rho_{2.6}$ – густина гіпсового в'язучого, $\rho_{2.6} = 2,65 \text{ г/см}^3$; ρ_6 – густина води, $\rho_6 = 1 \text{ г/см}^3$. Об'єм газу в 1 дм^3 піногіпсової суміші становить:

$$V_{2(n2.c)} = V_{n2.c} - V_{2.m} = V_{n2.c} - \Gamma \left(\frac{1}{\rho_{2.6}} + \frac{B}{\Gamma} \right). \quad (3)$$

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

$$\beta_{n2.c} = \frac{V_{n2.c}}{V_{2.m}} = \frac{\Gamma/\rho_{2.6} + B/\rho_6 + V_{2(n2.c)}}{\Gamma/\rho_{2.6} + B/\rho_6} = 1 + \frac{V_{2(n2.c)}}{\Gamma(1/\rho_{2.6} + B/\Gamma)}, \quad (4)$$

Рівняння (4) включає об'єм газу в піногіпсовій суміші $V_{2(n2.c)}$, який можна визначити за рівнянням:

$$V_{2(n2.c)} = A_2 V_2, \quad (5)$$

де A_2 – 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_2 – об'єм газу в піні, який на основі попередніх досліджень авторів [2] визначається за залежністю:

$$V_2 = \frac{A_0 (\sigma_0 - a_n \ln(1 + 3,25^m C)) V_p C}{1000 I}, \quad (6)$$

де A_0 – коефіцієнт, який враховує умови диспергування розчину і клас ПАР; σ_0 – поверхневий натяг води, $\sigma_0 = 72,8$ 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 $A_0 = 1675$, $a_n = 3,96$, для синтетичного ПАР Hostapur OSB $m = 14$ та $I = 1$.

Враховуючи рівняння (5), (6) і те, що $\rho_6 = 1$ г/см³, рівняння (4) прийме вид:

$$\beta_{n2.c} = 1 + \frac{A_2 A_0 (\sigma_0 - a_n \ln(1 + 3,25^m C)) V_p C}{1000 I \Gamma (1/\rho_{2.6} + B/\Gamma)}. \quad (7)$$

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

$$\rho_{n2.c} = \frac{m_{n2.c}}{V_{n2.c}} = \frac{\Gamma + B}{\Gamma/\rho_{2.6} + B/\rho_6 + V_{2(n2.c)}}, \quad (8)$$

де $m_{n2.c}$ – маса поризованої суміші, г.

Враховуючи рівняння (7), і те, що $\rho_6 = 1$ г/см³, рівняння (8) прийме вид:

$$\rho_{n\pi.c} = \frac{1 + B/\Gamma}{\beta_{n\pi.c} (1/\rho_{\pi.b} + B/\Gamma)}. \quad (9)$$

Методика досліджень та результати. Рівняння (7) включає невідомий параметр A_2 , який був визначений для піногіпсової суміші на основі експериментальних досліджень. Основними факторами, які впливають на показники якості піногіпсової суміші, є водогіпсове відношення B/Γ та відношення об'єму газу в піногіпсовій суміші до маси гіпсу в ній $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma$. B/Γ впливає на текучість піногіпсової суміші, а $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma$ – на розмір та кількість бульбашок в піногіпсовій суміші в залежності від якісних показників піни. Параметр об'єму газу в піногіпсовій суміші $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma$ прямолінійно залежить від витрати піноутворювача на суху речовину Q/Γ . При $Q/\Gamma = 0,00015$ – $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma \approx 0,1$ см³/г; при $Q/\Gamma = 0,0003$ – $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma \approx 0,8$ см³/г; $Q/\Gamma = 0,00045$ – $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma \approx 0,86$ см³/г [2]. Умови планування експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний вид	кодовий вид	-1	0	+1	
Водогіпсове відношення B/Γ	X_1	0,74	0,80	0,86	0,06
Відношення об'єму газу в піногіпсовій суміші до маси гіпсу в ній $V_{\pi(n\pi.c)}/\Gamma$	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 (БАТ “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 міксера 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 10×10×10 см.

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/Γ	$\frac{V_{z(nz.c)}}{\Gamma}$ см ³ /Г	Γ , Г	B , мл	$ПАР$, Г	A_2	$\beta_{nz.c}$	$\rho_{nz.c}$, 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

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:

$$A_2 = 0,207 + 0,117 B/\Gamma + 0,803 V_{z(nz.c)}/\Gamma - 0,316 (V_{z(nz.c)}/\Gamma)^2. (10)$$

При збільшенні факторів B/Γ та $V_{z(nz.c)}/\Gamma$, значення параметра A_2 монотонно зростає. При цьому вплив фактора B/Γ в досліджуваних межах, є менш значним ніж фактора $V_{z(nz.c)}/\Gamma$.

