

# **Фізичні властивості будівельних матеріалів**

# 1. ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### Структурно-фізичні властивості будівельних матеріалів

#### Д о с л і д 1. Визначення густини будівельних матеріалів

*Засоби випробування:* електрошафа сушильна, терези, ексікатор, пікнометри місткістю 50...100 мл, скляні мірні циліндри об'ємом 250...500 мл, металеві мірні ємності об'ємом 1 та 5 л, металева лінійка, ступка фарфорова з товчачиком, сита з сіткою №0,063, баня водяна або піщана, вода дистильована, парафін.

**Визначення середньої густини зразків правильної геометричної форми.** Середню густину визначають не менше ніж на трьох зразках правильної геометричної форми з мінімальним розміром 50 мм. Зразки очищають від пилу, висушують до постійної маси в електрошафі при температурі  $105 \pm 5$  °С і зважують. Об'єм зразків визначають за їх геометричними розмірами. Для визначення кожного лінійного розміру зразок вимірюють в трьох місцях – по ребрах і середині грані. За остаточний результат приймають середнє арифметичне трьох вимірів. Діаметр зразка циліндричної форми обчислюють як середнє арифметичне чотирьох розмірів, які отримані вимірюванням двох взаємно перпендикулярних діаметрів на кожній паралельній площині циліндра. Висоту зразка циліндричної форми обчислюють як середнє арифметичне чотирьох вимірів – по два виміри на взаємно перпендикулярних площинах, які проходять через вертикальну вісь циліндра.

Середня густина окремого зразка ( $\rho_{0,i}$ ) в  $\text{кг/м}^3$  дорівнює

$$\rho_{0,i} = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (1.1)$$

де  $m$  – маса висушеного зразка, г;  $V$  – об'єм зразка,  $\text{см}^3$ .

Середню густину матеріалу ( $\rho_0$ ) визначають як середнє арифметичне середньої густини усіх окремих зразків з точністю до  $10 \text{ кг/м}^3$ .

**Завдання 1:** визначити середню густину матеріалу зразків правильної форми з бетону різних видів, цементно-піщаного розчину, повнотілої та порожнистої керамічної цегли, деревини.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного матеріалу заносять в журнал за наступною формою:

Визначення середньої густини матеріалу

Матеріал: \_\_\_\_\_

Розрахункова формула: \_\_\_\_\_

ПОКАЗНИКИ	№ ЗРАЗКА		
	1	2	3
Маса висушеного зразка, г			
Геометричні розміри зразка, см: а × в × с (або d × h)			
Об'єм зразка, V, см <sup>3</sup>			
Середня густина зразка, ρ <sub>0,i</sub> , кг/м <sup>3</sup>			
Середня густина матеріалу, ρ <sub>0</sub> , кг/м <sup>3</sup>			

**Визначення середньої густини зразків неправильної геометричної форми.** Середню густину пористих матеріалів визначають на парафінованих зразках (масою не менше 200 г). Зразки висушують до постійної маси в електрошафі при температурі 105±5 °С і зважують. Парафінування проводять шляхом занурення зразка в розплавлений при температурі 80±5°С парафін. Пухирці або тріщини, які утворюються на парафіновій плівці, видаляють гарячою голкою. Утворена на поверхні зразка плівка парафіну повинна мати товщину близько 1 мм. Парафінований зразок зважують на лабораторних терезах. Визначають масу парафіну на зразку. Далі наливають у мірний циліндр визначену кількість води та занурюють парафінований зразок. Приріст об'єму рідини відповідає об'єму парафінованого зразка в см<sup>3</sup>.

Середню густину окремого зразка (ρ<sub>0,i</sub>) в кг/м<sup>3</sup> обчислюють за формулою:

$$\rho_{0,i} = \frac{m}{V_{\Pi} - \frac{m_{\Pi} - m}{\rho_{\Pi}}} \cdot 1000, \quad (1.2)$$

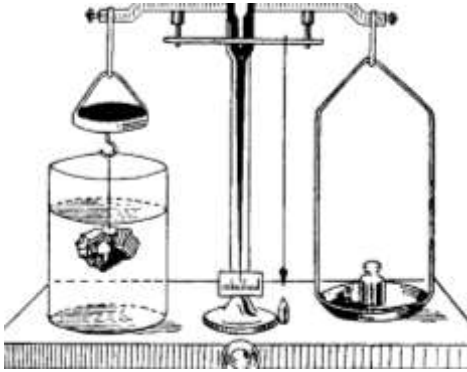
де **m** – маса висушеного зразка, г; **V<sub>Π</sub>** – об'єм парафінованого зразка, см<sup>3</sup>, **m<sub>Π</sub>** – маса парафінованого зразка, г; **ρ<sub>Π</sub>** – густина парафіну, яку приймають рівною 0,93 г/см<sup>3</sup>.

Об'єм зразка неправильної форми також можна визначити за втратою маси при зважуванні на гідростатичних терезах (рис. 1.1). У цьому випадку середню густину зразка обчислюють за формулою:

$$\rho_{0,i} = \frac{m}{m_{\Pi} - m'_{\Pi} - \frac{m_{\Pi} - m}{\rho_{\Pi}}} \cdot 1000, \quad (1.3)$$

де **m'<sub>Π</sub>** – маса парафінованого зразка при зважуванні у воді, г.

Середню густину матеріалу (ρ<sub>0</sub>) визначають як середнє арифме-



**Рис. 1.1.** Гідростатичні терези

тичне результатів визначення середньої густини усіх окремих зразків.

**Завдання 2:** визначити середню густину матеріалу зразків неправильної форми з щільних та пористих гірських порід.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного мате-

ріалу заносять в журнал за наступною формою:

Визначення середньої густини зразків неправильної форми

Метод \_\_\_\_\_

Матеріал \_\_\_\_\_ Густина парафіну  $\rho_{\text{п}} =$  \_\_\_ г/см<sup>3</sup>

Розрахункова формула: \_\_\_\_\_

Схема досліду

ПОКАЗНИКИ	№ ЗРАЗКА		
	1	2	3
Маса сухого зразка, $m$ , г			
Маса парафінованого зразка, $m_{\text{п}}$ , г			
Маса парафіну, $m_{\text{п}} - m$ , г			
Об'єм парафіну, $V_{\text{п}}$ , см <sup>3</sup>			
Початковий об'єм води в приладі, $V_1$ , см <sup>3</sup>			
Об'єм води із зануреним зразком, $V_2$ , см <sup>3</sup>			
Об'єм парафінованого зразка, $V_0$ , см <sup>3</sup>			
Об'єм зразка, $V$ , см <sup>3</sup>			
Середня густина зразка, $\rho_{0,i}$ , кг/м <sup>3</sup>			
Середня густина матеріалу, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>			

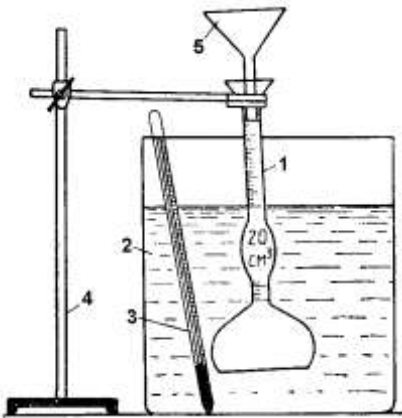
**Визначення дійсної густини.** Дійсну густину визначають на пробі, яка відібрана не менше ніж від трьох зразків. Підготовлену пробу подрібнюють до повного проходження через сито з сіткою №0,063 і висушують до постійної маси. Визначення проводять пара-

лельно на двох наважках масою близько 10 г. Відібрану наважку висипають в чистий, висушений і попередньо зважений пікнометр. Пікнометр зважують разом з порошком, який випробовується, потім наливають в нього воду в такій кількості, щоб він був заповнений приблизно на 50% об'єму. Для видалення повітря з порошку пікнометр із вмістом кип'ять протягом 15...20 хв. на водяній або піщаній бані (рис. 1.2). Повітря можна також видалити шляхом вакуумування в ексикаторі. Після видалення повітря пікнометр заповнюють водою до мітки і зважують. Після зважування пікнометр звільняють від вмісту, промивають, заповнюють водою до мітки і знову зважують.

Для визначення дійсної густини речовин, які взаємодіють з водою, застосовують іншу, інертну по відношенню до матеріалу, рідину. Дійсну густину наважки ( $\rho_i$ ) в г/см<sup>3</sup> обчислюють за формулою:

$$\rho_i = \frac{m_2 - m_1 \rho_p}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2} \quad (1.4)$$

де  $m_1$  – маса пікнометра, г;  $m_2$  – маса пікнометра з наважкою, г;  $\rho_p$  – густина інертної рідини (для дистильованої води приймають 1,0 г/см<sup>3</sup>);  $m_3$  – маса пікнометра з наважкою і рідиною, г;  $m_4$  – маса пікнометра з рідиною, г.



**Рис. 1.2.** Визначення дійсної густини пікнометричним методом:

- 1 – пікнометр; 2 – посудина з водою;
- 3 – термометр; 4 – штатив; 5 – воронка.

Дійсну густину речовини ( $\rho$ ) визначають як середнє арифметичне результатів випробування двох наважок з точністю до 0,01 г/см<sup>3</sup>. Розбіжність між результатами паралельних визначень не повинна перевищувати 0,02 г/см<sup>3</sup>.

**Завдання 3:** визначити дійсну густину піску, гранітного щебеню, кераміки, портландцементу.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

Визначення дійсної густини ма-

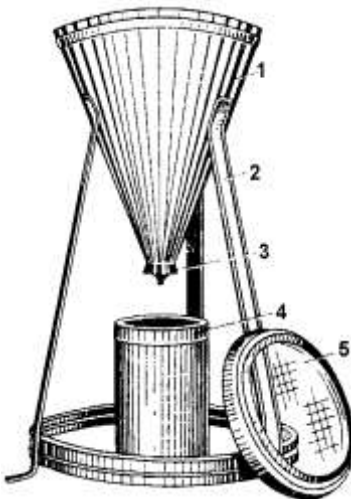
Метод \_\_\_\_\_  
Ступінь подрібнення проби \_\_\_\_\_

Матеріал \_\_\_\_\_

Схема досліду

ПОКАЗНИКИ	№ НАВАЖКИ	
	1	2
Маса сухого пікнометра, $m_1$ , г		
Маса пікнометра з наважкою порошку, $m_3$ , г		
Маса пікнометра з наважкою порошку і рідиною, $m_4$ , г		
Маса пікнометра з рідиною, $m_2$ , г		
Дійсна густина зразка, $\rho_1$ , г/см <sup>3</sup>		
Дійсна густина матеріалу, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>		

**Визначення насипної густини.** При визначенні насипної густини дрібнозернистих матеріалів застосовують мірний циліндр об'ємом 1 л, а для крупнозернистих беруть мірні циліндри об'ємом 5 л (при крупності зерен матеріалу до 20 мм) та більше. Визначення ведуть таким чином: із спеціальної лійки (рис. 1.3) або просто із совка з визначеної висоти насипають матеріал в попередньо зважений мірний циліндр таким чином, щоб у ньому був деякий надлишок матеріалу. Цей надлишок потім знімають металевою лінійкою врівень з краєм циліндру, який після цього зважують.



**Рис. 1.3.** Прилад для визначення насипної густини дрібнозернистого матеріалу:  
1 – воронка; 2 – підставка;  
3 – засувка; 4 – мірний циліндр; 5 – сито.

Насипну густину (в кг/м<sup>3</sup>) обчислюють за формулою:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (1.5)$$

де  $m_1$  – маса порожнього мірного циліндра, кг;  $m_2$  – маса мірного циліндра з матеріалом, кг;  $V$  – об'єм циліндра, л.

**Завдання 4:** визначити насипну густину піску, гранітного щебеню та відсіву, портландцементу.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

Визначення насипної густини

Метод \_\_\_\_\_  
 Матеріал \_\_\_\_\_ Об'єм циліндра V= \_\_\_\_\_ л

Схема дослідю

ПОКАЗНИКИ	№ ПРОБИ		
	1	2	3
Маса циліндра, $m_1$ , кг			
Маса циліндра з матеріалом, $m_2$ , кг			
Маса матеріалу, $m_2 - m_1$ , кг			
Насипна густина проби, $\rho_{n, i}$ , кг/л			
Середня насипна густина, $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>			

**Завдання 5:** порівняти насипну густину дрібного та крупного піску з різних кар'єрів, а також їх суміші у різних співвідношеннях.

Для виконання завдання визначають насипну густину кожного з пісків та їх сумішей у співвідношенні 1:4, 2:3, 3:2 і 4:1 як у попередньому завданні. Результати заносять до таблиці та будують графік залежності насипної густини від процентного вмісту пісків у суміші.

Дослідження залежності насипної густини піску від його крупності

Пісок №1 (крупний) \_\_\_\_\_ кар'єру  
 Пісок №2 (дрібний) \_\_\_\_\_ кар'єру

Вміст піску №1, %	100	80	60	40	20	0
Вміст піску №2, %	0	20	40	60	80	100
Насипна густина суміші, кг/м <sup>3</sup>						



Висновок: \_\_\_\_\_

### Д о с л і д 2. Визначення пористості та міжзернової пустотності

Визначення проводять розрахунковим методом за формулою

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор(пуст.)}}}{V} \cdot 100\% = \frac{\rho - \rho_0(\rho_n)}{\rho} \cdot 100\% ; \quad (1.6).$$

**Завдання 6:** використовуючи дані, отримані при виконанні завдань 1, 2, 3 і 4, визначити пористість бетону, кераміки, гірських порід (граніту, вапняку, черепашнику) та пустотність піску, гранітного щебеню, портландцементу.

**Завдання 7:** встановити наявність і глибину лінійної кореляції між міцністю на стиск бетону, розчину, кераміки та їх пористістю.

Для виконання завдання визначають дійсну густину матеріалів, середню густину зразків у формі куба, а потім межу їх міцності на стиск (**R**) в МПа за формулою

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{A}} \cdot 10, \quad (1.7)$$

де **P** – руйнівне навантаження, визначене шляхом випробувань на гідравлічному пресі, кН; **A** – площа перерізу зразка у напрямі, перпендикулярному дії сили,  $\text{см}^2$ .

Далі визначають пористість зразків і коефіцієнт лінійної кореляції між пористістю на міцністю на стиск. Потім роблять висновок про характер зв'язку між пористістю та міцністю на стиск основних конструктивних будівельних матеріалів. Вихідні дані та результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

Встановлення наявності лінійної кореляції між міцністю матеріалу ( $y_i$ ) та його пористістю ( $x_i$ )

Матеріал: \_\_\_\_\_

Розрахункова формула:  $r_{xy} =$  \_\_\_\_\_



n	$X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$Y_i$	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$
$\Sigma$		0			0		

$$\bar{X} = \text{-----} \quad \bar{Y} = \text{-----}$$

$$r_{xy} = \text{-----}$$

$$r_{1-p/2} = \text{-----} \quad (n = \text{-----}, p = \text{-----})$$

Висновок: -----

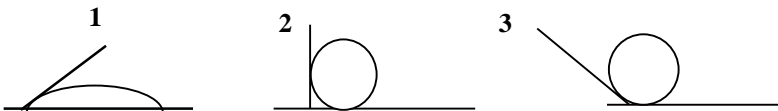
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Гідрофізичні властивості будівельних матеріалів

#### Д о с л і д 1 . В и з н а ч е н н я з м о ч у в а н о с т і

*Засоби випробування:* проекційний ліхтар, екран, дротяний тримач, скляні пластинки, кювета з водою, піпетка, міліметровий папір.

Мірюю змочуваності є к р а й о в и й к у т  $\theta$ , який утворюється краплею рідини на твердій поверхні (рис. 1.4)

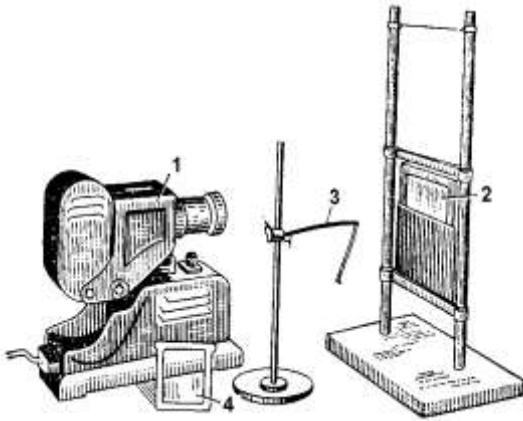


**Рис. 1.4.** Краєві кути:

1 – змочування ( $\theta < 90^\circ$ ); 2 – перехідний випадок ( $\theta = 90^\circ$ ); 3 – незмочування ( $\theta > 90^\circ$ ).

Крайовий кут можна визначити проекційним методом. Непорошкоподібний матеріал у вигляді пластинки з гладкою поверхнею поміщують на спеціальний дротяний тримач, закріплений в проекторі (рис. 1.5.). З допомогою піпетки на зразок наноситься крапля, яка проектується проектором на екран. Проекцію краплі обмальовують на екрані та знаходять величину крайового кута.

Для порошкоподібних матеріалів крайовий кут можна виміряти так само, проектуючи на екран сформовану краплю води, нанесену на рівну поверхню проби порошку (приблизно через 3 хвилини після завершення її формування).



**Рис. 1.5.** Визначення крайових кутів змочування проєкційним методом:

1 – проєктор; 2 – екран; 3 – дротяний тримач; 4 – скляна кювета з водою

Для в'язучих матеріалів (цементу, вапна і т.п.) змочуваність можна визначити часом наявності краплі на рівній поверхні порошку. Для гідрофобного в'язучого вода повинна залишатися у вигляді краплі не менше 5 хвилин. Для визначення гідрофобності цементу також застосовують метод професора М.І.Хігеровича.

**1 - и й метод.** У склянку, наповнену водою, поступово насипають тонкий шар (2...3 г) цементу. Гідрофобний цемент повинен утворювати на поверхні води плівку.

**2 - и й метод.** У суху склянку насипають гідрофобний цемент і заливають водою або швидко висипають його у воду. Через 5...10 хв. воду зливають; гідрофобний цемент повинен залишатися сухим та сипучим.

**Завдання 8:** за допомогою проєкційного методу при визначенні змочуваності розмістити досліджувані матеріали (метал, скло, пластмаси, деревина звичайна та гідрофобізована та інші) за ступенем гідрофобності. Виконати статистичну обробку результатів визначення крайового кута.

Для виконання завдання проєкційним методом визначають крайовий кут для кожного матеріалу (6...10 разів), проводять статистичну обробку результатів. Обчисливши значення крайових кутів (як середнє арифметичне усіх випробувань) для кожного матеріалу, роблять висновок про ступінь їх гідрофобності. Результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

### Визначення змочуваності непорошкоподібних матеріалів

Суть методу \_\_\_\_\_

#### Схема дослідю

Матеріал	№ дослідю							Місце за ступенем змочуваності
	1	2	3	...	9	10	$\bar{\theta}$	
	Крайовий кут, $\theta$ , град.							

Статистичний аналіз результатів випробувань  
(при довірчій ймовірності \_\_\_\_\_ %)

n	Матеріал											
	$x_i$	$x_i - \bar{x}_{сер}$	$(x_i - \bar{x}_{сер})^2$	$x_i$	$x_i - \bar{x}_{сер}$	$(x_i - \bar{x}_{сер})^2$	$x_i$	$x_i - \bar{x}_{сер}$	$(x_i - \bar{x}_{сер})^2$	$x_i$	$x_i - \bar{x}_{сер}$	$(x_i - \bar{x}_{сер})^2$
1												
...												
10												
$\Sigma$	0			0			0			0		
$\bar{x}$												
S												
$\sigma$												
$C_v$												
m												
$\varepsilon$												

Розрахункові формули:

Висновок \_\_\_\_\_

**Завдання 9:** оцінити вплив концентрації гідрофобізуючої добавки на ступінь гідрофобності цементу. Визначити мінімально можливу концентрацію гідрофобізатора.

Для кількісної оцінки впливу добавки на ступінь гідрофобності цементу вимірюють час присутності краплі води на поверхні цементу, насипаного тонким рівним шаром на скляну пластинку. Результати вимірювань для проб з різною кількістю добавки заносять в таблицю:

Визначення впливу концентрації гідрофобізуючої добавки  
на гідрофобність цементу.

Назва добавки \_\_\_\_\_

Механізм дії гідрофобізуючої добавки \_\_\_\_\_

№ проби цементу	%-ний вміст добавки	Час присутності краплі на поверхні цементу

Висновок: \_\_\_\_\_

**Д о с л і д 2 . В и з н а ч е н н я в о д о п о г л и н а н н я**

*Засоби випробування:* посудина з ґратками, електрошафа сушильна з автоматичним регулюванням температури в межах  $40\pm 5^{\circ}\text{C}$  і  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ , терези.

**Визначення водопоглинання у воді при температурі  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ .**  
Дослідні зразки висушують до постійної маси в електрошафі при температурі  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  і зважують. Зразки на основі або із застосуванням гіпсу висушують до постійної маси при температурі  $40\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Висушені зразки укладають на ґратки в посудину з водою температурою  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  в один ряд за висотою із зазорами між ними не меншими 20 мм так, щоб рівень води був вищий за верх зразків на (20...100) мм. Тривалість витримування у воді  $48\pm 1$  год., водостійких гіпсових зразків - 2 год. Насичені зразки виймають із води, обтирають вологою губкою або м'якою тканиною і зважують повторно. Масу води, яка витекла на шальку терезів, включають у масу зразка, насиченого водою. Водопоглинання зразка (**W**) у відсотках за масою обчислюють за формулою:

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\% , \quad (1.8)$$

де  $m_1$  – маса насиченого водою зразка, г;  $m$  – маса висушеного зразка, г.

**Визначення водопоглинання в киплячій воді.** Зразки укладають в посудину з водою так як у попередньому досліді, нагрівають до температури кипіння води (приблизно протягом 1 год.), кип'ятять на протязі 4 год. У процесі кип'ятіння воду доливають так, щоб зразки весь час випробування були покриті водою. Потім зразки залишають у воді на 16...24 год. для охолодження до температури повітря в приміщенні. Далі випробування проводять як у попередньому досліді.

**Визначення водопоглинання прискореним способом.** Водопоглинання можна визначити прискореним способом – методом пос-

тупового занурення зразків у воду на 1/4; 1/2; 3/4 висоти та на повну висоту +2 см. Після занурення і витримування зразка у воді на протязі 5 хвилин його обережно обтирають та зважують. Водопоглинання за масою визначають за формулою (1.9), а за об'ємом за формулою:

$$W_v = \frac{m_1 - m}{V \rho_v} \cdot 100\% = W_m \cdot \rho_0 / \rho_v, \quad (1.9)$$

де  $V$  – об'єм зразка,  $\text{см}^3$ ;  $\rho_0$  – середня густина матеріалу,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $\rho_v$  – середня густина води,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

**Завдання 10:** методом поступового занурення визначити водопоглинання зразків з кераміки, цементного та асфальтового бетону. Порівняти з водопоглинанням, визначеним шляхом насичення на протязі 48 год.

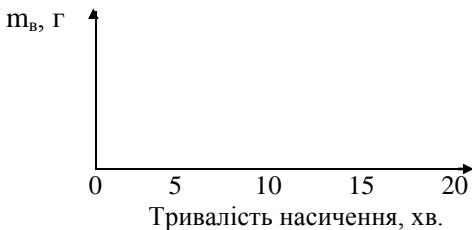
Завдання виконують за описаною вище методикою. Результати дослідів записують в робочий журнал. Там же будують графік залежності маси води, яку поглинув зразок при кожному зануренні, від часу насичення.

Визначення водопоглинання

Метод \_\_\_\_\_ Матеріал \_\_\_\_\_

Схема дослідів

Показники	Занурення на				
	1/4	1/2	3/4	повне +2см	
Час витримування у воді, хв	5	5	5	5	48 год.
Маса сухого зразка, м, г					
Об'єм зразка, V, $\text{см}^3$					
Маса насиченого зразка, $m_i$ , г					
Водопоглинання за масою, $W_m$ , %					
Водопоглинання за об'ємом $W_v$ , %					



Висновок \_\_\_\_\_

#### Д о с л і д 4 . В и з н а ч е н н я в о д о с т і й к о с т і

*Засоби випробування:* посудина з ґратками для насичення зразків, гідравлічний прес.

**Завдання 11:** порівняти водостійкість зразків на гіпсовому, гіпсоцементпоцолановому та цементному в'язучих. Зробити висновок про можливість сфери їх застосування.

Для виконання завдання частину зразків насичують водою на протязі двох діб, інші зберігають у повітряно-сухому стані. Потім на гідравлічному пресі усі зразки випробовують на стиск, визначають межі міцності  $R_n$  та  $R_c$  за формулою (1.7) та коефіцієнт розм'якшення за формулою (1.8). Вихідні дані та результати заносять у журнал випробувань за наступною формою:

Визначення водостійкості

Метод \_\_\_\_\_  
 Матеріал \_\_\_\_\_

Схема досліду

Показники	Стан зразків					
	насичений водою			сухий		
	№ зразка					
	1	2	3	1	2	3
Площа стиску, $A, \text{см}^2$						
Руйнуюче навантаження, $P, \text{кН}$						
Межа міцності на стиск, $R_{ст, i}, \text{МПа}$						
Середня міцність зразків, $R_{ст}, \text{МПа}$						
Коефіцієнт розм'якшення, $K_p$						

Висновок: \_\_\_\_\_

#### Д о с л і д 4. Визначення водонепроникності

*Засоби випробування:* прилад для визначення водонепроникності, зразки рулонних матеріалів.

Для зміни гідростатичного тиску використовують прилад (рис. 1.6), який працює за законом сполучених посудин. Зразок рулонного матеріалу поміщують в об'єму приладу між гумовими прокладками та встановлюють нульовий рівень на шкалі. Після цього в скляну трубку наливають воду до рівня 0,1 м та витримують на протязі 5 хв., потім збільшують тиск на 0,1 м водяного стовпа через кожні 5 хв. до тих пір, доки на поверхні зразка не з'являться крапельки рідини. Водонепроникність відповідає максимальному тиску, при якому не з'являються ознаки фільтрації води через зразок. Для покрівельного

руберойду водонепроникність повинна бути не меншою 0,07 МПа, пергаміну – 0,05 МПа, поліетилену - більшою 0,5 МПа.

**Завдання 12:** визначити і порівняти водонепроникність рулонних матеріалів, які застосовують для гідро- та пароізоляції: руберойду і толю різних марок, пергаміну, поліетиленової плівки.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, результати заносять в журнал випробувань за наступною формою:

Визначення водонепроникності матеріалу

Матеріал \_\_\_\_\_

Метод \_\_\_\_\_

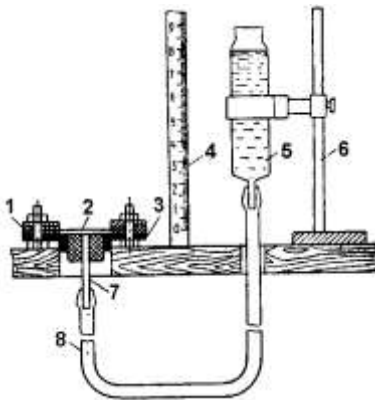
Схема досліду

Тиск в метрах водяного стовпа						
Відсутність “-“ або наявність “+” краплі на поверхні зразка						

Висновок: \_\_\_\_\_

### Дослід 5. Визначення морозостійкості

Для визначення морозостійкості відбирають або виготовляють три – п’ять контрольних та стільки ж основних зразків для кожної ма-



**Рис. 1.6.** Прилад для визначення водонепроникності рулонних матеріалів:

1 – гумові прокладки; 2 – зразок; 3 – перфорований фланець з отвором  $\varnothing 50$  мм; 4 – лінійка; 5 – скляна посудина; 6 – штатив; 7 – скляна трубка; 8 – гума трубка

рки за морозостійкістю, яка перевіряється. Контрольні зразки перед випробуванням на міцність, а основні зразки перед заморожуванням насичують водою. Не пізніше як за 2 год. після виймання із ванни ко-

нтрольні зразки випробовують на стиск. Основні зразки завантажують у морозильну камеру. Початком заморожування вважають момент встановлення у камері температури  $-16^{\circ}\text{C}$ . Тривалість одного заморожування зразків з кераміки, природного каменю, гіпсу, силікатних виробів при температурі повітря у камері  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$  повинна бути не меншою:

- 2 год. - для плит завтовшки до 25 мм;
- 4 год - для плит завтовшки більше 25 мм, порожнистих каменів і цегли усіх видів.

Зразки після заморожування відтаюють у ванні з водою при температурі  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Тривалість одного відтавання повинна бути не меншою половини тривалості заморожування, а для зразків з бетону вина та інші особливості випробувань встановлюються ДСТУ В.2.7-47-96. При проведенні випробувань на морозостійкість зразки оглядають через кожні 5 циклів, якщо марка за морозостійкістю 15 або 25, і через кожні 10 циклів при марці 35 і більше безпосередньо після їх відтавання. При цьому контролюють стан зразків: руйнування, появу тріщин, відколів, злушення поверхні, викришування, розшарування. При появі видимих пошкоджень випробування припиняють і в журналі випробувань роблять запис про те, що зразки не відповідають потрібній марці за морозостійкістю.

При оцінці морозостійкості за втратою маси після проведення потрібного числа циклів випробувань зразки із природного каменю і керамічних матеріалів висушують до постійної маси, а зразки з інших матеріалів зважують відразу після відтавання. При оцінці морозостійкості за втратою міцності на стиск основні зразки після проведення потрібного числа циклів випробувань випробовують на стиск.

Втрату маси зразка ( $\Delta m$ ) у відсотках обчислюють за формулами:

- для зразків із керамічних матеріалів і природного каменю:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\%; \quad (1.10)$$

- для зразків з інших матеріалів:

$$\Delta m = \frac{m_3 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (1.11)$$

де  $m$  – маса зразка, висушеного до постійної маси, г;  $m_1$  – маса зразка, висушеного до постійної маси, після потрібного числа циклів випробувань, г;  $m_2$  – маса зразка, насиченого водою, г;  $m_3$  – маса зразка, насиченого водою, після потрібного числа циклів випробувань, г.



Втрату міцності ( $\Delta R$ ) зразків на стиск обчислюють за формулою:

$$\Delta R = \frac{R_k - R_c}{R_k} \cdot 100\% , \quad (1.12)$$

де  $R_k$  – середнє арифметичне значення границі міцності на стиск контрольних зразків, МПа;  $R_c$  – середнє арифметичне значення границі міцності на стиск основних зразків після потрібного числа циклів випробувань.

Для прискореної оцінки морозостійкості матеріалу застосовують циклічні випробування в насиченому розчині сірчанокислоґо натрію з наступним висушуванням при температурі 100...105°C. Тривалість насичення розчином на протязі першого циклу складає 20 год., наступних - 4 год., тривалість висушування - 4 год. За показник стійкості приймають втрату маси висушених зразків, попередньо промитих гарячою водою для видалення сірчанокислоґо натрію. Зваживши матеріал після випробування в розчині сірчанокислоґо натрію і визначивши процент втрат, порівнюють отримані результати з табличними даними та роблять висновок про морозостійкість матеріалу.

Якісно оцінити морозостійкість матеріалу можна за коефіцієнтом водонасичення, який характеризує частку доступних для води пор у загальній пористості матеріалу:

$$K_n = \frac{W_v}{\Pi} K_n. \quad (1.13)$$

Якщо  $K_n > 0,85$ , то матеріал неморозостійкий.

**Завдання 13:** для зразків з кераміки та природного каменю орієнтовно оцінити їх морозостійкість за коефіцієнтом водонасичення.

Використовуючи результати вправ 6 і 10, обчислюють коефіцієнт водонасичення і роблять висновок про морозостійкість матеріалу.

### Контрольні запитання

1. Вказати основні групи властивостей будівельних матеріалів.
2. Дати визначення, формули та розмірності, навести схеми дослідів та охарактеризувати методи визначення таких фізичних властивостей: густини (середньої, дійсної, насипної), пористості, гігроскопічності, гідрофобності та гідрофільності, водонепроникності, водостійкості, водопоглинання, морозостійкості.
3. Вказати на наявність чи відсутність та охарактеризувати суть зв'язку між пористістю матеріалів та їх водопоглинанням, міцністю, морозостійкістю, водонепроникністю.

## 2. ПОВІТРЯНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### Тонкість помелу, нормальна густина, строки тужавлення гіпсу та якість вапна

**Д о с л і д 1 .** **Визначення тонкості помелу будівельного гіпсу**  
*Засоби випробування:* сушильна шафа, терези, сито № 02.

Для досліду беруть наважку гіпсу масою 50 г, попередньо ви-сушеного на протязі однієї години при температурі  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$  і зважено-го з точністю до 0,1 г. Наважку висипають на сито № 02 і просівають. Просіювання вважають закінченим, якщо крізь сито на протязі 1 хв. проходить не більше 0,05 г гіпсу.

Після просіювання залишок на ситі зважують і тонкість помелу визначають у відсотках, як відношення маси гіпсу, що залишився на ситі, до маси його початкової наважки. За величину тонкості помелу приймають середнє арифметичне результатів двох визначень. Залежно від нього визначають ступінь помелу гіпсу - грубий (I), середній (II) чи тонкий (III)- при залишку, відповідно, не більшому 23, 14 і 2%.

**Завдання 1:** *визначити тонкість та ступінь помелу будівельного гіпсу.*

Завдання виконують за наведеною методикою, результати заносять у журнал за наступною формою:

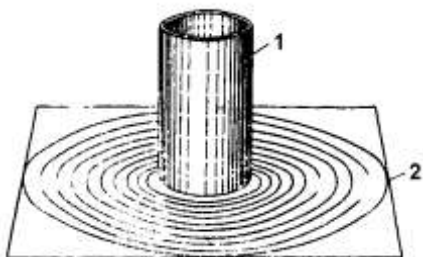
Визначення тонкості помелу гіпсу

Показники	№ проби	
	1	2
Маса наважки, т, г.		
Маса залишку на ситі №02, $m_1$ , г		
Тонкість помелу, %		
Середнє значення тонкості помелу, %		
Ступінь помелу		

Висновок: \_\_\_\_\_

**Д о с л і д 2 .** **Визначення нормальної густоти гіпсового тіста**  
*Засоби випробування:* віскозиметр Суттарда, лінійка, чаша, мірний циліндр, мішалка.

Для визначення нормальної густоти тіста використовують віско-зиметр Суттарда, який складається із металевого циліндра висотою 100 мм і внутрішнім діаметром 50 мм та скляної пластинки з концент-ричними колами від 150 мм до 220 мм. (рис. 2.1)



**Рис. 2.1.** Віскозиметр Сутгарда

закінчення перемішування циліндр, який встановлюють у центрі скла, заповнюють гіпсовим тістом.

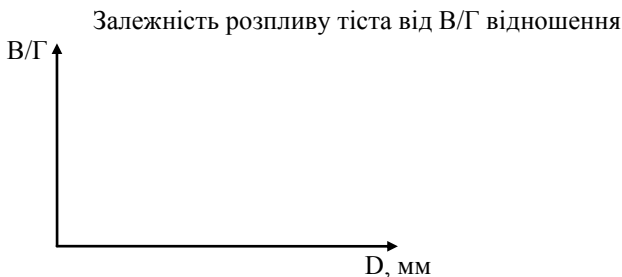
Надлишок тіста в циліндрі зрізують. Через 45 с. після моменту всипання в'язучого у воду циліндр швидко піднімають вертикально на висоту 15...20 см і відводять в бік. Діаметр розпливу тіста вимірюють відразу після підняття циліндра, в двох перпендикулярних напрямках з похибкою не більше 5 мм і визначають, як середнє арифметичне. Якщо діаметр розпливу не дорівнює  $180 \pm 5$  мм, то випробування повторюють з іншою кількістю води до одержання необхідної консистенції тіста.

**Завдання 2:** визначити нормальну густоту гіпсового тіста з будівельного гіпсу грубого, середнього та тонкого помелу.

Завдання виконують за наведеною методикою, додатково будують графік залежності діаметра розпливу від водогіпсового відношення. Результати заносять у журнал за наступною формою:

Визначення нормальної густоти гіпсового тіста

Схема досліду		Наважка гіпсу _____ г		
		Час засипання гіпсу у воду _____ с.		
		Тривалість перемішування _____ с.		
		Час наповнення циліндру _____ с.		
№ спроби	Ступінь помелу гіпсу	В, мл	В / Г	Розплив тіста, мм



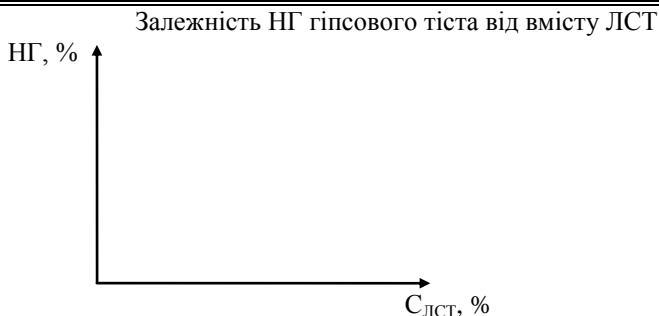
Висновок: \_\_\_\_\_

**Завдання 3:** дослідити залежність нормальної густоти гіпсового тіста від концентрації добавки пластифікатора ЛСТ.

Для виконання завдання готують розчини пластифікатора з концентрацією 0,2; 0,4 і 0,6% (в перерахунку на суху речовину) і визначають НГ гіпсового тіста як у попередньому завданні. Будують графік залежності НГ від концентрації добавки ЛСТ. Результати заносять у журнал за наступною формою:

Дослідження впливу добавки пластифікатора на НГ гіпсового тіста

№ спроби	Концентрація ЛСТ, %	В, мл	В / Г	Розплив тіста, мм

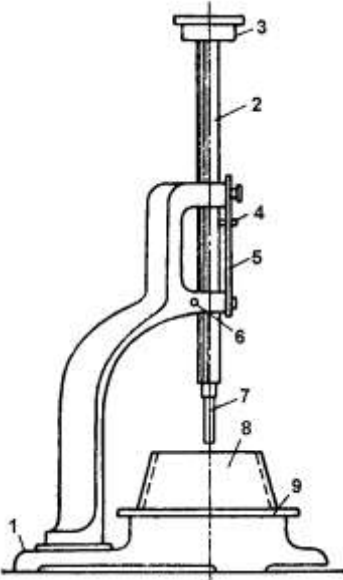


Висновок: \_\_\_\_\_

### Дослід 3. Визначення строків тужавлення гіпсового тіста

**Засоби випробування:** прилад Віка з голкою, чаша, мірний циліндр, секундомір, мішалка.

Для випробувань використовують прилад Віка (рис. 2.2). При визначенні строків тужавлення кільце і пластинку приладу попередньо змащують машинним маслом.



**Рис. 2.2.** Визначення строків тужавлення на приладі Віка

Для досліду беруть наважку гіпсу масою 200 г, готують тісто нормальної густоти, відмічаючи момент всипання в'язучого у воду. Тісто заливають у кільце приладу. Для видалення бульбашок повітря з тіста кільце з пластинкою струшують 4...5 разів, далі зрізають надлишок тіста і ставлять кільце з тістом під голку приладу. За допомогою рухомого стержня голку опускають до зіткнення з поверхнею тіста в центрі кільця. Закріплюють стержень і через кожні 30 с. вимірюють глибину занурення голки в тісто. Голку кожного разу опускають так, щоб вона потрапляла в інше місце. Час початку і кінця тужавлення виражають у хвилинах.

За часом тужавлення гіпсові в'язучі поділяють на три групи:

Група:	Початок тужавлення	Кінець тужавлення
швидкотужавіючі (А)	не менше 2 хв.	не більше 15 хв.
нормальнотужавіючі (Б)	не менше 6 хв.	не більше 30 хв.
повільнотужавіючі (В)	не менше 30 хв.	не нормується

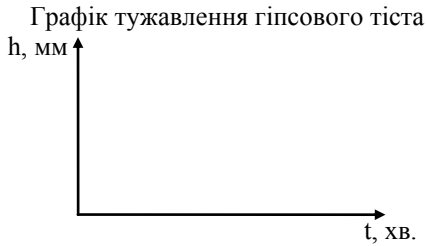
**Завдання 4:** визначити строки тужавлення будівельного гіпсу Грубого, середнього та тонкого помелу.

Завдання виконують за наведеною методикою, додатково будують графік залежності глибини опускання голки приладу Віка у часі. Результати заносять у журнал за наступною формою:

Визначення строків тужавлення гіпсового тіста

Схема досліду	Діаметр голки приладу	_____ мм
	Маса стержня приладу	_____ г
	Нормальна густота	_____ %
	Час затворення	_____ год _____ хв. _____ с.

№ проби	Ступінь помелу гіпсу	Час			Покази приладу, мм	Глибина проникнення голки, h, мм
		год	хв.	с.		



Висновок: \_\_\_\_\_

**Завдання 5:** дослідити вплив на строки тужавлення гіпсового тіста добавок - сповільнювачів тужавлення.

Для виконання завдання визначають строки тужавлення гіпсового тіста із добавкою у воду замішування речовин - сповільнювачів тужавлення (ЛСТ, тваринний клей, кератиновий сповільнювач) у концентраціях, вказаних викладачем. Результати заносять у журнал за наступною формою:

Дослідження впливу добавок-сповільнювачів на тужавлення гіпсового тіста

№ проби	Вид добавки, концентрація, %	Час			Покази приладу, мм	Глибина проникнення голки, h, мм
		год	хв.	с.		

Висновок: \_\_\_\_\_

#### Д о с л і д 4 . В и з н а ч е н н я м а р к и б у д і в е л ь н о г о г і п с у

**Засоби випробування:** прилад МИИ-100, гідравлічний прес, форма для виготовлення зразків-балочок, чаша, мірний циліндр, терези, мішалка, лінійка.

Для виконання дослідів формують три зразки-балочки розміром 40×40×160 мм з тіста нормальної густини. Витрата гіпсу на одну форму (три зразки) становить 1,1 кг. Готують тісто нормальної густини, виливають його у форму, попередньо змащену машинним маслом, комірки форми заповнюють одночасно. Для видалення бульбашок повітря форму з тістом струшують. Залишки гіпсового тіста знімають лінійкою або ножем. Через 15±5 хв. після закінчення тужавлення зразки виймають з форми і зберігають до випробувань. Через 2 год. після виготовлення за допомогою приладу МИИ-100 (чи аналогічного) визначають межу міцності трьох балочок на згин, завантажуючи балочку по одноточковій схемі (відстань між опорами 100 мм). Одержані шість половинок використовують для визначення межі міцності на стиск на гідравлічному пресі. При цьому зразки розміщують між двома метале-

вими пластинками таким чином, щоб бокові грані балочок, які при виготовленні прилягали до металевих стінок форми, знаходились на площинах пластин, а упори пластин щільно прилягали до торцевої рівної грані балочки.

Межу міцності на згин окремих зразків визначають безпосередньо за показами приладу МІІ-100. За межу міцності на згин будівельного гіпсу приймають середнє арифметичне результатів випробувань трьох зразків.

Межа міцності на стиск (МПа) окремого зразка дорівнює:

$$R_{ст} = 10 \cdot P / F, \quad (2.1)$$

де  $P$  – руйнівна сила, кН;  $F = 25\text{см}^2$  – площа пластинки.

Межу міцності на стиск будівельного гіпсу визначають як середнє арифметичне результатів випробувань шести зразків, відкинувши найбільше і найменше значення.

Марку гіпсу визначають, користуючись наступною таблицею:

Марка	$R_{ст}$ , МПа, не менше	$R_{зг}$ , МПа, не менше	Марка	$R_{ст}$ , МПа, не менше	$R_{зг}$ , МПа, не менше
Г-2	2	1,2	Г-10	10	4,5
Г-3	3	1,8	Г-13	13	5,5
Г-4	4	2	Г-16	16	6
Г-5	5	2,5	Г-19	19	6,5
Г-6	6	3	Г-22	22	7
Г-7	7	3,5	Г-25	25	8

**Завдання 6:** визначити марку будівельного гіпсу.

Для визначення марки виготовляють і випробовують за наведеною вище методикою зразки-балочки. Марку гіпсу визначають з урахуванням товщини помелу та строків тужавлення. Результати випробувань заносять у журнал за наступною формою:

Визначення марки будівельного гіпсу

а). Визначення межі міцності на згин

Прилад	Схема встановлення зразка		
	№ зразка		
Показники	1	2	3
Вік зразка, год.			
Межа міцності на згин, МПа			
Середнє значення, МПа			

б). Визначення межі міцності на стиск

Прилад \_\_\_\_\_ Робочий діапазон \_\_\_\_\_

**Схема встановлення зразка**

Показники	№ зразка					
	1	2	3	4	5	6
Вік зразка, год						
Площа стиску, см <sup>2</sup>						
Руйнуюче навантаження, кН						
Межа міцності на стиск, МПа						
Середнє значення, МПа						

Висновок: \_\_\_\_\_

**Завдання 7:** дослідити залежність середньої густини, пористості та міцності гіпсових зразків від водогіпсового відношення, а також швидкості проходження ультразвуку від міцності зразків

Для виконання завдання виготовляють 4...5 серій гіпсових зразків (по три зразки в кожній серії) за описаною вище методикою. При цьому водогіпсове відношення змінюють у межах 0,3...0,8. Для кожного зразка визначають середню густину, пористість (приймавши дійсну густину гіпсу рівною  $\rho_r=2,3 \text{ г/см}^3$ ), швидкість проходження ультразвуку та міцність за описаними вище методиками. Отримані дані заносять до таблиць за наведеною нижче формою. За середніми результатами будують наступні графічні залежності:

- середньої густини від водогіпсового відношення;
- пористості від водогіпсового відношення;
- міцності на стиск від водогіпсового та гіпсоводного відношення;
- міцності від пористості;
- міцності від швидкості проходження ультразвуку.

За побудованими графіками роблять відповідні висновки.

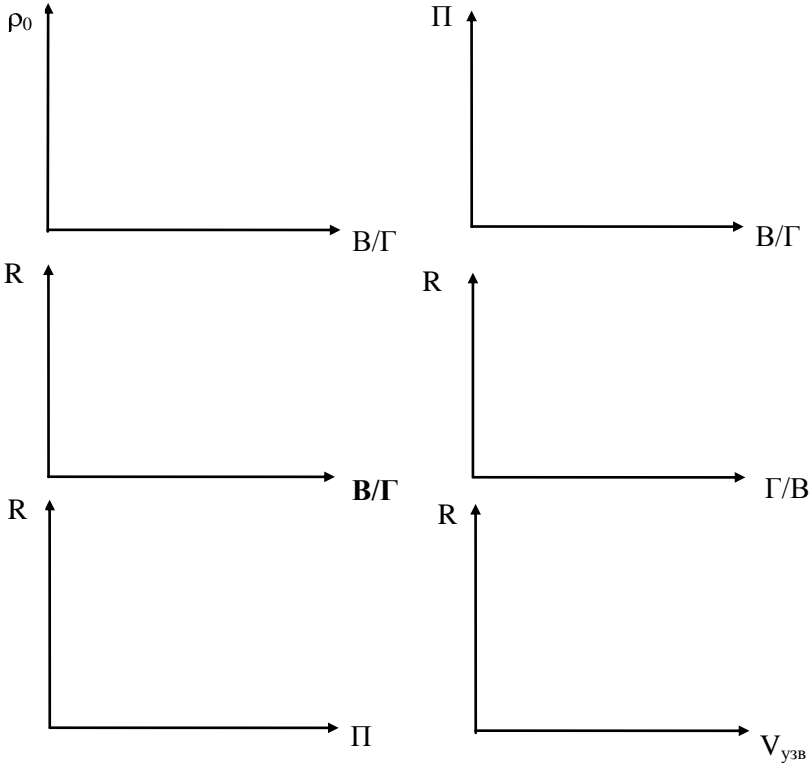
Визначення впливу водогіпсового відношення  
на властивості гіпсового каменю

V/G = \_\_\_\_\_ G/V = \_\_\_\_\_ Гідравлічний прес \_\_\_\_\_  
 Прилад для ультразвукового контролю \_\_\_\_\_ Акустична база \_\_\_\_\_

Показники	Зразки			Середній результат
	1	2	3	
Маса, г				
Об'єм, см <sup>3</sup>				
Середня густина, г/см <sup>3</sup>				
Пористість, %				
Руйнуюче навантаження, кН				
Межа міцності на стиск, МПа				
Час проходження хвилі, мкс				
Швидкість ультразвуку, м/с				



Побудова графічних залежностей



Висновки: \_\_\_\_\_

**Д о с л і д 5 . В и з н а ч е н н я с у м а р н о г о в м і с т у а к т и в н и х  
СаО і MgO у повітряному будівельному вапні**

*Засоби випробування:* конічна колба, скляні буси (палички), прилад для титрування, фарфорова ступка з товчачиком, 1Н розчин соляної кислоти, 1 %-ий спиртовий розчин фенолфталеїну, воронка, дистильована вода.