Експериментальні точки апроксимовані за допомогою отриманого рівняння (7). Аналіз 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 $\beta_{n\epsilon.c}$ зменшується.

При малих значеннях $V_{\epsilon(n\epsilon.c)}/\Gamma$ із збільшенням B/Γ густина піногіпсової суміші теж зменшується. При великих значеннях фактора $V_{\epsilon(n\epsilon.c)}/\Gamma$ із збільшенням B/Γ $\rho_{n\epsilon.c}$ – збільшується.

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:

Розрахувати склад піногіпсової суміші для отримання піногіпсу густиною $\rho_{n\epsilon.c}=700$ кг/м³ та міцністю піногіпсу на стиск 3,7 МПа.

Розрахунок виконується на 1 м³ піногіпсової суміші.

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 $A_o=1675$, умовна інтенсивність перемішування розчину ПАР $I=1$.

Порядок розрахунку наступний:

1. З номограмою, яка отримана в результаті виконаних попередніх досліджень [5] визначаємо оптимальні значення B/Γ та витрату піноутворювача до гіпсового в'язучого Q/Γ , які забезпечують міцність піногіпсу на стиск при задану густину рис. 2. З рис. 2. визначаємо, що для піногіпсу густиною 700 кг/м³ та міцністю на стиск $f_{c,cube}^{n\epsilon} \approx 3,75$ МПа оптимальне значення $B/\Gamma=0,74$ та $Q/\Gamma=1,85 \cdot 10^3$.

2. Визначаємо витрату гіпсового в'язучого:

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

3. Визначаємо витрату води: $B = \Gamma \frac{B}{\Gamma} = 402 \cdot 0,74 = 298$ л.

4. Визначаємо об'єм гіпсового тіста:

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

5. Визначаємо кратність піногіпсової суміші:

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

Рис.2. Номограма для проектування складу піногіпсу

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

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

7. Визначаємо об'єм газу в піні:

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

8. Визначаємо об'єм піни:

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

9. Визначаємо кратність піни:

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

10. Концентрацію піноутворюючого розчину, яка забезпечить необхідну кратність піни визначаємо з рівняння (7):

$$C = \frac{1000(\beta_n - 1)I}{A_o(\sigma_o - \alpha_n \ln(1 + 3,25^m C))} = 0,082\%$$

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

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

12. Визначаємо необхідний об'єм розчину піноутворювача з вихідною об'ємною концентрацією C_v для приготування піни:

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

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

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

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

$$B_{n.p} = B - B_{n.p.v} = 298,0 - 0,6 = 297,4 \text{ л.}$$

Висновки. Таким чином, на основі виконаного розрахунку, для прийнятої технології приготування 1 м^3 піногіпсової суміші з густиною 700 кг/м^3 необхідно 402 кг гіпсу, $297,4 \text{ л}$ води та $0,6 \text{ л}$ 30% розчину ПАР.

Дана методика була експериментально перевірена. Була виготовлена серія зразків піногіпсу за заданою технологією (методом сухої мінералізації піни). Витрата матеріалів на зразок $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ становила: витрата будівельного гіпсу $-0,4 \text{ кг}$, води $-0,295 \text{ л}$, розчину ПАР Hostapur OSB $-0,0006 \text{ л}$. Середнє значення густини отриманого піногіпсу становило $\rho_{n2.c} \approx 705 \pm 0,03 \text{ кг/м}^3$.

1. Курс коллоидной химии / под общей ред. А.П. Писаренко. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1969. – 248 с.

2. Дворкін Л.Й. Розрахунок параметрів технічної піни / Л.Й. Дворкін, 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.

5. Дворкін Л. Й. Проектування складу піногіпсу / Л.Й. Дворкін, О. В. Безусяк, І. В. Ковалик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2013. - Вип. 26. - С. 31-38.

1. Kurs kolloydnoi khymyy / pod obshchei red. A.P. Pysarenko. – 3-e yzd. – М.: Vysshaya shkola, 1969. – 248 s.

2. Dvorkin L.I. Rozrakhunok parametriv tekhnichnoi piny / L.I. Dvorkin, I.V. Kovalyk // Visnyk NUVHP. – Rivne, 2010. – Vyp. 4 (55). – S. 127-133.

3. Tykhomyrov V.K. Pены. Teoryia y praktyka ykh polucheniya y razrusheniya / [V.K.Tykhomyrov], 1983. – М. : Khymiya, – 264 s. – (Monohrafiia).

4. Rekomendatsyy po pryimeneniyu metodov matematycheskoho planyrovaniya eksperymenta v tekhnolohyy betona. – М.: NYZZhB Hosstroia SSSR, 1982.–103s.

5. Dvorkin L. Y. Proektuvannia skladu pinohipsu / L.I. Dvorkin, O. V. Bezusiak, I. V. Kovalyk // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. - 2013. - Vyp. 26. - S. 31-38.