Визначення сумарного вмісту активних СаО + MgO виконують титруванням наважки вапна соляною кислотою HCl до тих пір, поки всі активні частинки лугів СаО + MgO не будуть нейтралізовані кислотою. Для цього негашене грудкове вапно в кількості 4...5 г попередньо розтирають на протязі 5 хв. у ступці. Розтерте вапно в кількості 1 г засипають у конічну колбу ємністю 250 мл, наливають 150 мл дис-

тильованої води, додають 3...5 кусочків скляних паличок (довжиною 5...7 мм), закривають склянню воронкою і нагрівають вміст колби на протязі 5...7 хв., не доводячи до кипіння. Після охолодження до 20...30°C в розчин додають 2...3 краплі однопроцентного спиртового розчину фенолфталеїну і титрують при постійному збовтуванні розчином 1Н НСl до повного обезбарвлення вмісту. Титрування вважають закінченим, якщо через 8 хв. не змінюється колір забарвлення вмісту колби. Титрування проводять повільно, додаючи кислоту краплями.

Вміст активних CaO + MgO (А) обчислюють за формулою:

$$A = \frac{V \cdot T_{CaO} \cdot 100}{m_B}, \quad (2.2)$$

де  $V$  – об'єм розчину 1Н соляної кислоти, використаний на титрування, мл;  $T_{CaO} = 0.028$  – титр 1Н розчину соляної кислоти, г;  $m_B$  – маса наважки вапна, г.

Вміст активних оксидів кальцію і магнію в повітряному негашеному вапні повинен бути не менший 90, 80 і 70% для вапна, відповідно, першого, другого та третього сорту.

**Завдання 8:** визначити сумарний вміст активних CaO і MgO у повітряному будівельному вапні з різним ступенем випалу.

Завдання виконують за наведеною вище методикою. Результати випробувань для кожної проби вапна заносять в журнал за наступною формою:

Визначення вмісту активних CaO+MgO.

Схема досліджу	Метод		
Показники	Ступінь випалу вапна (t, °C)		
Наважка вапна m, г			
Кількість води V <sub>B</sub> , мл			
Час нагрівання проби t, хв.			
Кількість крапель фенолфталеїну			
Кількість 1Н розчину НСl, витраченого на титрування V, мл			
Вміст активних CaO+MgO А, %			

Висновок: \_\_\_\_\_

**Д о с л і д 6 . Визначення температури і часу гасіння вапна**  
*Засоби випробування:* термос місткістю 500 мл, термометр, скляна паличка.

Для визначення температури і часу гасіння вапна використовують прилад, який працює за принципом побутового термоса, місткістю 500 мл і термометр на 100°C, встановлений у корок термосу. Масу наважки вапна розраховують за формулою:

$$m = 1000/A, \quad (2.3)$$

де **A** – вміст активних CaO + MgO у вапні, %.

З навчальною метою масу наважки беруть 10...20 г, наважку розміщують в посудині Дюара, вливають 20...40 мл води і швидко все перемішують. Посудину закривають корком з встановленим термометром на 100°C і залишають у спокої. Ртутна кулька термометра повинна бути повністю занурена в реагуючу суміш. Відрахунок температури реагуючої суміші ведуть через кожну хвилину, починаючи з моменту вливання води. Визначення рахується закінченим, якщо на протязі 4 хв. температура не піднімається на 1°C. За час гасіння приймають час з моменту вливання води до початку періоду, коли ріст температури не перевищує 0,25°C за хвилину.

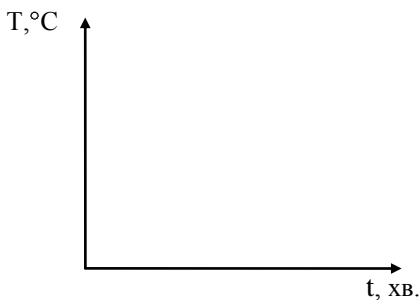
По часу гасіння розрізняють вапно швидкого гашення (індекс часу гасіння А, час гасіння до 8 хв.), вапно середнього гашення (індекс часу гасіння Б, від 8 до 25 хв.), вапно повільного гашення (індекс часу гасіння В, більше 25 хв.).

**Завдання 9:** визначити температуру та тривалість гасіння вапна різної активності.

Завдання виконують за наведеною вище методикою. Додатково будують графік зміни температури гасіння. Результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

Визначення часу та температури гасіння вапна

Вміст активних CaO + MgO	_____	Схема досліджу	
Маса наважки	_____		
Кількість води	_____		
Час доливання води	_____ год _____ хв		
№ виміру	Час		Температура, °С
	год	хв.	



Висновки: \_\_\_\_\_

### Д о с л і д 7. Визначення вмісту непогашених зерен

*Засоби випробування:* сито з розміром отворів 0,63 мм, скляна паличка з гумовим наконечником, сушильна шафа, терези.

Вміст непогашених зерен визначають за прискореним методом. Вапняне тісто, отримане при визначені часу гасіння вапна (дослід 6), розбавляють холодною водою до консистенції вапняного молока і промивають на ситі з сіткою № 063. Залишок на ситі висушують при температурі 140...150°C до постійної маси ( $m_i$ ). Вміст непогашених зерен (**Н.З.**) вираховують за формулою:

$$\text{Н.З.} = \frac{m_i}{m} \cdot 100 \% , \quad (2.5)$$

де  $m$  – маса негашеного вапна.

Вміст непогашених зерен для негашеного вапна першого сорту повинен бути не більшим 7%, другого – 11%, третього – 14%.

**Завдання 10:** визначити вміст непогашених зерен у вапні з різним ступенем випалу.

Завдання виконують за наведеною методикою, результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

Визначення вмісту непогашених зерен

Вид вапна \_\_\_\_\_

Метод \_\_\_\_\_

Наважка негашеного вапна  $m =$  \_\_\_\_\_ г

Маса залишку на ситі №063 після промивки та сушіння  $m_i =$  \_\_\_\_\_ г

Схема дослідів

Вміст непогашених зерен: \_\_\_\_\_ %

Висновки: \_\_\_\_\_

**Завдання 11:** визначити сорт повітряного будівельного вапна .

Завдання виконують, використовуючи результати виконання завдань 8...10. Робочий журнал оформляють наступним чином:

### Визначення сорту вапна

Властивість	Числове значення для вапна:		Сорт вапна і його вид за швидкістю гасіння	
	проба 1	проба 2	проба 1	проба 2
Ступінь випалу				
Час гасіння, хв.				
Температура гасіння, °С				
Вміст непогашених зерен, %				
Вміст активних CaO+MgO, %				

### Контрольні запитання

1. Дати визначення будівельного гіпсу, будівельного вапна і перерахувати основні види сировини для їх одержання.
2. Написати реакції отримання і твердіння будівельного гіпсу та повітряного будівельного вапна.
3. Перерахувати модифікації напівводного гіпсу, умови їх отримання та відмінні властивості.
4. Намалювати схеми дослідів і описати методики визначення основних якісних властивостей будівельного гіпсу та вапна.
5. З якою метою визначають нормальну густоту тіста?
6. Перерахувати фактори, які впливають на міцність штучного гіпсового каменю.
7. Як впливає температура випалу на якість будівельного вапна?
8. Назвати область застосування будівельного гіпсу та вапна.
9. Як підвищити водостійкість будівельного гіпсу і вапна?

## 3. ГІДРАВЛІЧНІ В'ЯЖУЧІ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

#### Властивості портландцементу

#### Дослід 1. Визначення тонкості помелу цементу ситовим методом

*Засоби випробування:* механічний струшувач з набором сит № 02 та № 008, терези.

Основним показником тонкості помелу цементу є залишок на ситі №008 (з розміром комірки 0,08×0,08 мм). Цемент із залишком на ситі №008 більшим 15% рахують браком, оскільки грубі частинки ро-

зміром більше 80...100 мкм взаємодіють з водою дуже повільно і знижують міцності показники в'язучого.

В роботі використовуються сита №008 і №02. Наважку висушеного цементу в кількості 50 г (точність зважування 0,01 г) переносять на сито №02, розміщене на ситі №008, а під нього підставляють піддон, набір сит накривають кришкою. Цемент розсіюють, використовуючи механічний струшувач або вручну. На ситах і піддоні залишаються фракції 200 мкм, 80...200 мкм і < 80 мкм. Через 5...7 хв. після початку струшування зважують залишок на ситі №02. Просіювання можна закінчити, коли на протязі 1 хв. при ручному струшуванні на кальку (без піддона) через сито №008 проходить не більше 0,05 г цементу. Тонкість помелу цементу  $T_{008}$  (%) визначається з точністю до 0,1% як відношення залишку на ситі №008 до початкової маси проби:

$$T_{008} = \frac{m_{008} \cdot 100}{m_0}; \quad (3.1)$$

де  $m_{008}$  – залишок на ситі №008, г;  $m_0$  – маса вихідної наважки, г.

**Завдання 1:** оцінити тонкість помелу портландцементу марок 400 і 500 ситовим методом.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, результати заносять до журналу за наступною формою:

Визначення тонкості помелу портландцементу

Схема дослідів

Показники	ПЦ марки 400		ПЦ марки 500	
	№ проби			
	1	2	1	2
Маса наважки, $m_0$ , г.				
Маса залишку на ситі №008, $m_{008}$ , г				
Тонкість помелу, %				
Середнє значення тонкості помелу, %				

Висновок: \_\_\_\_\_

**Дослід 2. Визначення нормальної густоти цементного тіста**  
*Засоби випробування:* прилад Віка з товкачиком, мішалка механічна для приготування цементного тіста або сферична чаша з лопаткою з нержавіючої сталі, терези, мірний циліндр.

Нормальна густина цементного тіста визначається за допомогою приладу Віка, при цьому в нижню частину стержня приладу вставляють металевий товкачик  $\varnothing 10 \pm 0,1$  мм.

Для приготування цементного тіста відважують 300 г цементу, засипають в чашу, попередньо протерту вологою тканиною. Потім у цементі роблять заглиблення, в яке вливають за один прийом воду в кількості, приблизно необхідній для отримання цементного тіста нормальної густини. Заглиблення засипають цементом і через 30 секунд після додавання води спочатку обережно перемішують, а потім енергійно розтирають тісто лопаткою.

Тривалість перемішування і розтирання складає 5 хв. з моменту додавання води.

Перед початком випробувань перевіряють, чи вільно опускається стержень приладу Віка, а також записують нульовий показник приладу при дотиканні товчачика до пластинки, на якій розміщене кільце. Кільце і пластинку перед початком випробувань змащують тонким шаром машинного масла.

Приготоване цементне тісто вкладають у кільце за один прийом і 5...6 разів струшують, постукуючи по твердій основі. Поверхню тіста вирівнюють з краями кільця, зрізуючи надлишок його ножем, протертим вологою тканиною. негайно після цього приводять товчачик приладу в дотик з поверхнею тіста в центрі кільця і закріплюють стержень стопорним пристроєм.

Потім звільняють стержень і дають можливість товчачику вільно занурюватись у цементне тісто на протязі 30 секунд, після цього проводять відлік глибини занурення по шкалі. Кільце з тістом під час відліку не повинне піддаватись поштовхам.

Дослід повторюють до тих пір, доки не буде досягнута така глибина занурення товчачика, яка відповідає нормальній густині. При цьому кожен раз готують нову порцію цементного тіста. Результати випробувань заносять у журнал.

**Завдання 2:** визначити нормальну густоту тіста для цементів різних типів та дослідити можливість її зниження при введенні пластифікуючої добавки.

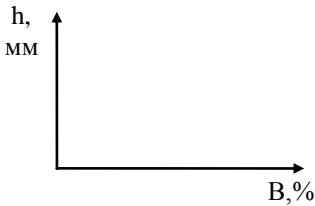
За наведеною вище методикою визначають НГ цементного тіста без добавки пластифікатора та з 2...3-ма різними концентраціями добавки, вказаними викладачем. Додатково будують графіки залежності глибини опускання товчачика приладу Віка від процентного вмісту води (для цементного тіста без добавки) та залежності НГ цементного тіста від вмісту пластифікуючої добавки. Результати для цементу кожного типу окремо заносять до журналу за наступною формою:

### Визначення нормальної густоти цементу

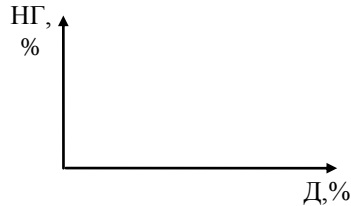
Схема досліду	Прилад _____
	Діаметр товчачика _____ мм
	Тип та марка цементу _____
	Наважка цементу _____ г
	Назва добавки _____

№ спроби	Кількість води		Вміст добавки, %	Покази приладу, мм	Глибина занурення, мм
	%	Мл			

Залежність глибини опускання товчачика від вмісту води



Залежність НГ цементу від вмісту добавки-пластифікатора



Висновок \_\_\_\_\_

### Д о с л і д 3 . В и з н а ч е н н я с т р о к і в т у ж а в л е н н я

*Засоби випробування:* прилад Віка з голкою, мішалка механічна для приготування цементного тіста або сферична чаша з лопаткою з нержавіючої сталі, терези, мірний циліндр.

Дослід проводять за допомогою приладу Віка, в якому товчачик замінюють голкою  $\varnothing 1,1 \pm 0,04$  мм, Голка повинна бути виготовлена із сталюого нержавіючого дроту. Перед початком випробувань перевіряють, чи вільно опускається голка приладу Віка, а також записують нульовий показник приладу при дотиканні голки до пластинки, на якій розміщене кільце.

За результатами попереднього досліду готують тісто нормальної густини, заповнюють ним кільце, яке розміщують під голкою приладу. Голку приводять в дотик з тістом, закріплюють стержень стопором, потім звільняють його, даючи можливість голці вільно занурюватись у тісто на протязі 30 секунд, потім роблять відлік за шкалою. Занурення проводять через кожні 10 хв., пересуваючи кільце кожен раз так, щоб голка не потрапляла на попереднє місце. Після кожного занурення голку витирають.



**Завдання 3:** визначити строки тужавлення цементу та дослідити вплив на них добавок-прискорювачів.

За наведеною вище методикою визначають строки тужавлення цементу без добавки та з 2...3-ма різними концентраціями добавок, вказаними викладачем. Додатково будують графіки залежності строків тужавлення від вмісту добавки-прискорювача. Результати заносять до журналу за наступною формою:

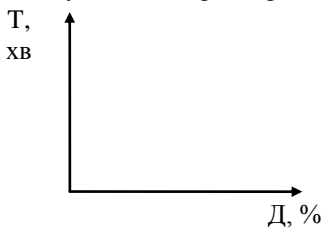
Визначення строків тужавлення цементу

Схема досліду	Прилад _____
	Діаметр товчачика _____ мм
	Марка цементу _____
	Водопотреба цементу _____ %
	Наважка цементу _____ г
	Назва добавки _____

№ спроби	Вміст добавки, %	Початок тужавлення, хв.	Кінець тужавлення, хв.

Графік залежності строків тужавлення від вмісту добавки-прискорювача



Висновок \_\_\_\_\_

#### Д о с л і д 4. Виготовлення зразків для визначення марки цементу

**Засоби випробування:** мішалка механічна для приготування цементного тіста або сферична чаша з лопаткою з нержавіючої сталі, струшуючий столик і форма-конус, штиковка, форми для виготовлення зразків-балочок, вібромайданчик, штангенциркуль, терези, мірний циліндр.

**Виготовлення цементного розчину.** Для визначення консистенції цементного розчину зважують 1500 г піску і 500 г цементу, висипають їх в попередньо протерту мокрою тканиною сферичну чашу, перемішують цемент з піском лопаткою на протязі 1 хв. Потім в центрі сухої суміші роблять ямку, вливають туди воду в кількості 200

г ( $V/C = 0,4$ ), дають воді всмоктатись на протязі 0,5 хв. і перемішують суміш ще на протязі 1 хв.

Розчин переносять в попередньо протерту вологою тканиною чашу механічної мішалки і перемішують в ній на протязі 2,5 хв. (20 обертів чаші). На струшуючий столик ставлять форму-конус. Диск столика і внутрішню поверхню форми-конуса попередньо протирають вологою тканиною. По закінченні перемішування розчину ним заповнюють форму-конус на половину висоти і ущільнюють 15-ма штикуваннями металевої штиковки. Потім заповнюють конус з надлишком і штикують ще 10 разів. Після ущільнення надлишок розчину зрізають ножом врівень з верхом конуса, потім вертикально знімають конус.

Розчин струшують на столику 30 раз на протязі  $30 \pm 5$  с. Після цього штангенциркулем вимірюють діаметр конуса по нижній площині в двох взаємоперпендикулярних напрямках і знаходять середнє значення. Для тіста нормальної консистенції розплив конуса повинен бути в межах 106...115 мм. Якщо він виявиться меншим 105 мм, кількість води збільшують до отримання розпливу конуса 106...108 мм, якщо більшим 115 мм - кількість води зменшують до отримання розпливу конуса 113...115 мм.

Водоцементне відношення, отримане при розпливі конуса 106...115 мм, приймають для проведення подальших випробувань.

**Завдання 4:** дослідити вплив на консистенцію цементно-піщаного розчину крупності піску та виготовити цементно-піщаний розчин нормальної консистенції.

За наведеною методикою виготовляють розчин нормальної консистенції з використанням вольського та з 2...3-х пісків місцевих родовищ різної крупності. Результати заносять до журналу за наведеною нижче формою. Додатково будують графіки залежності розпливу конуса від водоцементного відношення для пісків різної крупності та залежності водоцементного відношення, яке відповідає нормальній консистенції розчину, від модуля крупності піску.

Визначення впливу крупності пісків на консистенцію цементно-піщаного розчину

Схема дослідіду	Прилади _____			
	Пісок а) _____ б) _____ в) _____			
	Наважка піску _____ г			
	Наважка цементу _____ г			
№ спроби	$M_{кр}$	V, мл	V/C	Розплив конуса, мм



Висновок \_\_\_\_\_

**Виготовлення цементних зразків.** Для визначення марки цементу виготовляють 3 зразки в стандартній формі-трійці. Внутрішню поверхню стінок і піддона форми змащують машинним маслом. На зібрану форму ставлять насадку. Зразки-балочки виготовляють із цементного розчину нормальної консистенції. Для ущільнення розчину форму з насадкою закріплюють на вібромайданчику, потім заповнюють розчином по висоті приблизно на 1 см і включають вібромайданчик. На протязі перших 2-х хвилин вібрації всі три комірки форми рівномірно невеликими порціями заповнюють розчином. Через 3 хв. після початку вібрування майданчик виключають. Форму знімають, зрізують ножом, змоченим водою, надлишок розчину, загладжують поверхню зразків врівень з краями форми і маркують кожний зразок.

Після виготовлення зразки в формах зберігають  $24 \pm 2$  год. у ванні з гідравлічним затвором. Потім зразки обережно виймають із форми і розміщують у ванні з питною водою так, щоб вони не торкались один до одного. Вода повинна покривати зразки не менше ніж на 2 см і її потрібно міняти кожні 14 діб. Температура води повинна бути  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Загальний строк зберігання - 28 діб, після чого зразки випробовують.

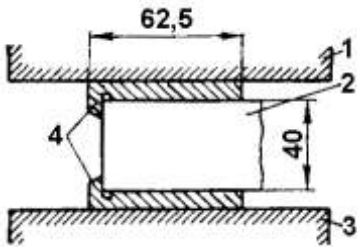
**Завдання 5:** виготовити зразки для визначення марки цементу.

За наведеною методикою з розчину нормальної консистенції виготовляють три зразки у відповідній формі. У робочому журналі роблять запис із зазначенням кількості води, при якій досягається необхідний розплив конуса, величини В/Ц і розпливу конуса; дату виготовлення зразків, умови їх зберігання.

## Д о с л і д 5. В и з н а ч е н н я м а р к и ц е м е н т у

**Визначення межі міцності на згин.** Випробування проводять на приладі МІІ-100 або аналогічному. Зразки встановлюють на дві опори і завантажують посередині. Опорні і передаючі навантаження елементи повинні мати циліндричну форму і розміщуватись строго паралельно. Зразок розміщують на опорних елементах приладу так, щоб його горизонтальні при виготовленні грані знаходились у вертикальному положенні. Випробування зразків проводять відповідно до інструкції, яка додається до приладу і згідно вказівок викладача чи лаборанта.

Межу міцності на згин вираховують як середнє арифметичне значення з двох найбільших результатів випробувань трьох зразків.



**Рис. 3.1.** Схема випробування зразків-балочок на стиск: 1 – верхня плита преса; 2 – половина балочки; 3 – нижня плита преса; 4 – пластинки.

Половинку балочки розміщують між двома пластинками так, щоб бокові грані, які при виготовленні прилягали до стінок форми, знаходились на площинах пластинок, а упори пластинок щільно прилягали до торцевої гладкої поверхні зразків. У такому випадку площа опирання зразків на пластини складає 25 см<sup>2</sup>.

Для визначення межі міцності на стиск використовують прес з граничним навантаженням 200...250 кН. Середня швидкість росту навантаження при проведенні випробувань повинна бути  $2 \pm 0,5$  МПа. Зразок разом з пластинками розміщують на опорній плиті пресу, потім доводять його до руйнування і визначають руйнуюче навантаження за шкалою преса.

Границя міцності на стиск (активність цементу), МПа, дорівнює

$$R_{ст} = 10 \cdot F/A, \quad (3.2)$$

де  $F$  – руйнуюче навантаження, кН,  $A$  – площа стиску, м<sup>2</sup>.

Середнє значення міцності на стиск обчислюють як середнє арифметичне чотирьох найбільших результатів шести випробуваних

напівбалочок. Результати дослідів записують у робочий журнал. На підставі даних випробувань роблять висновок про марку цементу.

**Завдання 6:** визначити марку портландцементу.

Для визначення марки виготовляють і випробовують за наведеною вище методикою зразки-балочки. Результати випробувань заносять до журналу за наступною формою:

Визначення марки портландцементу

а). Визначення межі міцності на згин

Показники	Схема встановлення зразка		
	№ зразка		
	1	2	3
Вік зразка, діб			
Межа міцності на згин, МПа			
Середнє значення, МПа			

б). Визначення межі міцності на стиск

Показники	Схема встановлення зразка					
	№ зразка					
	1	2	3	4	5	6
Вік зразка, діб						
Площа стиску, см <sup>2</sup>						
Руйнуюче навантаження, кН						
Межа міцності на стиск, МПа						
Середнє значення, МПа						

Висновок: \_\_\_\_\_

**Завдання 7:** дослідити вплив на активність цементу різного мінералогічного складу та умов твердіння.

Для виконання завдання за наведеною методикою визначають міцність стандартних цементних зразків різного мінералогічного складу (високоалюмінатного, нормального за вмістом C<sub>3</sub>A, шлакопортландцементу та ін.), які тверділи при стандартних та повітряно-сухих умовах та були пропарені за т.зв. нормалізованим режимом. Результати заносять до журналу.

Дослідження впливу умов твердіння та мінералогічного складу цементу на його активність

Вид цементу: №1 \_\_\_\_\_  
 №2 \_\_\_\_\_  
 №3 \_\_\_\_\_

Режим пропарювання: \_\_\_\_\_

Показники	№ зразків					
	1	2	3	4	5	6
<b>Цемент №1</b>						
Межа міцності на згин, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						
Межа міцності на стиск, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						
<b>Цемент №2</b>						
Межа міцності на згин, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						
Межа міцності на стиск, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						
<b>Цемент №3</b>						
Межа міцності на згин, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						
Межа міцності на стиск, МПа, зразків:						
Нормального твердіння						
Повітряно-сухого зберігання						
Пропарених						

Висновок \_\_\_\_\_

### Контрольні запитання

1. Навести мінералогічний склад портландцементу і шлакопортландцементу?
2. Перерахувати основні фізико-механічні властивості цементу, навести методику їх визначення та вимоги відповідних стандартів.
3. Що таке тужавлення цементу? Як можна його прискорити або сповільнити?
4. Які добавки-пластифікатори і для чого вводять до складу цементу?

## 4. ЗАПОВНЮВАЧІ ДЛЯ БЕТОНУ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

#### Якість заповнювачів для важкого бетону

#### Дослід 1. Визначення крупності піску і її впливу на пластичність розчину.

Зерновий склад піску для важкого бетону повинен відповідати даним, вказаним у таблиці 4.1. При цьому підраховують тільки зерна, які пройшли через сито з крупними отворами діаметром 5 мм.

#### 4.1. Вимоги до зернового складу дрібного заповнювача

Розмір Отворів контрольних сит, мм	Повні залишки на контрольних ситах, % за масою, для бетону:			
	усіх видів конструкцій, окрім труб	залізобетонних і бетонних труб		гідротехнічного (допускається)
		напірних, низьконапірних	безнапірних	
2,5	0...20	10...20	0...20	0...30
1,25	5...45	25...45	10...45	5...55
0,63	20...70	50...70	30...70	20...75
0,315	35...90	70...90	70...90	40...90
0,16	90...100	95...100	90...100	85...100
<0,16	10...0	5...0	10...0	15...0
Модуль Крупності	1,5...3,25	2,5...3,25	2,0...3,25	1,5...3,5

Дослід проводять у наступній послідовності:

- з проби пісків різних кар'єрів, просіяних крізь сито з отворами діаметром 5 мм, відбирають наважки ( $m$ ) по 1000 г і просіюють крізь сита з отворами таких розмірів: 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм;
- визначають часткові залишки ( $m_i$ ) у грамах на кожному ситі, потім часткові залишки ( $a_i$ ) у % і повні залишки ( $A_i$ ) у %;
- визначають модуль крупності пісків і роблять висновок про крупність піску кожного кар'єру;
- придатність пісків за зерновим складом для бетонів визначають побудовою кривих просіювання, які повинні знаходитися в області, встановленій стандартом (част. I, рис. 4.1). Криві просіювання будують за результатами дослідів, відкладаючи у масштабі





Висновок про придатність пісків для бетону за зерновим складом: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Завдання 2:** оцінити вплив крупності піску на пластичність розчину.

Використовуючи наведену вище методику, порівнюють розплив стандартного конуса для розчинів з піском різних кар'єрів, вихідні дані та результати випробувань заносять в журнал за наступною формою:

Визначення впливу крупності піску на пластичність розчину

Метод \_\_\_\_\_ В/Ц = \_\_\_\_\_  
Наважка піску  $m_n$  = \_\_\_\_\_ г Наважка цементу  $m_c$  = \_\_\_\_\_ г

Схема досліді по визначенню пластичності розчину

№ кар'єру піску	Мкр	Розплив конуса

Висновок: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Д о с л і д 2 . Визначення наявності у піску шкідливих домішок і їх впливу на пластичність розчину**

Вміст органічних домішок контролюють методом забарвлення (колориметрична проба).

Заповнювач заливають 3%-ним розчином NaOH і порівнюють його колір через добу з кольором еталона. Забарвлення рідини над заповнювачем повинне бути не темнішим від кольору еталона. При забарвленні, темнішому за колір еталона, потрібно перевірити можливість застосування заповнювача у розчині або у бетоні шляхом пробних замісів.

Кількість у заповнювачі глинистих, мулистих і пілевидних частинок, які збільшують водопотребу бетонних сумішей і обволокуючи зерна заповнювача зменшують його щеплення з цементним каменем, а значить зменшують його міцність і морозостійкість, визначається відмуленням. Суть цього методу полягає у тому, що вказані частинки розміром меншим 0,05 мм будучи змулені у воді (висота стовпа води над заповнювачем >20 см), не осаджуються протягом 2 хвилин, на відміну від крупніших зерен, які осідають на дно посудини. Через 2 хвилини після змулення воду обережно зливають. Заповнювачі так промивають до того часу, поки вода після чергового промивання не стане прозорою. За зміною маси заповнювача до і після промивання

визначають кількість віддулених частинок і виражають результат у % маси початкової наважки.

Дослід проводять у наступній послідовності:

- у пробах піску різних кар'єрів визначають по викладеній вище методиці наявність шкідливих домішок (органічних і віддулених).
- виготовляють цементно-піщані розчини складу Ц:П == 1:3 при  $V/C = \text{const}$  (задає викладач);
- визначають на струшуючому столику пластичність розчину за розпливом конуса;
- результати дослідів записують у робочий журнал.

**Завдання 3:** визначити вміст у піску віддулюваних та органічних домішок.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного матеріалу заносять в журнал за наступною формою:

Визначення наявності у піску шкідливих домішок

Метод \_\_\_\_\_  
Схема дослідів по визначенню віддулених домішок

Наважка піску  $m =$  \_\_\_\_\_ г

Вага піску після промивання і висушування  $m_1 =$  \_\_\_\_\_ г

Наявність віддулених домішок:  $ВД =$  \_\_\_\_\_

Висновок: \_\_\_\_\_

Метод \_\_\_\_\_  
Схема дослідів по визначенню органічних домішок

Висновок \_\_\_\_\_

**Завдання 4:** оцінити вплив домішок у піску на пластичність розчину.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного матеріалу заносять в журнал за наступною формою:

Визначення впливу домішок у піску на пластичність розчину

Метод \_\_\_\_\_  $V/C =$  \_\_\_\_\_

Наважка піску  $m_{\text{п}} =$  \_\_\_\_\_ г Наважка цементу  $m_{\text{ц}} =$  \_\_\_\_\_ г

№ кар'єру піску	Наявність віддулених домішок, %	Розплив конуса

Висновок: \_\_\_\_\_

### Д о с л і д 3. Вибір оптимального співвідношення фракцій щебеню

Зерновий склад щебеню для забезпечення мінімальної порожнистості повинен знаходитись у області, вказаній у таблиці 4.2. Для забезпечення оптимального зернового складу крупний заповнювач звичайно поділяють на окремі фракції, які потім змішують у рекомендованих співвідношеннях згідно таблиці 4.3.

#### 4.2. Визначення найбільшого ( $D_{\text{найб.}}$ ) та найменшого ( $D_{\text{найм.}}$ ) діаметра щебеню у фракції

Розмір отворів контрольних сит	$D_{\text{найм.}}$ для фракції з найменшим розміром зерен, мм		0,5 ( $D_{\text{найм.}} + D_{\text{найб.}}$ )		$D_{\text{найб.}}$	1,25 $D_{\text{найб.}}$
	5 (3)	10 і більше	однієї фракції	суміші фракцій		
Повний залишок на ситах за масою, %	95...100	90...100	40...80	50...70	0...10	0

#### 4.3. Оптимальні співвідношення вмісту окремих фракцій щебеню у суміші

Найбільша крупність зерен $D_{\text{найб.}}$ , мм	Вміст фракцій у крупному заповнювачі, %.				
	5...10 мм	10...20 мм	20...40 мм	40...70 мм	70...120 мм
20	25...40	60...75	-	-	-
40	15...25	20...35	40...65	-	-
70	10...20	15...25	20...35	35...55	-
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

Для бетону гідротехнічних споруд кількість відмулюваних домішок у крупному заповнювачі не повинна перевищувати (за масою): для бетону зони змінного рівня води і надводної зони - 1 %, для підводної і внутрішньої зони – 2%; у піску – для бетонів зони змінного рівня – 2%, для надводного бетону – 3%, для підводного бетону і бетону внутрішньої зони – 5 %.

Дослід проводять у наступній послідовності:

- з проб щебеню різних кар'єрів відбирають наважки (m) по 5000 г і просіюють крізь сита з отворами 70; 40; 20; 10; 5 мм;
- визначають масові залишки ( $m_i$ ) у г, потім часткові залишки ( $a_i$ ) у % і повні залишки ( $A_i$ ) у %.

- за результатам просіювання визначають найбільшу ( $D_{\text{найб}}$ ) і найменшу крупність ( $D_{\text{найм.}}$ ) щебеню різних кар'єрів (згідно таблиці 4.2) будують криві просіювання щебеню та область, встановлену стандартом (част. I, рис. 4.2);
- оптимальне співвідношення між фракціями щебеню встановлюють шляхом порівняння їх сумішей, з яких вибирають ті, які мають найбільшу насипну густину і найменшу порожнистість.

При двох фракціях щебеню вказане визначення виконують так: складають три суміші (за масою): 1-а суміш – 40% дрібної і 60% крупної фракції; 2-а суміш – 50% дрібної і 50% крупної фракції; 3-я суміш – 60% дрібної і 40% крупної фракції.

Складені суміші фракцій щебеню старанно перемішують і визначають насипну густину суміші у пухконасипаному (стандартному) стані, використовуючи методику, описану у досліді № 1г лабораторної роботи № 1. За основу приймають суміш з найбільшою насипною густиною. Якщо насипні густини сумішей виявляться близькими між собою і дрібна фракція дефіцитна, то застосовують суміш з меншим вмістом дрібної фракції. Підбір співвідношення між фракціями проводять, користуючись даними таблиці 3.

Результати дослідів записують у робочий журнал.

**Завдання 5:** визначити зерновий склад щебеню.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного матеріалу заносять в журнал за наступною формою:

Визначення зернового складу щебеню

Наважка  $m =$  \_\_\_\_\_

г      Метод \_\_\_\_\_

Розміри отворів сит, мм	$m_i$ , г.		$a_i$ , %		$A_i$ , %	
	№ кар'єра					
	1	2	1	2	1	2

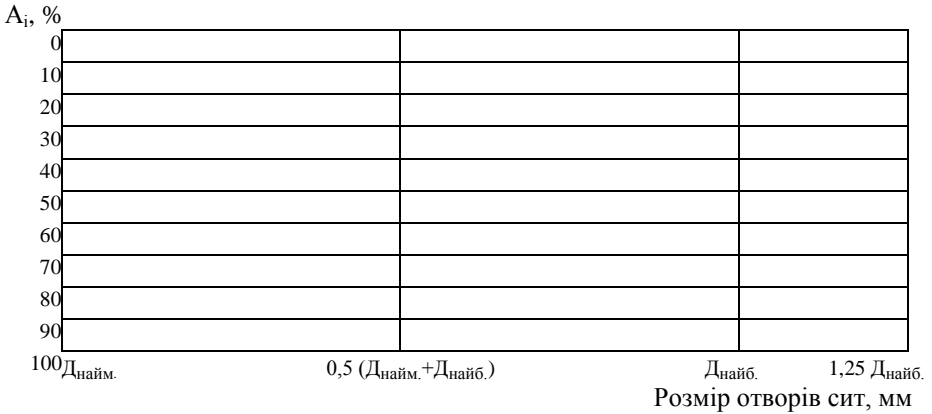
$D_{\text{найм. 1}} =$  \_\_\_\_\_

$D_{\text{найб. 1}} =$  \_\_\_\_\_

$D_{\text{найм. 2}} =$  \_\_\_\_\_

$D_{\text{найб. 2}} =$  \_\_\_\_\_

### Графіки зернового складу щебеню



Висновок про придатність щебеню для бетону за зерновим складом: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Завдання 6:** *вибрати оптимальне співвідношення фракцій щебеню з умови його мінімальної порожнистості.*

Завдання виконують за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати випробувань для кожного матеріалу заносять в журнал за наступною формою:

Вибір оптимального співвідношення фракцій щебеню

Вміст фракції _____ мм	Вміст фракції _____ мм	Насипна густина суміші, кг/м <sup>3</sup>

Висновок \_\_\_\_\_

### Контрольні запитання

1. Дати стисле означення піску, щебеню, гравію, вказавши крупність зерен у мм.
2. Навести класифікацію піску за утворенням, за умовами залягання і крупністю зерен.
3. Вказати відмінність між щебенем і гравієм і дати порівняльний аналіз їх впливу на властивості бетону і бетонної суміші.
4. Вказати вимоги стандартів до наявності наступних шкідливих домішок у піску і щебеню та причину їх обмеження:

- органічних домішок;
  - відмулюваних частинок;
  - сірчистих і сірчанокислих сполук.
5. Викласти методики визначення:
- зернового складу заповнювачів;
  - вмісту органічних домішок;
  - вмісту відмулюваних домішок.
6. Що є критерієм крупності піску?
7. Як визначають придатність заповнювача за зерновим складом ?
8. За якими даними і для чого будується крива просіювання ?

## 5. БЕТОНИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

#### Проектування складу важкого бетону

##### В п р а в а 1 . Розрахунково-експериментальний метод визначення складу важкого бетону нормального твердіння

Для розрахунку складу важкого бетону необхідно мати наступні дані: задану середню міцність бетону на стиск (марку бетону)  $R_b$ , необхідну легкоукладальність бетонної суміші, яку характеризують осадкою конуса (ОК, см), або жорсткістю (Ж, с), а також характеристику вихідних матеріалів: вид і активність цементу  $R_c$ , насипну густину складових  $\rho_{nc}, \rho_{np}, \rho_{nc}$  (кг/м<sup>3</sup>) та їх дійсну густину  $\rho_c, \rho_p, \rho_{sc}$  (кг/м<sup>3</sup>), пустотність щебеню або гравію  $V_{p,sc}$ , найбільшу крупність їх зерен та вологість заповнювачів  $W_p, W_{sc}$  (%).

Склад бетону для пробних замісів розраховують у такій послідовності: обчислюють водоцементне відношення, витрату води, витрату цементу, після чого визначають витрату крупного та дрібного заповнювачів на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші.

Водоцементне відношення (В/Ц) обчислюють, виходячи з вимог до міцності бетону і з урахуванням активності цементу, виду та якості складових за наступними формулами:

- для бетонів з водоцементним відношенням  $V/C > 0.4$ 

$$R_b = A \cdot R_c \cdot \sqrt[3]{V/B - 0.5}; \quad (5.1)$$
- для бетонів з водоцементним відношенням  $V/C < 0.4$ :

$$R_6 = A_1 \cdot R_u \cdot \sqrt{W/B + 0,5}; \quad (5.2)$$

де  $R_6$  – міцність бетону, МПа;  $R_u$  – активність цементу, МПа;  $A$ ,  $A_1$  – коефіцієнти, які враховують якість матеріалів (таблиця 5.1.)

### 5.1. Коефіцієнти, які враховують якість матеріалів для бетону

Якість заповнювачів і цементу	A	A <sub>1</sub>
Висока	0.65	0.43
Рядова	0.6	0.4
Понижена	0.55	0.37

До високоякісних матеріалів відносять щебінь зі щільних гірських порід високої міцності, пісок оптимальної крупності і портландцемент високої активності без добавок або з мінімальною кількістю гідравлічної добавки в його складі, заповнювачі повинні бути чисті і фракційні. до рядових матеріалів відносять заповнювачі середньої якості, у тому числі гравій, портландцемент середньої активності, або високомарочний шлакопортландцемент.

До матеріалів пониженої якості відносять крупні заповнювачі низької міцності і дрібні піски, цементи низької активності.

Після розв'язання відносно В/Ц наведені вище формули (5.1...5.2) матимуть вигляд

$$W/C = \frac{A \cdot R_u}{R_6 + 0,5 \cdot A \cdot R_u} > 0,4; \quad (5.3)$$

$$W/C = \frac{A_1 \cdot R_u}{R_6 + 0,5 \cdot A_1 \cdot R_u} \leq 0,4. \quad (5.4)$$

Для гідротехнічного бетону водоцементне відношення визначають не тільки з умови міцності, а й з умови забезпечення необхідної довговічності. Для цього значення В/Ц повинне не перевищувати величини, наведені в таблиці 5.2.

Витрату води (водопотребу бетонної суміші), л/м<sup>3</sup>, орієнтовно визначають, виходячи з даної легкоукладальності бетонної суміші за таблицею 5.3., яка складена з урахуванням виду та крупності зерен заповнювача.

Витрату цементу на 1м<sup>3</sup> бетонної суміші обчислюють за вже відомими водоцементним відношенням та витратою води.

$$\rho = \frac{V}{V/\rho} \quad (5.5)$$

### 5.2. Максимально допустимі значення В/Ц для гідротехнічного бетону

Умова служби	Немасивні залізо-бетонні конструкції		Зовнішня зона масивних конструкцій	
	Вода			
	морська	прісна	морська	прісна
Надводний бетон, який епізодично омивається водою	0,55	0,6	0,65	0,65
Підводний бетон:				
- в напірних спорудах	0,55	0,58	0,56	0,58
- в безнапірних спорудах	0,5	0,62	0,62	0,62
Бетони зони змінного рівня води				
- в особливо суворих кліматичних умовах	0,42	0,47	0,45	0,48
- в суворих умовах	0,45	0,5	0,47	0,52
- в помірних умовах	0,5	0,55	0,55	0,53

### 5.3. Орієнтовна витрата води на 1м<sup>3</sup> бетонної суміші \*

Марка суміші	Жорсткість за ГОСТ 1 0181.1-81, с	Рухливість, см	Витрата води, л <sup>3</sup> /м при крупності, мм							
			Гравію				Щебеню			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж <sub>0</sub>	≥31	—	150	135	125	120	120	160	150	135
Ж <sub>1</sub>	30...21	—	160	145	130	125	170	165	160	140
Ж <sub>2</sub>	20...11	—	165	150	135	130	175	165	150	155
Ж <sub>3</sub>	10...5	—	175	160	145	140	185	175	160	155
П <sub>1</sub>	—	1...4	190	175	160	155	200	190	175	170
П <sub>2</sub>	—	5...9	200	185	170	165	210	200	185	180
П <sub>3</sub>	—	10...15	215	205	190	180	225	215	200	190
П <sub>4</sub>	—	12...16	225	220	205	195	235	230	215	205

П р и м і т к а : \* – суміші на цементі з нормальною густиною тіста 26...28% та піску з  $M_{кр}=2$ . При зміні нормальної густини цементного тіста на кожний відсоток в меншу сторону витрату води треба зменшувати на 3...5 л/м<sup>3</sup>, у більшу - збільшувати на те ж значення. У випадку зміни модуля крупності піску у меншу сторону на кожні 0,5 його значення необхідно збільшувати, а в більшу сторону - зменшувати витрату води на 3...5 л/м<sup>3</sup>. У випадку застосування при отриманні бетону пластифікуючих добавок витрата води, встановлена за таблицею 5.3. коригується з урахуванням значення коефіцієнта  $K_{п}$ , встановленого за таблицею 5.4.



#### 5.4. Значення поправочного коефіцієнта $K_n$ до вдовмісту бетонних сумішей при застосуванні пластифікуючих добавок

Рухливість бетонної суміші, см	Цементно-водне відношення			
	1,4	1,8	2,2	2,6
1...4	0,95/0,90	0,93/0,87	0,91/0,85	0,90/0,83
5...9	0,94/0,89	0,92/0,86	0,90/0,84	0,88/0,82
10...15	0,92/0,87	0,90/0,80	0,88/0,81	0,87/0,79
12...16	0,91/0,85	0,89/0,81	0,87/0,79	0,85/0,78

П р и м і т к а : У чисельнику наведенні значення  $K_n$  при використанні добавки ЛСТ 0,25% від витрати цементу, а в знаменнику - добавки С-3 у кількості 0,7%.

Витрату заповнювачів (піску, щебеню або гравію),  $\text{кг}/\text{м}^3$  бетону обчислюють, виходячи з двох умов:

1. Сума абсолютних об'ємів всіх компонентів ущільненої бетонної суміші дорівнює  $1 \text{ м}^3$ :

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}} = 1, \quad (5.6)$$

де  $Ц, В, П, Щ(Г)$  – витрата цементу, води, піску і щебеню (гравію),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{п}, \rho_{щ(г)}$  – дійсна густина цих матеріалів,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\frac{Ц}{\rho_{ц}}, \frac{В}{\rho_{в}}, \frac{П}{\rho_{п}}, \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}}$  – абсолютні об'єми матеріалів,  $\text{м}^3$ .

2. Цементно-піщаний розчин заповнює порожнечу у крупному заповнювачі з деяким розсуванням зерен, тобто

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = \alpha \cdot V_{п.щ(г)} \cdot \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}}, \quad (5.7)$$

де  $V_{п.щ(г)}$  – порожнечу щебеню (гравію) у пухконасипаному стані, виражена в долях одиниці;  $\alpha$  – коефіцієнт розсуву зерен щебеню (гравію), який приймається за таблицею 5.5.

#### 5.5. Значення коефіцієнта $\alpha$ для пластичних бетонних сумішей

Витрата цементу, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коефіцієнт $\alpha$ при В/Ц, рівному				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,3	1,36	1,42	—
350	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,4	1,46	—	—	—

П р и м і т к и : 1. При інших значеннях  $Ц$  і  $В/Ц$  коефіцієнт  $\alpha$  знаходять інтерполяцією.

2. Значення коефіцієнта  $\alpha$  наведені при водопотребі піску 7%. Якщо водопотреба використаного дрібного піску більша 7%, коефіцієнт  $\alpha$  зменшують на 0,03 на кожний відсоток збільшення водопотреби піску; якщо водопотреба крупного піску менша 7%, коефіцієнт  $\alpha$  збільшують на 0,03 на кожний відсоток зменшення водопотреби піску

Розв'язавши спільно ці дві рівності, отримаємо вираз для визначення витрати щебеню (гравію), у кг на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші:

$$\Pi \Gamma = \frac{1}{\alpha \cdot V_{\Pi \Pi \Gamma} / \rho_{\Pi \Pi \Gamma} + 1 / \rho_{\Pi \Gamma}} \quad (5.8)$$

Після визначення витрати щебеню (гравію) розраховують витрату піску, кг/м<sup>3</sup>, як різницю між проектним об'ємом бетонної суміші та сумою абсолютних об'ємів цементу, води та крупного заповнювача:

$$\Pi = 1 - \frac{V_{\Pi} / \rho_{\Pi} + V_{\Pi} / \rho_{\Pi} + \Pi \Gamma / \rho_{\Pi \Gamma}}{\rho_{\Pi}} \quad (5.9)$$

Визначивши витрату компонентів  $\Pi$ ,  $V$ ,  $\Pi$ ,  $\Pi \Gamma$  на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші, обчислюють її розрахункову густину  $\rho_{\text{см}} = \Pi + V + \Pi + \Pi \Gamma$ , кг/м<sup>3</sup>, та коефіцієнт виходу бетону діленням об'єму бетонної суміші в ущільненому стані (1 м<sup>3</sup>) на суму об'ємів сухих складових, витрачених на її виготовлення:

$$\beta = \frac{1}{V_{\Pi} + V_{\Pi} + V_{\Pi \Gamma}} = \frac{1}{\frac{\Pi}{\rho_{\Pi \Gamma}} + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi \Pi}} + \frac{\Pi \Gamma}{\rho_{\Pi \Pi \Gamma}}} \quad (5.10)$$

де  $V_{\Pi} + V_{\Pi} + V_{\Pi \Gamma}$  – об'єм сухих складових, витрачених на виготовлення 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\Pi \Gamma}$ ,  $\rho_{\Pi \Pi}$ ,  $\rho_{\Pi \Pi \Gamma}$  – насипна густина сухих матеріалів, кг/м<sup>3</sup>. Для важких бетонів значення коефіцієнта виходу як правило знаходиться у проміжку 0,6...0,75.

При визначенні виробничого складу враховують вологість заповнювачів і коригують їх витрату, а також витрату води на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші. При вологості піску  $W_{\Pi}$  і щебеню  $W_{\Pi}(\%)$  відкориговані витрати заповнювачів  $\Pi_{\text{в}}$ ,  $\Pi_{\text{в}}$  і води  $V_{\text{в}}$  (кг/м<sup>3</sup>) дорівнюватимуть:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{в}} &= \Pi \cdot \frac{100 + W_{\Pi}}{100} \\ \Pi_{\text{в}} &= \Pi \cdot \frac{100 + W_{\Pi}}{100} \\ V_{\text{в}} &= V - \Pi \cdot \frac{W_{\Pi}}{100} - \Pi \cdot \frac{W_{\Pi}}{100} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Дозування складових бетонної суміші (кг) на один заміс бетонозмішувача з корисним об'ємом барабана  $V_{б.сум.}$  (л) виконують з урахуванням коефіцієнта виходу бетону за формулами:

$$\begin{aligned} \mathbf{Ц}_д &= \beta \cdot \mathbf{Ц} \cdot V_{б.сум.} / \mathbf{1000}, \\ \mathbf{В}_д &= \beta \cdot \mathbf{В} \cdot V_{б.сум.} / \mathbf{1000}, \\ \mathbf{П}_д &= \beta \cdot \mathbf{П} \cdot V_{б.сум.} / \mathbf{1000}, \\ \mathbf{Щ(Г)}_д &= \beta \cdot \mathbf{Щ(Г)} \cdot V_{б.сум.} / \mathbf{1000} \end{aligned} \tag{5.12}$$

**Приклад 1.** Підібрати склад важкого бетону класу В20 ( $R_b=30$  МПа для бетонування монолітних балок та колон середнього перерізу (рухливість бетонної суміші ОК=2...4 см) і розрахувати витрату матеріалів на заміс в бетонозмішувачі з корисним об'ємом барабана 1200 л.

Характеристика вихідних матеріалів: портландцемент активністю  $R_c=46$  МПа, насипна густина сухих складових  $\rho_{нц}=1200$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{пнп}=1500$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{пшц}=1600$  кг/м<sup>3</sup>; їх дійсна густина  $\rho_c=3100$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_n=2600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{щ}=2700$  кг/м<sup>3</sup>; пустотність гранітного фракційованого щебеню  $V_{п.щ}=0,41$ ; найбільша крупність зерен щебеню 40 мм; вологість крупного кварцового піску  $W_n=4\%$ ; вологість щебеню  $W_{щ}=1\%$ .

Водоцементне відношення обчислюємо за формулою (5.3):

$$\mathbf{В/Ц} = \frac{\mathbf{А} \cdot \mathbf{R}_c}{\mathbf{R}_b + \mathbf{0,5} \cdot \mathbf{А} \cdot \mathbf{R}_c} = \frac{\mathbf{0,65} \cdot \mathbf{46}}{\mathbf{30} + \mathbf{0,5} \cdot \mathbf{0,65} \cdot \mathbf{46}} = \mathbf{0,67}$$

Значення коефіцієнта  $A=0,65$  вибране за таблицею 5.1. як для високоякісних матеріалів.

Витрату води на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші визначають за таблицею 5.3., враховуючи задану осадку конуса бетонної суміші ОК=2...4 см. Для отримання такої рухливості бетонної суміші з використанням в якості крупного заповнювача щебеню з найбільшою крупністю зерен 40 мм витрата води повинна складати 175 л/м<sup>3</sup>.

Витрату цементу за формулою (5.5):

$$\mathbf{Ц} = \frac{\mathbf{В}}{\mathbf{В/Ц}} = \frac{\mathbf{175}}{\mathbf{0,67}} = \mathbf{261} \text{ кг / м}^3$$

Витрата щебеню в сухому стані за формулою (5.8):

$$\begin{aligned} \text{ЩГ} &= \frac{1}{\alpha \cdot V_{\text{ЩГ}} / \rho_{\text{нщ(Г)}} + 1 / \rho_{\text{щ(Г)}}} = \\ &= \frac{1}{1,3 \cdot 0,41 / 1600 + 1 / 2700} = 1422 \text{ кг / м}^3 \end{aligned}$$

Значення коефіцієнта розсуву зерен  $\alpha=1,3$  вибране за таблицею 5.5.

Витрата піску в сухому стані за формулою (5.9):

$$\begin{aligned} \Pi &= 1 \left[ \frac{V}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{B}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\text{ЩГ}}{\rho_{\text{щ(Г)}}} \right] \cdot \rho_{\text{н}} = \\ &= 1 \left[ \frac{160}{3100} + \frac{175}{1000} + \frac{1422}{2700} \right] \cdot 2600 = 566 \text{ кг / м}^3 \end{aligned}$$

В результаті виконаних розрахунків отримали наступний номінальний (лабораторний) склад бетону, кг/м<sup>3</sup>:

Цемент .....	261
Вода .....	175
Пісок .....	556
Щебінь .....	1422
Всього: .....	2414

Отримана сума витрат компонентів є розрахунковою щільністю (густиною) бетонної суміші, тобто  $\rho_{\text{б.см.}} = 2414 \text{ кг/м}^3$ .

Коефіцієнт виходу бетону обчислюють за формулою (5.10):

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ(Г)}}} = \frac{1}{\frac{\Pi}{\rho_{\text{нц}}} + \frac{\Pi}{\rho_{\text{нп}}} + \frac{\text{ЩГ}}{\rho_{\text{нщ(Г)}}}} = \\ &= \frac{1}{\frac{261}{1200} + \frac{566}{1500} + \frac{1422}{1600}} = 0,67 \end{aligned}$$

Перейдемо до виробничого складу бетону з урахуванням фактичної вологості заповнювачів. Витрата цементу залишиться незмінною, а витрату інших компонентів відкоригуємо за формулами (5.11):

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{в}} &= \Pi \left[ 1 + \frac{W_{\text{п}}}{100} \right] = 566 \left[ 1 + \frac{4}{100} \right] = 578 \text{ кг / м}^3, \\ \text{Щ}_{\text{в}} &= \text{Щ} \left[ 1 + \frac{W_{\text{щ}}}{100} \right] = 1422 \left[ 1 + \frac{1}{100} \right] = 1436 \text{ кг / м}^3, \\ B_{\text{в}} &= B - \Pi \cdot \frac{W_{\text{п}}}{100} - \text{Щ} \cdot \frac{W_{\text{щ}}}{100} = \\ &= 175 - 566 \cdot \frac{4}{100} - 1422 \cdot \frac{1}{100} = 139 \text{ кг / м}^3 \end{aligned}$$

Остаточний виробничий склад бетону, кг/м<sup>3</sup>:

Цемент .....	261
Вода .....	139
Пісок .....	578
Щебінь .....	1436
Всього: .....	2414

Дозування компонентів на заміс бетонозмішувача виконаємо за формулами (5.12):

$$Ц_{д} = \beta \cdot Ц \cdot V_{б.сум.} / 1000 = 0,67 \cdot 261 \cdot 1200 / 1000 = 210 \text{ кг,}$$

$$В_{д} = \beta \cdot В \cdot V_{б.сум.} / 1000 = 0,67 \cdot 139 \cdot 1200 / 1000 = 112 \text{ кг,}$$

$$П_{д} = \beta \cdot П \cdot V_{б.сум.} / 1000 = 0,67 \cdot 578 \cdot 1200 / 1000 = 465 \text{ кг,}$$

$$Щ(Г)_{д} = \beta \cdot Щ(Г) \cdot V_{б.сум.} / 1000 = 0,67 \cdot 1436 \cdot 1200 / 1000 = 1155 \text{ кг}$$

**Завдання 1:** *запроектувати склад важкого бетону для виготовлення з/б конструкцій згідно вихідних даних, наведених в таблиці. Вихідні дані для заповнювачів взяти з прикладу.*

Вид конструкції	Клас бетону	Марка цементу	Об'єм бетонозмішувача
Блоки стін підвалів	B7,5	300	0,75
Подушки фундаментів	B12,5	400	0,5
Палі	B20	400	1,25
Балконні плити	B15	500	1,5
Панелі пустотні	B22,5	500	0,75
Плити плоскі	B15	400	1,5
Плити покриття ребристі	B25	500	0,5
Ферми кроквяні	B35	500	1,25
Балки решітчасті	B50	600	0,75
Колони	B30	500	1,25

Для виконання завдання визначають спочатку необхідну легкоукладальність бетонної суміші, наприклад, за таблицею [ ].

## В п р а в а 2 . Проекування складу гідротехнічного бетону

Склад гідротехнічного бетону можна проектувати розрахунково-експериментальним методом Дворкіна Л.Й. – Шушпанова В.А. Даний метод дозволяє визначати склад бетону потрібної міцності та мо-

розостійкості при заданій рухливості бетонної суміші та введенні пластифікуючих і повітряновтягувальних добавок.

1. Розрахунок потрібного вмісту повітря в бетоні заданої морозостійкості.

Із усіх видів пор в бетоні найбільший вплив на його морозостійкість мають:

- об'єм контракційних пор  $V_k$  (л/м<sup>3</sup>), які утворилися в результаті зменшення об'єму цементного каменю до 28 діб нормального твердіння бетону:

$$V_k = 120 \cdot \Pi / \rho_{\text{ц}}, \quad (5.13)$$

де  $\Pi$  – витрата цементу, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ц}} = 3100$  кг/м<sup>3</sup> – дійсна густина цементу;

- об'єм капілярних пор  $V_l$  (л/м<sup>3</sup>), який характеризується об'ємом льоду в бетоні при стандартному методі визначення морозостійкості:

$$V_l = B - 0,27 \cdot \Pi, \quad (5.14)$$

де  $B$  – витрата води кг/м<sup>3</sup>;

- об'єм повітря, емульгованого добавками ПАР  $V_e$  (л/м<sup>3</sup>).  
Об'єм емульгованого повітря знаходять як різницю між загальним вмістом повітря ( $V_o$ , л/м<sup>3</sup>) та кількістю зацемленого повітря ( $V_z$ ) в нормально ущільненій бетонній суміші:

$$V_e = V_o - V_z. \quad (5.15)$$

Об'єм зацемленого повітря залежить від осадки конуса (ОК, см) або жорсткості (Ж, с) бетонної суміші і найбільшої крупності заповнювача ( $D_{\text{найб.}}$ ) при даному способі ущільнення і визначається за графіком (рис. 5.1.).

Структурний критерій морозостійкості:

$$F_k = \alpha_k + V_e \cdot \bar{V}_l. \quad (5.16)$$

Прогнозування морозостійкості бетону ( $F$ , циклів) виконують за емпіричною залежністю:

$$F = K \cdot \alpha^{F_R} - 1, \quad (5.17)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від виду цементу і заповнювачів, і визначається за таблицею 5.6.

## 5.6. Значення коефіцієнта К в залежності (5.17)

Вид заповнювача	Коефіцієнт К		
	Вміст С <sub>3</sub> А у цементі, %		
	С <sub>3</sub> А ≤ 6%	С <sub>3</sub> А = 6...9%	С <sub>3</sub> А ≥ 9%
Пісок кварцовий	425	365	304
Щебінь гранітний	198	170	142
Щебінь доломітовий	100	85	70
Гравій річковий	140	120	100

Необхідну кількість емульгованого повітря  $V_e$  (л/м<sup>3</sup>) в бетоні заданої морозостійкості можна визначити шляхом перетворення виразів (5.16) і (5.17), з урахуванням формул для  $V_k$  і  $V_p$ , рахуючи  $\rho_c = 3100$  кг/м<sup>3</sup>:

$$V_e = \frac{C}{\rho_c} \cdot \left[ \frac{F_k}{C} - 0,27 \right] - 0,04, \quad (5.18)$$

$$\text{де } F_k = \lg \frac{W}{K + 1}.$$

Кількість повітряновтягувальної добавки типу СНП чи СДО, потрібна для забезпечення необхідного вмісту емульгованого повітря, знаходиться за номограмою (рис. 5.2.).

Для лабораторного контролю загальний вміст повітря (л/м<sup>3</sup>) у бетонній суміші можна визначити за формулою:

$$V_0 = V_e + V_3, \quad (5.19)$$

де  $V_e$  визначається за формулою (5.18), а  $V_3$  за рис. 5.1.

### 2. Визначення основних компонентів бетонної суміші

При розрахунках за даним методом використовують формулу, яка враховує вплив емульгованого повітря:

$$R_0 = A \cdot R_u \cdot \frac{W}{W + V_e} - 0,5 \leq 2 \cdot A \cdot R_u. \quad (5.20)$$

З рівняння міцності бетону (5.20) знаходимо водоповітряноцементне відношення  $q$ :

$$q = \frac{W}{C} - \frac{V_e}{C} = \frac{A \cdot R_u}{R_0} + 0,5 \cdot \frac{A \cdot R_u}{R_0}. \quad (5.21)$$

Для бетонів різного марочного віку значення коефіцієнта А приймаємо рівним  $A = K_\tau \cdot A_{28}$ , де  $A_{28}$  – значення коефіцієнта А у віці 28 діб, яке визначається за таблицею 5.7.,  $K_\tau$  – коефіцієнт росту міцності бетону в часі, який визначається за таблицею 5.8.

Повітряноцементне відношення  $V_e/C$  знаходять перетворенням виразу (5.18):

$$V_e / C = \frac{W}{C} - 0,27 \left[ \frac{F_k}{C} - 0,04 \right]. \quad (5.22)$$

Якщо  $V_e/C \leq 0$ , то немає необхідності в повітряновтягувальній добавці.

### 5.7. Значення коефіцієнта $A_{28}$ за даними І.М.Грушко

Дрібний заповнювач		Крупний заповнювач			
		Гранітний фракційований або доломітовий щебінь	Фракційований гравій або рядовий щебінь	Рядовий гравій	Щебінь низької якості, забруднений
Піски з водопотребою 6...9%	Кварцовий пісок обкатаної форми зерен	$\frac{0,60}{0,63}$	$\frac{0,55}{0,56}$	$\frac{0,52}{0,55}$	$\frac{0,50}{—}$
	Рядовий пісок з вмістом пілуватих та глинистих частинок до 3%	$\frac{0,63}{0,66}$	$\frac{0,58}{0,61}$	$\frac{0,35}{0,38}$	$\frac{0,52}{—}$
	Чистий пісок з вмістом пілуватих та глинистих частинок до 1%	$\frac{0,66}{0,63}$	$\frac{0,58}{0,64}$	$\frac{0,58}{0,61}$	$\frac{0,55}{—}$
	Штучний пісок з рваною формою зерен	$\frac{0,56}{0,59}$	$\frac{0,52}{0,53}$	$\frac{0,50}{0,52}$	$\frac{0,74}{—}$
Піски з водопотребою 9...12%	Кварцовий пісок обкатаної форми зерен	$\frac{0,56}{0,59}$	$\frac{0,52}{0,55}$	$\frac{0,50}{0,52}$	$\frac{0,47}{—}$
	Рядовий пісок з вмістом пілуватих та глинистих частинок до 3%	$\frac{0,60}{0,63}$	$\frac{0,55}{0,58}$	$\frac{0,52}{0,55}$	$\frac{0,30}{—}$
	Чистий пісок з вмістом пілуватих та глинистих частинок до 1%	$\frac{0,63}{0,66}$	$\frac{0,58}{0,61}$	$\frac{0,55}{0,58}$	$\frac{0,52}{—}$
	Штучний пісок з рваною формою зерен	$\frac{0,66}{0,69}$	$\frac{0,61}{0,64}$	$\frac{0,58}{0,61}$	$\frac{0,55}{—}$

Примітки: 1. В чисельнику наведені значення коефіцієнта  $A_{28}$  для рухливих бетонних сумішей, а в знаменнику – для помірно жорстких сумішей.

2. Для 90 і 180-добового марочного віку бетону значення коефіцієнта  $A_{28}$  необхідно помножити на відповідний коефіцієнт росту міцності за таблицею 5.8.

3. Водопотреба піску визначається за таблицею 5.10.

Водоцементне відношення визначають за формулою:

$$V/C = q - V_e / C. \quad (5.23)$$

Водопотребу бетонної суміші при відсутності емульгованого повітря  $V_0$  приблизно визначають за таблицями 5.3. і 5.4. З розрахунку зниження водопотреби бетонної суміші приблизно на  $5 \text{ л/м}^3$  на кож-



ний відсоток емульгованого повітря, уточнюють витрату води на 1 м<sup>3</sup> бетону:

$$V = V_0 - 0,5 \cdot V_e = V_0 \cdot \left[ 1 - 0,5 \cdot \frac{V_e}{V} \right] \frac{V}{V} \quad (5.24)$$

Витрата цементу (кг/м<sup>3</sup>):

$$C = V / \frac{V_e}{V} \quad (5.25)$$

Кількість защемленого повітря визначають за рис. 5.1.

$$\text{Об'єм емульгованого повітря: } V_e = C \cdot \frac{V_e}{V}$$

Загальний вміст повітря розраховують за формулою (5.19).

Витрату повітряновтягувальної добавки визначають за номограмою на рис. 5.2.

Витрату крупного заповнювача визначають за формулою:

$$C(\Gamma) = 1000 / \left[ \alpha \cdot V_{\text{мн}(\Gamma)} / \rho_{\text{н.мн}(\Gamma)} + 1 / \rho_{\text{м}} \right] \quad (5.26)$$

В даному випадку коефіцієнт розсуву зерен крупного заповнювача бетонної суміші визначається в залежності від водоцементного відношення В/Ц і витрати цементного тіста ( $C\Gamma = V + C / \rho_{\text{ц}}$ , л/м<sup>3</sup>) за таблицею 5.9.

### 5.8. Коефіцієнти росту міцності бетону на різних цементах (за даними ВНДІ ім. Б.Є.Веденєва)

Вид цементу	Коефіцієнт міцності бетону К у віці, діб			
	7	28	90	180
Алітові портландцементи	0,67...0,73	1,00	1,10...1,25	1,30...1,40
Звичайні портландцементи	0,60...0,70	1,00	1,15...1,35	1,30...1,50
Шлакопортландцемент з добавкою основних шлаків	0,40...0,50	1,00	1,35...1,65	1,55...1,90
Пуцолановий портландцемент з добавкою туфу	0,30...0,60	1,00	1,45...1,75	1,55...1,90
Пуцолановий портландцемент з добавкою опоки	0,50...0,60	1,00	1,25...1,55	1,40...1,65
Алюмінатні портландцементи	—	1,00	1,10...1,14	1,18...1,30

### 5.9. Оптимальне значення коефіцієнту $\alpha$

Витрата цементного тіста ЦТ, л/м <sup>3</sup>	Водоцементне відношення, В/Ц							
	0,35	0,40	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
200	1,08	1,07	1,07	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21
250	1,18	1,18	1,19	1,26	1,29	1,33	1,35	1,38
300	1,29	1,30	1,31	1,41	1,46	1,50	1,54	1,54
350	1,41	1,43	1,48	1,58	1,65	—	—	—
400	1,54	1,57	1,61	—	—	—	—	—

- Примітки: 1. В таблиці 5.9. наведені значення  $\alpha$  при використанні заповнювачів з порожнистістю в пухконасипному стані  $V_{п} = V_{щ} = 40\%$ , питомою поверхнею  $U_{п} = 175 \text{ см}^2/\text{см}^3$  і вмістом емульгованого повітря  $V_e=0$ .
2. Із зростанням  $V_e$  на 1%  $\alpha$  зростає на 0,025.
3. Із зростанням порожнистості піску  $V_{п}$  на 1%  $\alpha$  зменшується на 0,014.
4. Із зростанням порожнистості крупного заповнювача  $V_{щ}$  на 1%  $\alpha$  зменшується на 0,01.
5. Із зростанням питомої поверхні піску  $U_{п}$  на  $10 \text{ см}^2/\text{см}^3$   $\alpha$  зменшується на 0,004.
6. Питома поверхня піску визначається за таблицею. 5.7.

### 5.10. Водопотреба і питома поверхня окремих фракцій кварцового піску

Показник	Розмір фракцій піску, мм					
	<0,14	0,14... ...0,315	0,315... ...0,63	0,63... ...1,25	1,25... ...2,5	2,5... ...5,0
Водопотреба за методом Баженова, $V_{п}$ , %	25,85	12,42	6,58	3,17	1,94	1,76
Питома поверхня піску за усередненими даними А.Я.Яшвілі, $\text{см}^2/\text{см}^3$	691,65	341,85	174,9	87,45	49,02	19,61

Витрата дрібного заповнювача  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$П = 1000 - \frac{V_o}{\rho_o} + \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} - \rho_{п} \quad (5.27)$$

3. Експериментальне уточнення розрахункового складу бетону з повітряновтягувальними добавками

На пробному замісі при розрахунковому складі бетону і постійному водоцементному відношенні шляхом регулювання водовмісту бетонної суміші добиваються необхідної легковкладальності. При цьому слід враховувати необхідне зменшення осадки конуса бетонної суміші з повітряновтягувальними добавками для заданої легковкладальності (таблиця 5.11.).

### 5.11. Осадка конуса бетонних сумішей однакової легковкладальності

Вид бетонної суміші	Осадка конуса ОК, см
Бетонна суміш без повітряновтягувальних добавок	2...4 4...8 8...12
Бетонна суміш з повітряновтягувальними добавками на звичайних пісках середньої крупності	1...3 3...6 6...10
Бетонна суміш з повітряновтягувальними добавками на дрібнозернистих пісках	1...2 2...5 5...8

При відкоригованій потребі повітря бетонної суміші виконують перерахунок складу і, регулюючи витрату повітряновтягувальної добавки, домагаються потрібного вмісту повітря при випробуванні на компресійному вимірювачі повітря. Прискорено відкоригувати вміст повітря можна порівнянням фактичної і розрахункової середньої густини. Розрахункова середня густина бетонної суміші (кг/м<sup>3</sup>):

$$\rho_{\text{бет. сум}} = \frac{M + V + \Pi + \text{Щ}}{1000}. \quad (5.28)$$

Цементно-водне відношення уточнюють шляхом виготовлення трьох серій зразків-кубів з відкоригованою витратою води і кількістю повітряновтягувальної добавки при різних витратах цементу в наступній серії: Ц<sub>1</sub> = Ц; Ц<sub>2</sub> = 0,9Ц; Ц<sub>3</sub> = 1,1Ц, де Ц = V/(V/Ц) – розрахункова витрата цементу при відкоригованій водопотребі бетонної суміші.

Після визначення міцності зразків в потрібному віці будують залежність R<sub>6</sub> = f(Ц/V), по якій коригують цементно-водне відношення, і отже, витрату цементу. Остаточні значення V/Ц і Ц повинні задовольняти проектним вимогам міцності і морозостійкості.

**Приклад 2.** Розрахувати гідротехнічний бетон з проектною міцністю R<sub>6</sub> = 20 МПа у віці 180 діб марки F200 при ОК = 3 см. Вихідні матеріали: портландцемент М400 (С<sub>3</sub>А=6%); дрібний заповнювач – кварцовий пісок з водопотребою V<sub>п</sub>=9,5%, дійсною густиною ρ<sub>п</sub>=2,56 г/см<sup>3</sup>, насипною густиною ρ<sub>н.п.</sub>=1,42 т/м<sup>3</sup> і питомою поверхнею U<sub>п</sub>=218см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>; крупний заповнювач – щебінь рядовий фракції 5-40 мм, дійсна густина ρ<sub>щ</sub>=2,61 г/см<sup>3</sup>, насипна густина ρ<sub>н.щ.</sub>=1,45 т/м<sup>3</sup>, повітряновтягувальна добавка – СНП.

Визначаємо коефіцієнт А відносно до 180-добового віку (таблицями 5.7., 5.8.):

$$A = K_{\tau} \cdot A_{28} = 1,4 \cdot 0,55 = 0,77$$

Водоповітряноцементне відношення знаходимо за формулою:

$$q = A \cdot R_{\text{н}} / (R_6 + 0,5 \cdot A \cdot R_{\text{н}}) = 0,77 \cdot 40 / (20 + 0,5 \cdot 0,77 \cdot 40) = 0,87$$

Визначаємо повітряно цементне відношення. За таблицею 5.6. коефіцієнт K=170, а величину F<sub>k</sub> знаходимо за формулою:

$$F_k = \lg M/R + 1 = \lg 200/170 + 1 = 0,336,$$

тоді

$$V_e / \text{Ц} = F_k \cdot q - 0,27 = 0,336 \cdot 0,87 - 0,27 = 0,04$$

Водоцементне відношення:

$$V / \text{Ц} = q - V_e / \text{Ц} = 0,87 - 0,04 = 0,71$$

Для розрахунку водопотреби бетонної суміші (В) за таблицею 5.3. знаходимо водопотребу ( $B_0$ ) для бетонної суміші без повітрянов'язувальних добавок  $B_0 = 165 + 10 = 175 \text{ кг/м}^3$ , потім визначаємо потрібну кількість води (формула 5.24):

$$B = B_0 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot V_e / \rho_c} \cdot \sqrt[3]{B / \rho_c} \\ = 175 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot 0,16 / 0,71} = 156 \text{ кг/м}^3$$

Витрата цементу:

$$C = B / \rho_c = 156 / 0,71 = 220 \text{ кг/м}^3$$

Визначаємо кількості емульгованого повітря:

$$V_e = V_c / C \cdot C = 0,16 \cdot 220 = 35,2 \text{ л/м}^3 = 3,5\%$$

Загальна кількість повітря в суміші:

$$V_0 = V_e + V_z = 3,5 + 0,8 = 4,3\% = 43 \text{ л/м}^3,$$

де кількість защемленого повітря  $V_z = 0,8\%$  визначається за рис. 5.1.

Для визначення витрати щебеню визначаємо його порожнистість:

$$V_{\text{пор.щ}} = \rho_{\text{щ}} - \rho_{\text{н.щ}} \cdot \rho_{\text{щ}} = 2,61 - 1,45 \cdot 2,61 = 0,44,$$

і порожнистість піску:

$$V_{\text{пор.п}} = \rho_{\text{п}} - \rho_{\text{н.п}} \cdot \rho_{\text{п}} = 2,56 - 1,42 \cdot 2,56 = 0,45$$

Витрата цементного тіста:

$$CT = B_0 + C / \rho_c = 175 + 220 / 0,71 = 227 \text{ л/м}^3$$

Потім за таблицею 5.9. при  $B/C = 0,71$  з урахуванням поправок і інтерполяцій визначаємо:

$$\alpha = 1,24 + 0,025 \cdot 3,5 - 0,014 \cdot 0,45 - 0,40 - 0,01 \cdot 0,44 - 0,40 = 1,33$$

Витрату щебеню визначаємо за формулою:

$$Щ = 1000 / \alpha \cdot V_{\text{н.щ}} / \rho_{\text{н.щ}} + 1 / \rho_{\text{щ}} \\ = 1000 / 1,33 \cdot 0,44 / 1,45 + 1 / 2,61 = 1271 \text{ кг/м}^3$$

Витрату піску визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Pi &= 1000 - \rho_o + \text{Ц}/\rho_{\text{ц}} + \text{В}/\rho_{\text{в}} + \text{Ш}/\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{п}} = \\ &= 1000 - 43 + 220/3,1 + 156/1,0 + 71/2,61 - 2,56 = 622 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Витрату повітряновтягувальної добавки СНП 0,06 кг/м<sup>3</sup> знаходимо за номограмою на рис. 5.2.

**Завдання 2:** *запроектувати склад гідротехнічного бетону з добавкою СНП для з/б конструкцій водогосподарського призначення згідно вихідних даних, наведених в таблиці. Характеристики заповнювачів взяти з прикладу 2.*

Конструкція	Клас бетону за міцністю	Марка бетону		Марка цементу
		за водонепроникністю	за морозостійкістю	
Труби напірні	B35	W8	F300	600
Труби безнапірні	B25	W4	F200	500
Кільця колодязів	B12,5	W2	F200	400
Елементи резервуарів	B15	W2	F200	400
Плити для лицювання каналів	B12,5	W4	F200	500
Плити дорожні	B25	W2	F400	500
Бруківка	B30	W2	F400	600
Бордюрний камінь	B30	W2	F200	500

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### Властивості бетонної суміші. Міцність бетону

#### Дослід 1. Приготування бетонної суміші та визначення її рухливості

*Засоби випробування:* конус, металева лінійка, кельма, штиковка, завантажувальна воронка, гладкий металевий лист розміром не менше 700х700 мм.

Для дослідного замісу зважують матеріали з розрахунку отримання 7 л бетонної суміші. Зважену кількість піску розмішують, додають необхідну кількість цементу та перемішують до отримання однорідної суміші. Потім додають крупний заповнювач і всю суху суміш старанно перемішують, після чого вливають воду за два рази при енергійному перелопачуванні бетонної суміші до досягнення однорідності. Тривалість перемішування від моменту затворення водою повинна складати 4...5 хв. Бетонну суміш можна також виготовити в лабораторному бетонозмішувачі.

Рухливість бетонної суміші характеризується величиною осадки конуса (в см), сформованого з бетонної суміші. Рухливість визначають з допомогою стандартного конуса висотою 300 мм з внутрішнім діаметром нижньої основи 200 мм і верхньої 100 мм, встановленого на рівній поверхні. Внутрішню поверхню конуса до випробування змочують водою. Укладання бетонної суміші виконують за три прийоми шарами однакової висоти, ущільнюючи суміш кожний раз штикуванням 25 разів штиковкою діаметром 16 мм і довжиною 600 мм. Під час штикування форму притискають до поверхні. Після заповнення конус обережно піднімають на протязі 3...5 с. строго вертикально і встановлюють поряд з відформованою сумішшю. Осадку конуса бетонної суміші визначають, поклавши металеву лінійку ребром поверх форми і вимірюючи з точністю до 0,5 см відстань від нижньої грані лінійки до верху бетонної суміші.

Якщо рухливість бетонної суміші буде меншою за необхідну, то заміс коригують, додаючи по 5...10% води і цементу. Коли рухливість більша заданої, то добавляють по 5...10% піску та щебеню (гравію). Після чого суміш знову перемішують на протязі 5 хв., і заново визначають її рухливість. Склад бетону коригують до отримання заданої рухливості.

**Завдання 3:** визначити рухливість бетонної суміші складу, обчисленого в завданні 1.

Завдання виконують за наведеною вище методикою. Витрату компонентів розраховують на заміс 7 л. Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ спроби	Витрата компонентів					Ц/В	ОК, см
	цемент	вода	пісок	щебінь	добавка		
1							
2							
3							

**Завдання 4:** визначити і порівняти рухливість бетонної суміші з цементно-водним відношенням 1,5; 2,0; 2,5. Витрату води і долю піску прийняти постійними.

Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ спроби	Витрата компонентів					Ц/В	ОК, см
	цемент	вода	пісок	щебінь	добавка		
1							
2							
3							

**Завдання 5:** визначити і порівняти рухливість бетонної суміші складу, аналогічного завданню 3 з добавкою ЛСТ (0,2% від маси цементу) та С-3 (0,7%).

Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ спроби	Витрата компонентів					Ц/В	ОК, см
	цемент	вода	пісок	щебінь	добавка		
1							
2							
3							

## Д о с л і д 2 . Визначення жорсткості бетонної суміші

**Засоби випробування:** прилад для визначення жорсткості, лабораторний вібромайданчик, конус, металева лінійка, кельма, штиковка, завантажувальна воронка, гладкий металевий лист розміром не менше 700х700 мм.

Жорсткість бетонної суміші характеризується часом вібрування в секундах, необхідним для вирівнювання та ущільнення попереднього сформованого конуса бетонної суміші в приладі для визначення рухливості. Визначення жорсткості бетонної суміші можна виконати також спрощеним методом за Б.Г.Скрамтаєвим.

На вібромайданчику встановлюють і закріплюють форму розміром 200х200х200 мм. У форму вставляють конус і заповнюють його бетонною сумішшю, як вказано у досліді 2. Потім конус знімають і вмикають вібромайданчик, одночасно вмикаючи секундомір. Вібрування проводять до тих пір, доки бетонна суміш не заповнить всі кути форми, а поверхня її не стане горизонтальною. Час (в секундах), необхідний для вирівнювання поверхні бетонної суміші в формі, помножений на 1,5 характеризує жорсткість бетонної суміші. Показник жорсткості обчислюють з точністю до 5 сек. Коригування жорсткості проводять аналогічно коригуванню рухливості.

**Завдання 6:** визначити жорсткість бетонної суміші складу, обчисленого в завданні 2, а також з добавкою СДО (0,02%).

Дослід виконують за наведеною вище методикою. Результати визначення заносять до журналу за наступною формою:

№ спроби	Витрата компонентів					Ц/В	Ж, сек.
	цемент	вода	пісок	щебінь	добавка		
1							
2							
3							

### Д о с л і д 3. Визначення густини бетонної суміші

*Засоби випробування:* мірний циліндр, терези.

Густину бетонної суміші визначають в циліндричному мірному посуді об'ємом 5 або 15 л (в залежності від максимальної крупності заповнювача відповідно 40 та 70 мм).

При ущільненні ручним способом, штикуванням, мірний посуд заповнюють бетонною сумішшю приблизно рівними порціями в три шари. Кожний шар штикують рівномірно по всій площі сталевим стержнем, причому кількість штикування на один шар для посуду 5 та 15 л відповідно дорівнює 16 та 35. Нижній шар бетонної суміші штикують на всю товщину шару, при штикуванні наступних шарів стержень повинен проникнути у лежачий нижче шар на глибину не більше 2...3 см. При ущільненні механічним способом – вібруванням – посуд заповнюють бетонною сумішшю, встановлюють та закріплюють на лабораторному вібромайданчику, після чого вібрують до моменту появи на поверхні бетонної суміші цементного молока. Протягом вібрування в циліндр невеликими порціями додають бетонну суміш. По закінченні ущільнення вібромайданчик вимикають, надлишок бетонної суміші зрізають сталевим лінійкою і поверхню вирівнюють врівень з краями мірного посуду.

Посуд з бетонною сумішшю зважують з точністю до 1 г і густину  $\rho_{\text{б.см.}}$  (кг/м<sup>3</sup>) обчислюють за формулою:

$$\rho_{\text{б.см.}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (5.29)$$

де  $m$  – маса мірного посуду з бетонною сумішшю, г;  $m_1$  – маса мірного посуду без суміші, г;  $V$  – об'єм мірного посуду, дм<sup>3</sup>.

Густину бетонної суміші визначають двічі для кожної проби бетонної суміші і обчислюють з округленням до 10 кг/м<sup>3</sup> як середнє арифметичне значення результатів двох визначень густини суміші з однієї проби, які відрізняються між собою не більше, ніж на 5% меншого значення. При більшому розходженні результатів визначення повторюють на новій пробі бетонної суміші.

**Завдання 7:** визначити середню густину рухливої та жорсткої бетонних сумішей, а також бетонні суміші з добавкою СДО.

Завдання виконують паралельно із виконанням завдань 3 і 6.

Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ проби	Витрата компонентів					Ц/В	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>
	цемент	вода	пісок	щебінь	добавка		
1							
2							
3							



#### Д о с л і д 4 . В и г о т о в л е н н я з р а з к і в - к у б і в

*Засоби випробування:* форми-куби, лабораторний вібромайданчик.

З відкоригованого замісу бетонної суміші виготовляють серію зразків, яка складається з трьох кубів. Розміри зразків залежать від найбільшої крупності заповнювача (таблиця 5.12.).

#### 5.12. Залежність розміру бетонних кубів від крупності щебеню

Д <sub>найб.</sub> , мм	20	40	70
Найменший розмір ребра зразка, мм	100	150	200

Форми для зразків перед укладкою суміші повинні бути вичищені, міцно скріплені гвинтами, а їх внутрішні поверхні змащені. Форму, заповнену бетонною сумішшю з деяким надлишком встановлюють на вібромайданчик, закріплюють затискачами і вібрують до закінчення осідання суміші, вирівнювання поверхні і появи на ній цементного молока. Час вібрування повинен бути не менший за показник жорсткості, збільшений на 30 сек. Зразки після ущільнення зберігають першу добу у формах під вологою тканиною, а решту 27 діб після розпалубки – в спеціальній камері, де створюють вологість  $W > 90\%$  і температуру  $20 \pm 2$  °С. При відсутності такої камери зразки після розпалубки 27 діб можна зберігати у вологій тирсі або у вологому піску.

**Завдання 8:** заформувати зразки-куби для визначення марки бетону. Водоцементне відношення прийняти рівним 1,5; 2,0; 2,5. Склад бетонної суміші такий ж, як у завданні 4.

#### Д о с л і д 5 . В и з н а ч е н н я м е ж і м і ц н о с т і б е т о н у н а с т и с к

*Засоби випробування:* гідравлічний прес, щупи, перевірочні лінійки, прилад для визначення неплоскостності опорних поверхонь зразків.

Зразки, які зберігались у стандартних умовах визначений час, підлягають випробуванню. Випробуванню не підлягають зразки, які мають на гранях раковини та каверни.

Зразки повинні вийматись з камери нормального твердіння не раніше, ніж за 1 год до моменту їх випробування. Перед випробуванням зразки-куби оглядають, вимірюють та зважують. До виконання обміру визначають робоче положення зразка, вибираючи опорні грані так, щоб стискаюча сила при випробуванні була напрямлена паралельно шарам укладки суміші в форму. Напливи бетону на ребрах опорних граней зчищають напилком.

Для кожного зразка визначають:

1. Робочу площу перерізу зразка (F) см<sup>2</sup> як середнє арифметичне площ обох опорних граней зразка з округленням до 0,1 см<sup>2</sup>.
2. Висоту зразка в см, як середнє арифметичне з двох вимірювань по протилежних гранях у робочому положенні зразка з округленням до 1 мм.

3. Об'єм зразка в  $\text{см}^3$ , обчислений як добуток робочої площі перерізу на висоту зразка з округленням до  $1 \text{ см}^3$ .
4. Маса зразка в грамах з точністю до 10 г.
5. Середню густину зразка з округленням до  $0,01 \text{ г/см}^3$ .

Зразки встановлюють на нижню опорну плиту, centruючи по осі преса і прикладають навантаження, швидкість росту якого  $0,6 \pm 0,2$  МПа. Зразки доводять до повного руйнування. Межу міцності бетону на стиск ( $R_{ct}$  в МПа) кожного зразка обчислюють як кратне від ділення величини руйнівного навантаження ( $P_{max}$ ) на робочу площу перерізу зразка. Отриманий результат приводять до міцності зразка стандартного розміру  $200 \times 200 \times 200$  мм для гідротехнічного бетону і  $150 \times 150 \times 150$  мм для звичайного важкого бетону, множачи на відповідний коефіцієнт. Для зразків розміром  $100 \times 100 \times 100$  мм перевідний коефіцієнт  $K=0,85$  для гідротехнічного бетону і  $K=0,95$  для важкого бетону.

Знаючи вік випробуваних зразків і їх межу міцності на стиск, можна орієнтовно знайти марку бетону за формулою:

$$R_{28} = R_n \cdot \lg 28 / \lg n, \quad (5.30)$$

де  $R_{28}$  – марочна міцність;  $R_n$  – міцність зразків на стиск у віці  $n$  діб ( $n \geq 3$ ).

**Завдання 9:** визначити і порівняти міцність бетону на стиск 3-х серій зразків з різним цементно-водним відношенням.

Результати заносять до журналу за наведеною нижче формою і будують графік залежності  $R=f(C/V)$ :

№ серії, зразка	Тривалість твердіння, діб	C/V	Площа, $\text{см}^2$	Руйнуюче навантаження, кН	Міцність на стиск, $R_i$ , МПа	Середня міцність $R_{сер}$ , МПа	Міцність в віці 28 діб, $R_{28}$ , МПа
I – 1							
I – 2							
I – 3							
II – 1							
II – 2							
II – 3							
...							

Висновок: \_\_\_\_\_



**Завдання 10:** визначити міцність бетону на стиск одного складу, але з різною тривалістю твердіння.

Результати заносять до журналу за наведеною нижче формою і будують графік залежності  $R=f(\tau)$ :

№ спроби	Тривалість твердіння, діб	Площа зразка, $A, \text{см}^2$	Руйнівне навантаження, кН	Міцність на стиск, МПа
1				
...				
n				

Висновок: \_\_\_\_\_



### Д о с л і д 6. Визначити міцність бетону еталонним молотком К.П.Кашкарова.

*Засоби випробування:* еталонний молоток К.П.Кашкарова (рис. 5.3.), еталонні стержні довжиною 100-150 мм з круглої пруткової сталі ВСт3сп2 чи ВСт3пс2 діаметром 12 мм з тимчасовим опором розриву 420-460 МПа, вимірювальний інструмент (кутовий масштаб, вимірювальна лупа, штангенциркуль).

Суть методу полягає в визначенні співвідношення діаметрів відбитків, одночасно отриманих в процесі випробування на бетоні та сталевому еталонному стержні. Метод використовується для визначення міцності бетону в діапазоні 0,5-50 МПа.

Дослідження бетону проводять на ділянці конструкції, межі

якої повинні знаходитись на відстані не менше 50 мм від краю конструкції. Вологість бетону на випробувальній ділянці не повинна відрі-

знятись від вологості бетону зразків, які випробували при побудові поділкової залежності, більше ніж на 30%.

Удар по бетону при випробуванні наносять перпендикулярно до поверхні, що випробовується. При цьому удар можна наносити самим еталонним молотком або звичайним молотком по головці еталонного молотка. Удар слід наносити зусиллям, яке забезпечує отримання відбитку на бетоні розміром 0,3-0,7 діаметру кульки, який рівний 15,88 мм, і найбільшого розміру відбитку на еталоні не менше 2,5 мм. Відстань між відбитками повинна бути не менше 30 мм на бетоні і 10 мм на еталонному стержні. Розміри відбитків вимірюють з похибкою не більше 0,1 мм. На ділянці конструкції чи зразку проводять не менше 5 випробувань.

Для полегшення вимірювань відбитків удар по бетону рекомендується наносити через лист копіювального та білого паперу.

Величину непрямой характеристики міцності бетону для ділянки конструкції обчислюють за формулою:

$$H = \frac{\sum d_6}{\sum d_e}, \quad (5.31)$$

де  $\sum d_6$  – сума діаметрів відбитків на бетоні, мм;  $\sum d_e$  – сума діаметрів відбитків на еталоні, мм.

Міцність бетону на стиск на ділянці конструкції визначається по величині непрямой характеристики  $H$ , використовуючи поділкову залежність “відношення величини відбитків на бетоні та еталоні – міцність”.

**Завдання 11:** визначити міцність бетонних зразків-кубів з різним цементно-водним відношенням за допомогою еталонного молотка К.П.Кашкарова, а потім – руйнівним методом. Порівняти

Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ зразка	Ц/В	Діаметр відбитка, мм, на		Міцність неруйнівним методом, МПа	Площа, А, см <sup>2</sup>	Руйнівне навантаження, кН	Міцність руйнівним методом, МПа
		бетоні	еталоні				
1							
...							
n							

### Контрольні запитання

1. Дати визначення бетону і бетонної суміші.

2. Навести класифікацію важких та гідротехнічних бетонів.
3. Перерахувати вихідні дані для проектування складу бетону.
4. Привести рекомендовані марки цементів для бетонів різної міцності.
5. Навести формулу Болломея-Скрамтаєва та значення коефіцієнтів  $A$  і  $A_1$ .
6. Назвати необхідні умови для визначення витрати заповнювачів.
7. Вказати головні відмінності номінального складу бетону від виробничого.
8. Викласти методику визначення та коригування легкоукладальності бетонної суміші.
9. Навести формули для розрахунку виробничого складу бетонної суміші.
10. Навести формули коефіцієнта виходу бетону, витрати матеріалів на заміс.
11. Викласти методику випробування зразків бетону на стиск.
12. Навести залежність міцності бетону від часу.
13. Вказати марки звичайного та гідротехнічного бетону за морозостійкістю, водонепроникністю, міцністю на стиск та розтяг.
14. Перерахувати основні фактори та вказати характер їх впливу на легкоукладальність бетонної суміші та міцність бетону.

## 6. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

#### Властивості будівельних розчинів

##### Д о с л і д 1 . Визначення рухливості розчинної суміші

*Засоби випробування:* прилад для визначення рухливості (рис. 6.1.), частина якого занурюється в розчин і закінчується еталонним конусом із масою  $300 \pm 2$  г, ємності для зберігання проби (не допускаються виробы з алюмінію або оцинкованої сталі).

Рухливість свіжопідготовленого розчину характеризує його здатністю розтікатися під дією власної ваги. Вона визначається глибиною занурення еталонного конуса в розчин. Об'єм проби повинний бути не меншим 3 л.

Залежно від рухливості розчинні суміші поділяються на марки згідно таблиці 6.1.

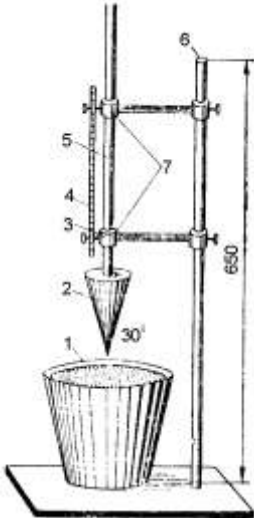
#### 6.1. Марки розчинної суміші за рухливістю

Марка ро-	Рухливість, см	Призначення розчинної суміші
-----------	----------------	------------------------------

зчинної суміші за рухливістю		
П4	Від 1 до 4 включно	Бутова кладка, ущільнена вібруванням
П8	Вище 4 до 8 включно	Бутова кладка звичайна з порожнистої цегли і каменів, монтаж стін з крупних блоків і панелей, розшивання горизонтальних і вертикальних швів в стінах з панелей і блоків, облицювальні роботи
П12	Вище 8 до 12 включно	Кладка із звичайної цегли і різного виду каменів, штукатурні і облицювальні роботи
П14	Вище 12 до 14 включно	Заповнення порожнин в бутовій кладці

Для дослідження свіжопідготовлений розчин перемішують, наповняють ємність, приблизно на 1 см нижче її країв, ущільнюють 25 разів шляхом штикування сталевим стержнем діаметром 10-12 мм і струшують ємність 5-6 разів легким постукуванням об стіл.

Прилад для визначення рухливості встановлюють на горизонтальній поверхні (столі) і перевіряють свободу ковзання стержня конусу в тримачі. Вістря конусу приводять у положення зіткнення з поверхнею розчину в ємності, закріплюють стержень конусу пусковим гвинтом і записують перший відлік по шкалі. Потім відпускають пусковий гвинт, надаючи конусу можливість вільно занурюватися в розчин, і по закінченні занурення конуса записують другий відлік по шкалі. Гли-



**Рис. 6.1.** Прилад для визначення рухливості розчинної суміші (конус СтройЦНИЛа): 1 – посудина для розчинної суміші – затискний гвинт; 4 – шкала; 5 – стержень; 6 – стійка; 7 – тримачі.

бина занурення конуса в розчин, см, визначається як різниця між другим і першим відліком.

Рухливість обчислюють як середнє арифметичне двох дослідів.

**Завдання 1:** виготовити розчини, придатні за рухливістю для цегельної кладки, заповнення швів між панелями й іншими збірними елементами, віброваної бутової кладки.

Визначають рухливість розчинів складу, заданого викладачем, за наведеною вище методикою. При необхідності коригують склад для досягнення необхідної рухливості. Результати заносять до журналу за наступною формою:

Склад розчинної суміші:

Ц= \_\_\_\_\_; В= \_\_\_\_\_; П= \_\_\_\_\_ на 1м<sup>3</sup> піску

№ замісу	Витрата компонентів, кг			Рухливість, см
	Ц	В	П	

Висновок: \_\_\_\_\_

**Завдання 2:** визначити вплив на рухливість цементно-піщаних розчинів складу 1:3 добавки вапняного тіста в кількості 0,2, 0,4, 0,6 частини по об'єму.

Виготовляють розчини пропонованого складу і визначають їх рухливість за наведеною вище методикою. Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ замісу	Витрата компонентів, кг				Рухливість, см
	Ц	В	П	Д	

Висновок: \_\_\_\_\_

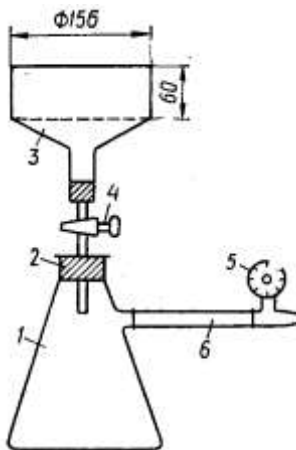
## Дослід 2. Визначення водоутримувальної здатності

*Засоби випробування:* прилад для визначення водоутримувальної здатності, (рис. 6.2.), прилад для визначення рухливості, посуд для збереження проби.

Водоутримувальна здатність розчинної суміші, яка визначається в лабораторних умовах, повинна бути не меншою: 90% – при приготуванні в зимових умовах; 95% при приготуванні в літніх умовах.

Водоутримувальна здатність розчинної суміші, яка визначається на місці проведення робіт, повинна бути не менш 75% водоутримувальної здатності, встановленої в лабораторних умовах.

Свіжоприготовлений розчин повинен утримувати у своєму складі достатню для твердіння гідравлічного в'язучого кількість води в умовах інтенсивного відсмоктування її пористим матеріалом (основою). Здатність розчину утримувати вологу визначається за допомогою спеціального приладу, що складається з фарфорової або метале-



**Рис. 6.2.** Прилад для визначення водоутримуючої здатності розчинної суміші:

1 – конічна колба; 2 – гумові воронка з фільтром; 4 – кран метр; 6 – відвідна трубка, що з'єднана з вакуум-насосом.

вої лійки з внутрішнім діаметром 154-156 мм, висотою 60 мм і з фільтру з діаметром отворів 1,4-1,6 мм. Прилад має вимірник розрідження і повітряний насос, за допомогою якого можна створити розрідження в 6500 Па.

Перед початком дослідів визначають рухливість розчину. Потім на фільтруючу поверхню лійки розстелюють фільтрувальний папір, на який кладуть розчин товщиною 3 см. Після цього розчин зневоднюють на протязі 1 хв. і кладуть у вільний посуд. Дослід повторюють три рази, відбираючи проби одну за іншою. Потім, ретельно перемішавши зневоднені порції (проби) розчину, знову визначають його рухливість.



Показник водоутримувальної здатності:

$$P_{\text{вс}} = \frac{V_{\text{К}_2}}{V_{\text{К}_1}} \cdot 100, \quad (6.1.)$$

де  $V_{\text{К}_2}$  – рухливість розчину після вакуумування, см;  $V_{\text{К}_1}$  – рухливість розчину перед вакуумуванням, см.

**Завдання 3:** визначити водоутримувальну здатність цементно-піщаного розчину без добавки і з добавкою 10, 20, 30 % від маси цементу золи-виносу.

Використовуючи наведену вище методику, визначають водоутримувальну здатність розчинів різного складу. Результати заносять до журналу за наступною формою:

№ замісу	Витрата компонентів, кг				Водоутримувальна здатність, %
	Ц	В	П	З	

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

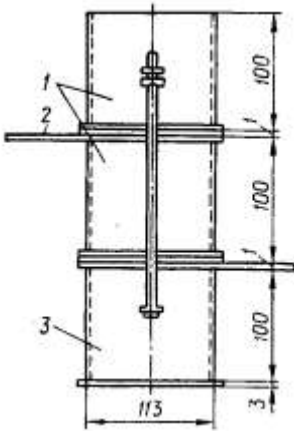
\_\_\_\_\_

### Д о с л і д 3 . Визначення розшаровуваності

**Засоби випробування:** прилад для визначення розшарування (рис. 6.3.), лабораторний вібромайданчик, прилад для визначення рухливості, ємності для зберігання розчинної суміші.

Розшаровуваність розчинної суміші повинна бути не більшою 10%. Її визначають за допомогою приладу, який представляє собою циліндричну сталеву форму, що складається з трьох частин однакової висоти: двох кілець і циліндру (з дном і фланцями), зібраних на гумових прокладках і стягнутих двома тягами.

Форму заповнюють свіжоприготовленим розчином в один прийом врівень з краями, закривають кришкою, потім піддають вібрації на вібромайданчику протягом 30 с., після чого кришку знімають. Амплітуда коливань вібромайданчику в завантаженому стані повинна бути 0,35...0,5 мм, а частота – 2800...3000 коливань за хвилину.



**Рис. 6.3.** Прилад для визначення розшарування розчинної суміші:

1 – форми-кільця; 2 – платформи для зсування форм-кільць з розчином; 3 – форма-циліндр.

Після вібрування розчин, який знаходиться у верхньому кільці та циліндрі викладають в окремі ємності. Розчин, який знаходиться в нижньому кільці, для дослідів не використовують. Потім з кожної ємності, після ретельного перемішування протягом 30 с. беруть пробу для визначення рухливості розчину.

Об'єм зануреної в розчин частини конусу визначають з похибкою до 1 см<sup>3</sup>:

Глибина занурення конусу, см	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Об'єм занурення конусу, см <sup>3</sup>	0,5	1,9	4,4	8,7	15	24	36	51	60	93	120	153

Потім вираховують різницю об'ємів занурення конусу. Проміжні значення занурення конусу, см<sup>3</sup>, приймаються по інтерполяції.

Розшаровуваність розчинної суміші, см<sup>3</sup>, вираховують як середнє арифметичне двох дослідів.

**Завдання 4:** визначити розшаровуваність цементно-піщаних розчинів одного складу, виготовлених на середньому і дуже дрібному піску.

Виготовляють розчини вказаного складу, визначають їх розшаровуваність. Результати заносять до журналу за наступною формою:

Склад розчинної суміші:

Ц= \_\_\_\_\_; В= \_\_\_\_\_; П= \_\_\_\_\_ на 1м<sup>3</sup> піску.

Модуль крупності піску:

M<sub>кр1</sub> = \_\_\_\_\_; M<sub>кр2</sub> = \_\_\_\_\_

№ замісу	M <sub>кр</sub> піску	Витрата компонентів, кг			Розшарування, см <sup>3</sup>
		Ц	В	П	


Висновок: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Завдання 5:** порівняти розширення цементно-піщаних розчинів без добавки і з введенням добавки золи-виносу.

Результати для виконаних дослідів заносять до журналу за наступною формою:

№ замісу	Витрата компонентів, кг				Розширення, см <sup>3</sup>
	Ц	В	П	З	

Висновок: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Дослід 4. Визначення межі міцності розчину на стиск.**

*Засоби випробування:* розбірні форми з сталі з піддоном і без піддону; шпатель; сталевий стержень діаметром 10-12 мм; ніж; гідравлічний прес.

Межа міцності розчину при стиску визначається на зразках-кубах з довжиною ребра 70,7 мм. На кожний термін дослідження виготовляють по три зразка розчину визначеного складу.

Зразки з розчинних сумішей з рухливістю менше 5 см виготовляють у формах із піддоном, 5 см і більш – у формах без піддона. В останньому випадку форму встановлюють на звичайну керамічну цеглу, попередньо накриту змоченим водою не проклеєним папером.

Зразки, витягнуті через 24±2 г після укладки з форм, зберігаються в камері нормального твердіння (при застосуванні гідравлічних в'язких) або в приміщенні при відносній вологості повітря 65±10 %,

Перед проведенням випробувань зразки вимірюють, а потім встановлюють на нижню плиту преса, центрують відносно його осі

так, щоб основою служили грані, які стикаються з стінками форми при виготовленні зразків.

При проведенні випробувань навантаження на зразок повинно зростати безперервно з постійною швидкістю не більш  $0,6 \pm 0,4$  МПа в секунду до його руйнування. Досягнуте в процесі випробування максимальне зусилля приймають за величину руйнуючого навантаження.

Межа міцності на стиск вираховується для кожного зразка як частка від ділення руйнуючого навантаження на робочу площу зразка. В якості остаточного результату приймають середнє арифметичне випробування трьох зразків.

**Завдання 6:** визначити межу міцності зразків цементних розчинів з В/Ц 0,5; 0,6; 0,7; 0,8, виготовлених у формах із піддоном і без піддону (в останньому випадку зразки встановлюють на керамічну цеглу). Зробити висновок про характер впливу В/Ц залежно від умов твердіння розчину.

Результати для розчину кожного складу заносять до журналу за наступною формою:

Склад розчинної суміші:

Ц= \_\_\_\_\_; В= \_\_\_\_\_; П= \_\_\_\_\_ на  $1\text{м}^3$  піску.

Умови виготовлення зразків \_\_\_\_\_.

Показник	Зразок		
	1	2	3
Геометричні розміри, см: поперечного перерізу ( $a \times b$ ) висота (h)			
Площа поперечного перерізу, $\text{см}^2$			
Об'єм, $\text{см}^3$			
Маса, г			
Середня густина розчину, $\text{г/см}^3$			
Руйнівне навантаження, кН			
Межа міцності на стиск окремого зразка, МПа			
Межа міцності на стиск випробуваних зразків, МПа			
Перевідний коефіцієнт			
Межа міцності на стиск розчину, МПа			
Марка розчину			

Остаточні результати всіх випробувань зводять до таблиці за наведеною нижче формою і будують графіки  $R = f(V/C)$ .

Умови вигото-	В/Ц (Ц/В)	R, МПа
---------------	-----------	--------

влення зразків	0,5 (2)	0,6 (1,67)	0,7 (1,43)	0,8 (1,25)	

Виготовлення зразків:

- на піддоні

- на цеглині



Висновок: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### Контрольні запитання

1. Які властивості контролюються для мурувальних та опоряджувальних розчинів і чому вони дорівнюють?
2. Яка різниця між розчином та дрібнозернистим бетоном?
3. Як можна підвищити пластичність мурувальних розчинів?

## 7. ОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

#### Властивості нафтових бітумів

##### Дослід 1. Визначення якості (марки) бітуму

*Засоби випробування:* прилад дуктилометр (рис. 7.1.), прилад “кільце та куля” (рис. 7.2.), пенетрометр з голкою (рис. 7.3.), чаша металева циліндрична з плоским дном внутрішнім діаметром  $55 \pm 2$  мм, висотою  $60 \pm 2$  мм, плоскодонна скляна або металева посудина ємністю не менше 1 л та висотою не менше 15 мм над рівнем чашки, ртутний скляний термометр, водяна баня, ніж для зрізання бітуму, латунні форми для бітуму – “вісімки”, тальк, гліцерин, металева чаша, електроплита, скляна пластинка 150x150 мм.

Для визначення якості бітуму необхідно визначити наступні його властивості: деформативність (дуктильність), теплостійкість і в'язкість (твердість, пенетрація).

#### А. Визначення деформативності

Деформативність бітумів визначають на приладі дуктилометрі (рис. 7.1.), який являє собою металеву ємність. По всій довжині ящика проходить черв'ячний гвинт з насадженими на нього двох полозків, які пересуваються по направляючому гвинту із швидкістю 5 см/хв. Ємність споряджена шкалою, по якій ковзає покажчик, закріплений на полозках.

Розтоплений бітум наливають в латунні збірні форми, в яких бітум після охолодження набуває форму видовженої цифри вісім.

Після витримування зразків бітуму на протязі 1-1,5 години в воді при температурі 25 °С їх переносять в дуктилометр, закріплюють, видаляють бокові частини форми і розтягують. Вода в ванні дуктилометра на протязі всього часу випробування повинна мати температуру 25 °С і цілком покривати зразок. Зразки поступово витягуються в нитку, а потім рвуться. В момент розриву відмічають видовження зразка на шкалі в см.

Випробуванню піддаються три зразки і за остаточний результат приймають середнє із трьох значень.

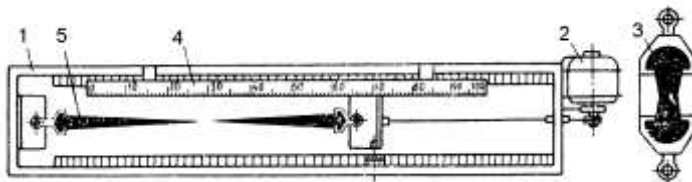
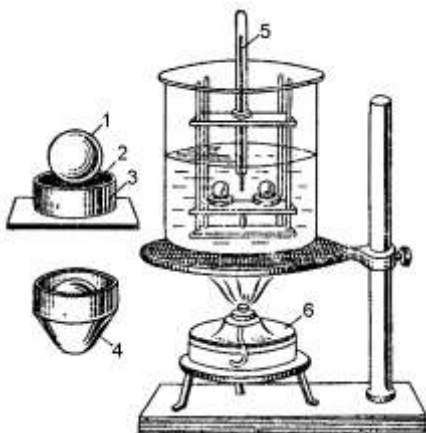


Рис. 7.1. Дуктилометр:

- 1 – ємність; 2 – електродвигун; 3 – форма, заповнена бітумом;
- 4 – лінійка; 5 – нитка бітумного зразка в момент розриву.

#### Б. Визначення температури розм'якшення

Температуру розм'якшення визначають на приладі “Кільце та куля” (рис. 7.2.), який складається з трьох металічних дисків, закріплених на визначеній відстані один від одного металевими стержнями, які проходять через них. В середньому диску є два отвори, в кожному з яких вставляють латунні кільця з внутрішнім діаметром 15,88 мм, висотою 6,25 мм і товщиною стінок 2,38 мм. Посередині верхнього диску є отвір, в який вставляють термометр.



**Рис. 7.2.** Прилад  
“кільце та куля:  
1 – куля; 2 – бітум  
– бітум, видавлени  
термометр; 6 – спи

Прилад з кільцями, які заповнені бітумом, ставлять в стакан, наповнений дистильованою водою з температурою 25 °С. Через 15 хвилин прилад виймають, на кожне кільце в центрі поверхні бітуму встановлюють сталю кулю діаметром 9,5 мм і масою 3,45...3,55 г , після чого встановлюють на нагрівальний прилад і нагрівають зі швидкістю 5 °С/хв. При нагріванні бітум розм’якшується і сталю куля разом з бітумом проходить крізь отвір в кільці. Температуру, при якій деформований бітум під дією маси кулі торкнеться нижнього диску приладу, приймають за температуру розм’якшення; спостереження ведуть одночасно за двома кільцями.

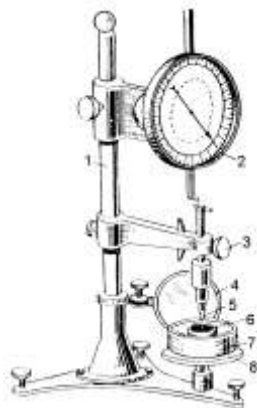
За розрахункову температуру розм’якшення приймають середнє арифметичне з двох значень, якщо різниця між ними не перевищує 1 °С. В протилежному випадку випробування необхідно повторити.

### **В. Визначення в’язкості**

Для характеристики в’язкості бітумів ( в’язких і твердих) використовують умовний показник твердості – глибину проникнення голки у випробовуваний матеріал. Глибину проникнення визначають на спеціальному приладі – пенетрометрі (рис. 7.3.).

Кожен градус на циферблаті пенетрометра відповідає 0,1 мм. Чашку з бітумом ставлять на столик пенетрометра. Збільшивши стержень підводять голку до поверхні бітуму. Відзначивши початкове положення стрілки на циферблаті, одночасно пускають секундомір і натискають кнопку, даючи можливість голці вільно занурюватися в зразок. Через п’ять секунд кнопку відпускають і відзначають нове положення стрілки. Різниця між другим і першим показниками стрілки дає

глибину проникнення голки в бітум в градусах. Голку занурюють не менше трьох разів в різних точках поверхні.



**Рис. 7.3.** Пенетрометр:

1 – штатив; 2 – диск з циферблатом;  
3 – затискний пристрій; 4 – дзеркало;  
5 – голка; 6 – бітум, що досліджується;  
7 – посуд з водою; 8 – столик.

За результатами визначення трьох характеристик – деформативності, температури розм’якшення та в’язкості, роблять висновок про марку бітуму згідно табл. 7.1.

### 7.1. Фізико-механічні властивості нафтових бітумів

Марка бітуму	Глибина проникнення голки при 25 °С, 0,1 мм	Розтягуваність при 25 °С, см не менше	Температура	
			Розм’якшення, °С не менше	Спалаху, °С не нижче
Будівельні бітуми				
БН-50/50	41-60	40	50	220
БН-70/30	21-40	3	70	230
БН-90/10	5-20	1	90	240
Покрівельні бітуми				
БНК-45/180	140-220	не нормується	40-50	240
БНК-90/40	35-45		85-95	240
БНК-90/30	25-35		85-95	240
Дорожні бітуми				
БНД-200/300	201-300	—	35	200
БНД-130/200	131-200	65	39	220
БНД-90/130	91-131	60	43	220
БНД-60/90	61-90	50	47	220
БНД-40/60	40-60	40	51	220



**Завдання 1:** визначити вид та марку нафтового бітуму.

Визначають деформативність, температуру розм'якшення та в'язкість пронованих зразків з нафтового бітуму і згідно табл. 7.1. роблять висновок про вид та марку бітуму, можливу сферу його використання.

Результати заносять до журналу за наступною формою:

А. Матеріал \_\_\_\_\_ Метод \_\_\_\_\_  
Суть методу \_\_\_\_\_  
Найменування зразків \_\_\_\_\_  
Швидкість розтягування \_\_\_\_\_ Прилад \_\_\_\_\_  
Схема досліді \_\_\_\_\_ Розтягуваність в см:  
Зразок №1 \_\_\_\_\_  
Зразок №2 \_\_\_\_\_  
Зразок №3 \_\_\_\_\_  
Середнє значення \_\_\_\_\_

Б. Метод і прилад \_\_\_\_\_  
Суть методу \_\_\_\_\_  
Схема досліді: \_\_\_\_\_ Термін витримування при температурі  
+5 °С \_\_\_\_\_ хвилин  
Швидкість піднімання температури \_\_\_\_\_  
Температура розм'якшення в °С \_\_\_\_\_  
по кільцю №1 \_\_\_\_\_  
по кільцю №2 \_\_\_\_\_  
середнє значення \_\_\_\_\_

В. Суть методу \_\_\_\_\_  
Прилад \_\_\_\_\_ Температура бітуму \_\_\_\_\_

Показники	Одиниці виміру	№ досліді		
		1	2	3
Показ приладу до занурення голки				
Показ приладу після занурення голки				
Глибина проникнення				
Середня глибина проникнення				

Висновок \_\_\_\_\_  
-----

**Завдання 2:** розрахувати та експериментально перевірити можливість досягнення властивостей бітуму БН 70/30 змішуванням бітумів БН 50/50 та БН 90/10.

Для виконання завдання розраховують кількість тугоплавкого бітуму за нижченаведеною формулою, змішують бітум і визначають марку за наведеною вище методикою. Результати заносять до журналу за формою, аналогічною формі завдання 1.

$$B_{\tau} = \left( \frac{t - t_m}{t_{\tau} - t_m} \right) \cdot 100$$

де  $t$  – температура розм'якшення бітумного в'язучого по методу “кі-льце та куля”;  $t_m$  та  $t_{\tau}$  – температура розм'якшення “м'якого” та “твердого” бітумів.

**Завдання 3:** *провести статистичну обробку показників глибини за-нурення голки при визначенні в'язкості бітуму з визначенням серед-нього арифметичного значення, середнього квадратичного відношен-ня та коефіцієнту варіації.*

Використавши отримані чисельні дані при визначенні penetрації нафтового бітуму (завдання 1), виконують їх статистичну обробку. Результати заносять до журналу за наступною формою:

Статистичний аналіз результатів випробувань  
(при довірчій ймовірності \_\_\_\_\_ %)

n	М а т е р і а л _____		
	$X_i$	$X_i - X_{\text{сеп}}$	$(X_i - X_{\text{сеп}})^2$
1			
...			
10			
$\Sigma$		0	
$\bar{x}$			
S			
$\sigma$			
$C_v$			
m			
$\varepsilon$			

### Контрольні запитання

1. Види, сфера застосування та приклади органічних в'язучих.
2. Перелічити основні будівельні властивості органічних в'язучих. Навести методику їх визначення.
3. Як пов'язані між собою теплостійкість, в'язкість та деформативність бітумів.

## 8. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

#### Фізико-механічні характеристики та петрографія гірських порід

##### Дослід 1. Прискорене визначення морозостійкості породи в розчині сірчаноокислого натрію.

*Засоби випробування:* ваги, сушильна шафа, сірчаноокислий натрій, скляні ємності.

3–5 зразків породи підготовляють у вигляді шматків кубовидної форми з найменшим розміром 60 мм і зважують їх із похибкою до 0,01 гр.

Сульфат натрію у вигляді кристалогідрату  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (700-1000 г) або безводної солі (250-300 г) розчиняють у 10 л підігрітої дистильованої води шляхом поступового додавання при ретельному перемішуванні. У отриманий розчин сірчаноокислого натрію занурюють зразки і витримують їх у розчині 20 годин при кімнатній температурі. Потім зразки по черзі виймають із розчину, ретельно оглядають і кладуть у сушильну шафу при температурі 100-105 °С на 4 години.

Операцію занурення зразків у розчин сірчаноокислого натрію і наступного висушування повторюють необхідне число разів. Після 3, 5, 10 і 15 циклів поперемінного витримування в розчині і висушування в сушильній шафі зразки промивають гарячою водою, висушують до постійної маси і визначають втрату маси у відсотках. (У межах двочасового лабораторного заняття можна зробити тільки кінцеві виміри і розрахувати втрати маси.)

Показник втрати маси обчислюють як середнє арифметичне кількох визначень із точністю до 0,1 %. Орієнтовану марку за морозостійкістю гірської породи знаходять за таблицею:

Марка за морозостійкістю	Заморожування		Випробування в розчині сірчаноокислого натрію	
	Число циклів	Втрата маси після випробування, % не більше	Число циклів	Втрата маси після випробування, % не більше
15	15	10	3	10
25	25	10	5	10
50	50	5	10	10
100	100	5	10	5
150	150	5	15	5
200	200	5	15	5

**Завдання 1:** визначити насиченням у розчині сірчанокислого натрію орієнтовану морозостійкість щільних і пористих порід.

Виконують прискорене визначення морозостійкості граніту і вапняку за наведеною вище методикою. Результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

Показник		Порода			Порода		
		Зразок №			Зразок №		
		1	2	3	1	2	3
Маса, г, після кількості циклів випробувань	0						
	3						
	5						
	10						
	15						
Втрага маси, г/%	0						
	3						
	5						
	10						
	15						
Марка за морозостійкістю							

## Д о с л і д 2 . П р и с к о р е н е в и з н а ч е н н я т в е р д о с т і г і р с ь к и х п о р і д .

*Засоби випробування:* набір мінералів шкали Мооса.

Шкала Мооса містить 10 еталонних мінералів, твердість котрих (в умовних одиницях) відповідає їхнім номерам: № 1 – тальк, № 2 – гіпс, № 3 – кальцит, № 4 – флюорит, № 5 – апатит, № 6 – ортоклаз, № 7 – кварц, № 8 – топаз, № 9 – корунд, № 10 – алмаз.

Для визначення твердості гірської породи на зразку роблять свіжий розкол, проводять по його поверхні обраним еталоном твердості по шкалі Мооса. Показником твердості вважають число, середнє між двома еталонами, із яких один залишає, а іншій не залишає подряпини на гірській породі.

По твердості всі гірські породи можна розділити на 5 груп:

1. Найтвердіші: кварцити, роговики, окременілі породи.
2. Дуже тверді: граніти, кварцові порфіри, кварцові піщаники.
3. Тверді: базальту, діабази, кварцево-полевошпатові піщаники.
4. Середньої твердості: тонко-кристалічні вапняки і доломіти.
5. Малої твердості: пористі вапняки і доломіти.

**Завдання 2:** визначити по шкалі Мооса твердість граніту, кременистих і вапняних піщаників, щільних і пористих різновидів вапняку.

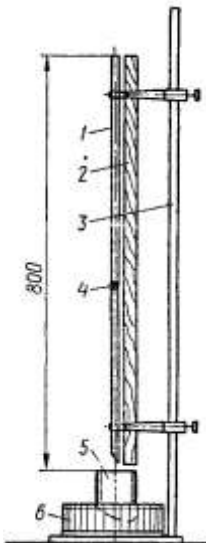
Результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

№ п/п	Порода	Результат подряпання										Твердість
		Тальк №1	Гіпс №2	Кальцит №3	Флюорит №4	Апатит №5	Ортоклаз №6	Кварц №7	Топаз №8	Корунд №9	Алмаз №10	
1												
2												
3												
4												
5												

**Дослід 3. Орієнтоване визначення міцності гірських порід.**

*Засоби випробування:* кульковий прилад для вимірювання міцності Вікторова (рис. 8.1), рівнемір.

Зразки гірської породи повинні мати одну горизонтальну шліфовану поверхню і висоту не менше 6 см. До досліді зразок нерівною поверхнею занурюють у пісок, вирівнюючи так, щоб досягти перпен-



**Рис. 8.1.** Кульковий прилад для вимірювання міцності Вікторова:

- 1 – скляна трубка діаметром 12 мм;
- 2 – опорна стійка з шкалою;
- 3 – лабораторний штатив;
- 4 – стальна кулька; 5 – зразок гірської породи; 6 – посуд з піском.

дикулярності до трубки приладу.

Прилад складається з вертикальної скляної трубки з внутрішнім діаметром 11,5-12 мм і довжиною 800 мм. Трубка щільно закріплюється на рейці, де нанесена шкала. Рейка разом із трубкою кріпиться і переміщається на штативі.

Після встановлення зразка в трубку опускають сталеву кульку діаметром 11 мм. Падаючи й удараючись об гладку поверхню зразка, кулька відскакує в трубці нагору на висоту, приблизно пропорційну розміру межі міцності каменю. Відлік роблять після першого найбільшого відскоку кульки. Зразок простукують 10-15 разів по нових точках. Середнє арифметичне з усіх висот відскоку від кожної точки є показником відскоку.

Перехід від показника відскоку до розміру межі міцності при стиску роблять по градуювальній кривій або за таблицею:

Висота відскоку, см	Межа міцності на стиск, МПа					
	Вапняки	Доломіти	Пісковики та алевроліти	Карбонатні пісковики	Гранітоїди	Порфірити та діабаз
8-12	10-25	10-30	3-10	5-10	—	5-10
13-16	20-30	20-40	10-25	20-30	20-45	10-20
17-20	25-45	30-70	20-35	25-35	—	20-30
21-24	30-70	50-110	30-45	30-40	40-60	30-40
25-28	50-100	70-130	35-50	40-60	40-70	40-50
29-32	55-110	100-170	40-70	50-100	45-90	50-70
33-36	80-140	110-190	50-90	60-100	70-100	60-80
37-40	100-160	160-220	65-100	100-140	80-110	80-140
41-44	120-190	210-280	70-140	120-180	90-130	110-190
45-48	140-220	230-290	100-170	160-200	120-150	120-220
49-52	—	—	120-210	—	140-220	150-260
53-56	—	—	180-290	—	140-230	160-280
57-62	—	—	190-320	—	220-300	180-380

Висота відскоку кульки змінюється не тільки відповідно до міцності, але і з групою твердості гірських порід. У зв'язку з цим визначення повинні робитися роздільно для кожній із петрографічних різновидів гірських порід.

**Завдання 3:** визначити за допомогою кулькового приладу для визначення міцності Вікторова орієнтовану межу міцності зразків граніту і мрамру різних родовищ.

Результати випробувань заносять у робочий журнал за наступною формою:

№ спроби	Висота відскоку кульки, см					
	граніт родовища:			мармур родовища:		
1						
...						
15						
$\Sigma$						
Середнє значення						
Міцність, МПа						

**Завдання 4:** зробити статистичну обробку результатів дослідів зразків гірських порід з граніту та мармuru одного родовища за допомогою кулькового приладу для визначення міцності Вікторова.

Результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

N	М а т е р і а л					
	$x_i$	$x_i - x_{\text{сєр}}$	$(x_i - x_{\text{сєр}})^2$	$x_i$	$x_i - x_{\text{сєр}}$	$(x_i - x_{\text{сєр}})^2$
1						
...						
10						
$\Sigma$		0			0	
$\bar{x}$						
S						
$\sigma$						
$C_v$						
M						
$\varepsilon$						

**Дослід 4. Візуальне петрографічне вивчення гірських порід**  
**Засоби випробування:** бінокулярна лупа, 10 %-й розчин соляної кислоти, набір мінералів шкали Мооса, напилек.

При петрографічному дослідженні визначаються мінеральний склад і структурно-текстурні особливості гірських порід. Виявити де-

які пороутворюючі мінерали по їх найпростіших фізичних властивостях, наприклад по твердості, блиску, спайності, характеру зламу і кольору, дозволяє візуальне дослідження гірських порід (без допомоги спеціальних шліфів).

Основним методом петрографічного дослідження є мікроскопічний. Він дозволяє ідентифікувати мінерали в гірських породах шляхом виміру їхніх оптичних констант, а також встановити кристалохімічні особливості будови кристалів (спайність, тріщинуватість, зональність і ін.). При петрографічному дослідженні гірських порід застосовують спеціальні зразки-шліфи, досліджувані за допомогою поляризаційного мікроскопа. Він відрізняється від звичайних мікроскопів тим, що розгляд шліфа робиться за допомогою двох призм (ніколей), одна з яких (поляризатор) знаходиться під предметним столиком мікроскопа, а інша (аналізатор) розташовується в тубусі між окуляром і об'єктивом. Дзеркалом направляється промінь світла, що, проходячи через поляризатор і прямуючи через шліф, розкладається на два промені, що коливаються у взаємно перпендикулярних площинах. Спостерігач бачить при цьому мінерали в шліфі в природному кольорі. При русі аналізатора (при схрещених ніколях) відбувається інтерференція поляризованих променів в одній площині й у результаті поглинаються деякі частини спектра. Спостерігач бачить у шліфі мінерали відповідно їхнім кристало-оптичним властивостям. Ці властивості виявляються своєрідним кольором або поступовою зміною прозорості по напрямках, властивим тільки даним мінералам, що і служить для них визначальною ознакою.

Структура гірської породи, тобто її будова, визначається розмірами кристалів, ступенем кристалічності, а також характером зв'язку між зернами мінералів. Основними видами структур є кристалічна, скрито кристалічна, скловидна й уламкова. На відміну від структур текстура визначається просторовим розташуванням зерен і кількістю речовини в одиниці об'єму, тобто складанням породи. Для глибинних і багатьох вивержених порід, що вилилися, властива масивна текстура, для більшості метаморфічних порід візуально легко визначити сланцеву текстуру.

Для досліду відбирають шматки гірської породи розміром приблизно 30 x 30 x 40 см із свіжим розколом. Визначають форму шматка породи (кубовидна, плитовидна, кутаста й ін.); характер площини розколу (гладкий, рваний, шорсткуватий, раковинний) і ребер (тупі, гострі); колір, блиск, наявність мікротріщин; твердість по шкалі Мооса;



структуру й однорідність породи по крупності, розташуванню кристалів і зв'язку між ними; вид текстури.

Визначають мінералогічний склад породи по зовнішніх ознаках мінералів, їхньому розміру і характеру розташування, виду речовини, що цементує. За допомогою напилка роблять надпил на зразку, крупинки, що відокремилися збирають на білий глянсовий папір і вивчають на предметному столику бінокулярної лупи. Враховують наступні найбільше характерні ознаки породоутворюючих мінералів: у кварцу - прозорість, скляний блиск, нерівний злам; у польових шпатів – гладкі рівні блискучі поверхні; у слюди – дуже досконалу спайність в одному напрямку і розшарування на лускаті листочки; у мінералів групи піроксену – чорний колір і здатність кристалізуватися у вигляді коротких стовпчиків або зерен, у мінералів групи амфіболів – темно-зелений або чорний колір і голчасті або призматичні кристали. Основними породоутворюючими мінералами карбонатних порід є кальцит і доломіт, які можна легко визначити по "вскипанню" від дії 10 %-й соляної кислоти. Для "вскипання" доломіту бажано підігріти порошок. До поширених породоутворюючих мінералів осадових порід відносяться також гіпс і ангідрит, білі або безбарвні і що легко дряпаються нігтем; пірит, що має золотавий блиск і утворює кубічні вкраплення з штрихуванням.

З вторинних мінералів можна візуально установити: мінерали з оливінітової групи, що легко розтираються і жирні на дотик, забарвлені в білий колір; лимоніт – по іржаво-бурому і жовтому окрасу; хлорит – по зеленому окрасу. Наявність значної кількості вторинних мінералів у породі свідчить про її вивітрюваність.

По сукупності встановлених особливостей і за допомогою даних, приведених у таблиці, встановлюють назву гірської породи:

Порода	Структура та будова	Найбільш поширений колір	Твердість за шкалою Мооса
Міцні та тверді породи			
Граніт	Крупно- та середньозерниста структура з частками слюди, які помітно; будова масивна	Сірий, деколи жовтуватий або червонуватий	6-7
Габбро	Дрібнозерниста структура; будова масивна	Від оливкового до коричневого	6
Базальт	Дуже дрібнозерниста структура; будова масивна	Чорний з сіруватим тьмяним відливом	7-8

Діабаз	Дрібнозерниста структура; будова масивна	Темнувато-сірий, зеленувато-сірий	6
Кварцити	Дрібнозерниста структура; будова масивна	Білий, сірий, рідше жовтуватий та червонуватий	7
Менш міцні та тверді породи			
Пісковики	Рівномірна дрібнозерниста структура; будова шарова	Сірий з жовтуватим чи червонуватим відтінком	Кременисті-6 Залозисті-5 Вапнякові-4
Вапняки щільні	Землиста аморфно-кристалічна структура; будова частіше шарувата, включення глини	Сірий з кремовим, жовтуватим, чи оранжевим відтінком	3-5
Доломіти	Середньозерниста структура; будова частіше шарова	Сірий з прожилками	4
Сланці	Частіше аморфна, рідше дрібнозерниста структура; будова тонкошарувата, шари легко відділяються один від одного	Частиш чорний, темно-зелений чи бурий	2-3 (у кременистих до 5-6)
Мармур	Дрібнозерниста структура; будова масивна	Різноманітний, але обов'язково з візерунками, прошарками та прожилками	4

**Завдання 5:** встановити за допомогою візуального петрографічного дослідження найменування виверженої та осадової гірської породи.

Результати досліджень для кожної породи заносять у робочий журнал за наступною формою:

Петрографічні ознаки породи	Результати досліджень для зразків		
	1	2	3
Форма куска			
Характер площини розколу і ребер			
Колір, блиск, наявність мікротріщин			
Твердість за шкалою Мооса			
Структура і однорідність			
Вид текстури			
Характерні ознаки мінералів при візуальному огляді			
Дія соляної кислоти			
Ймовірна назва породи			

### Контрольні запитання

1. Як можна визначити морозостійкість природного каменю?
2. Як визначають твердість гірської породи?
3. Які вимоги до щебеню з магматичних та осадових порід?
4. Назвіть орієнтовну твердість, міцність та сферу застосування граніту, базальту, щільного вапняку, черепашнику, крейди.
5. Назвіть основні родовища магматичних та осадових гірських порід Вашого регіону та сферу застосування каменю цих родовищ.

## 9. КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

#### Стінова кераміка

**Д о с л і д 1. Оцінка якості цегли по зовнішньому огляду і обміру**  
*Засоби випробування:* металева лінійка і кутник, штангенциркуль, еталонна цеглина.

Зовнішнім оглядом встановлюють наявність недопалу чи перепалу в контрольній цеглі, для чого порівнюють відібрані зразки з еталоном (нормально випалена цегла). Більш світлий колір цегли за еталоном ("яскраво-червона" цегла) та глухий звук при ударі по цеглі молотком на наявність недопалення. Перепалена цегла характеризується оплавленням та вспученням, має бурий колір і, як правило, викривлення. Після зовнішнього огляду вимірюють довжину, ширину і товщину цегли, а також визначають скривлення поверхонь і ребер, наявність та довжину тріщин.

Класифікація виробів залежно від середньої густини наведена в таблиці 9.1.

#### 9.1. Класифікація стінової кераміки за середньою густиною

Група виробів	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність, Вт/мК
Ефективні		
Цегла	Не більше 1400	Не більше 0,46
Камені	Не більше 1450	
Умовно ефективні		
Цегла	Від 1400 до 1600 включно	Від 0,46 до 0,58 включно
Камені	Від 1450 до 1600 включно	
Звичайна цегла	Більше 1600	Більше 0,58

Класифікація виробів залежно від розмірів наведена в таблиці 9.2.

9.2. Класифікація стінової кераміки за розмірами

№ п/п	Тип виробу	Номинальні розміри, мм за			Коефіцієнт перерахунку на умовну цеглу
		Довжиною	шириною	товщиною	
1	Цегла звичайних розмірів (умовна)	250	120	65	1,00
2	Цегла потовщена	250	120	88	1,35
3	Цегла модульних розмірів	288	138	63	1,28
4	Цегла модульних розмірів потовщена	288	138	88	1,79
5	Цегла потовщена з горизонтальним розташуванням пустот	250	120	88	1,35
6	Камінь звичайних розмірів	250	120	138	2,12
7	Камінь модульних розмірів	288	138	138	2,81
8	Камінь модульних розмірів укрупнений	288	288	88	3,74
9	Камінь укрупнений	250	250	138	4,42
10	Камінь укрупнений з горизонтальним розташуванням пустот	250	250	120	3,85

П р и м і т к а : Визначення середньої густини і теплопровідності проводять на виробках, які висушені до постійної маси.

Умовні позначення виробів, що відвантажуються споживачам в Україні, містять літери (x) та цифри (y) елементів, які відокремлюються вертикальними рисками згідно з наведеною схемою:

X матеріал (К – керамічний)	X вид виробів (Р – рядові, Л – лицьові)	X порожнистість цегли (Пв – повнотіла, Пр – порожниста)	y/ тип виробу згідно таблиці “класифікація виробів у залежності від розмірів” (наведена вище)	y/ марка за міцністю	y/ середня густина	y марка за морозостійкістю
-----------------------------------	---	--	---	-------------------------	-----------------------	-------------------------------

П р и м і т к а : Згідно з п. 4.2.2. ДСТУ Б В.2.7-61-97 камені виготовляються тільки порожнистими.

Приклади умовних позначень виробів:

1. Цегла керамічна рядова повнотіла марка за міцністю 100, густиною  $1650 \text{ кг/м}^3$ , марка за морозостійкістю F-15:

**Цегла КРПр – 1/100/1650/15 ДСТУ Б В.2.7-61-97**

2. Цегла керамічна рядова порожниста марка за міцністю 150, густиною  $1480 \text{ кг/м}^3$ , марка за морозостійкістю F-15:

**Цегла КРПр – 1/150/1480/15 ДСТУ Б В.2.7-61-97**

3. Камінь керамічний рядовий порожнистий марка за міцністю 100, густиною  $1460 \text{ кг/м}^3$ , марка за морозостійкістю F-15:

**Камінь КР – 6/100/1460/15 ДСТУ Б В.2.7-61-97**

4. Камінь керамічний рядовий ефективний укрупнений порожнистий з горизонтальним розташуванням пустот марка за міцністю 50, густиною  $1390 \text{ кг/м}^3$ , марка за морозостійкістю F-15:

**Камінь КР – 10/50/1390/15 ДСТУ Б В.2.7-61-97**

Примітка: при умовних позначеннях лицьових виробів замість літери “Р” вводять літеру “Л”.

Лицьові вироби повинні мати дві лицьові поверхні – ложку та поперечникову. За погодженням із споживачем допускається випускати вироби з однією лицьовою поверхнею.

Тріщини на лицьовій поверхні лицьових виробів, а також тріщини та розшарування по контакту фактурного шару з основною масою виробів не допускаються. На лицьових поверхнях не повинно бути відколів, плям, вицвітів та інших дефектів, видимих на відстані 10 м на відкритому майданчику при денному освітленні.

Колір, рисунок рельєфу і інші показники зовнішнього вигляду лицьової поверхні виробів повинні відповідати затвердженому в установленому порядку або погодженому із споживачем зразку-еталону.

Загальна кількість рядових виробів з дефектами, що перевищують допустимі (наведені вище), включаючи парний половняк, не повинна бути більше 5%. Парним половняком вважають вироби, що складаються із парних половинок або мають тріщини більше допустимих ДСТУ Б В.2.7-61-97.

Для рядових виробів вапняні включення (“дутики”), які викликають після пропарювання зруйнування виробів або їх поверхонь, або відколи на їх поверхні розміром за найбільшим виміром від 5 до 10 мм у кількості більше трьох штук на одному виробі, не допускаються.

Відхилення від номінальних розмірів і показників зовнішнього вигляду виробів не повинні перевищувати на одному виробі величин зазначених в таблиці 9.3.

9.3. Вимоги ДСТУ Б В.2.7-61-97 до зовнішнього вигляду стінової кераміки

Найменування показників	Значення відхилень						
	для рядових виробів та нелицьових поверхонь лицьових виробів		Для лицьових поверхонь лицьових виробів				
	для виробів пластичного формування із лесів, трепелів, діатомітів	для виробів пластичного формування і напівсухого пресування					
1 Відхилення від розмірів, мм не більше:							
за довжиною	±7	±5	±5				
за шириною	±5	±4	±3				
за товщиною – для цегли	±3		<table style="border: none;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">+3</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">-2</td> </tr> </table>	{	+3	}	-2
{	+3						
}	-2						
за товщиною – для каменя	±4						
2 Відхилення від прямолінійності ребер і площинності граней, мм, не більше:							
за постелею	4	3	—				
за ложком	6	4	3				
за поперечиком	Не нормується		2				
3 Неперпендикулярність граней і ребер, що віднесена до довжини 120 мм, мм, не більше	Не нормується		2				
4 Відбитості кутів завглибшки від 10 до 15 мм, шт., не більше	2		Не допускаються				
5 Відбитості і притупленості ребер завглибшки не більше 10 мм і завдовжки від 10 до 15 мм, шт., не більше	2		Не допускаються				

Водопоглинання рядових виробів, висушених до постійної маси, повинно бути для повнотілої цегли не меншим 8% за масою, порожнистих виробів – не меншим 6% за масою. Водопоглинання лицьових виробів повинно бути не меншим 6% за масою.

Водопоглинання лицьових виробів залежно від використаної сировини повинно бути не більшим, у відсотках за масою:

- 12 – із білопалених глин;
- 18 – із каолінових глин або шихт з домішкою каоліну більше 20%;

- 20 – із карбонатвміщуючих глин (з вмістом карбонатів у перерахунку на  $\text{CaCO}_3$  не більше 10%) та із глини з домішкою трепелів і діатомітів;
- 28 – із трепелів і діатомітів;
- 14 – із інших видів глин.

**Завдання 1:** оцінити відповідність ДСТУ Б В.2.7-61-97 представлених зразків керамічної цегли за зовнішнім оглядом та обміром.

Завдання виконують за наведеною вище методикою, результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

№ п/п	Показник якості цегли	Вимоги ДСТУ Б В.27-61-97	Результати огляду і обміру				
			1	2	3	4	5
1	Розміри, мм: Довжина Ширина Висота						
2	Відхилення від прямолінійності граней і ребер, мм не більше: за постелею за ложком						
3	Відбитості і притупленості ребер та кутів, в мм, шт.						
4	Тріщини завширшки більше 0,5 мм, протяжністю до 30 мм за постелею, шт. не більше на ложкових гранях на поперечникових гранях						
5	Недопал або перепал						
6	Вапнякові включення “дутики”						

Висновок \_\_\_\_\_

-----

**Завдання 2:** визначити вплив ступеня випалу на зовнішній вид і геометричні розміри керамічної цегли.

Завдання виконують, використовуючи результати попереднього дослідження, результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

№ зразка	Ступінь випалу	Геометричні розміри			Особливості зовнішнього вигляду
		довжина	ширина	висота	
1					
...					
5					

## Дослід 2. Визначення марки цегли

*Засоби випробування:* прес гідравлічний, пристрій для розколювання цегли на половинки, гумові прокладки, металева лінійка.

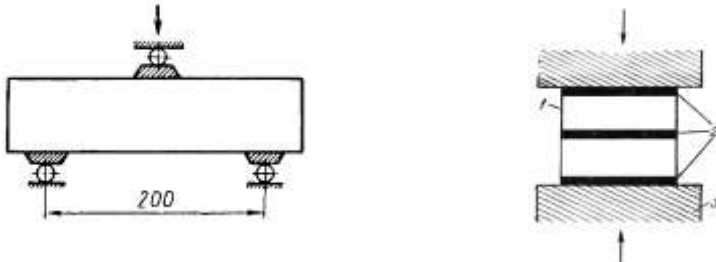
Марку цегли за міцністю встановлюють за значенням границь міцності на стиск і згин, каменю – тільки на стиск відповідно до таблиці 9.4.

Схеми випробувань цегли зображені на рис. 9.1. Випробовують по 5 шт. зразків на стиск і на згин. Середнє значення межі міцності визначають як середнє арифметичне. Також записують мінімальний результат випробувань. Результати дослідів порівнюють з вимогами ДСТУ Б В.2.7-61-97.

### 9.4. Класифікація керамічних виробів за міцністю (маркою)

Марка виробу	Границя міцності, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )							
	на стиск для всіх видів виробів		на згин для					
			повнотілої цегли пластичного формування		цегли напівсухого пресування і порожнистої цегли		Потовщеної Цегли	
	середній для 5 зразків	Найменший для окремого зразка	середній для 5 зразків	найменший для окремого зразка	середній для 5 зразків	найменший для окремого зразка	середній для 5 зразків	найменший для окремого зразка
300	30,0(300)	25,0(250)	4,4(44)	2,2(22)	3,4(34)	1,7(17)	2,9(29)	1,5(15)
250	25,0(250)	20,0(200)	3,9(39)	2,0(20)	2,9(29)	1,5(15)	2,5(25)	1,3(13)
200	20,0(200)	17,5(175)	3,4(34)	1,7(17)	2,5(25)	1,3(13)	2,3(23)	1,1(11)
175	17,5(175)	15,0(150)	3,1(31)	1,5(15)	2,3(23)	1,1(11)	2,1(21)	1,0(10)
150	15,0(150)	12,5(125)	2,8(28)	1,4(14)	2,1(21)	1,0(10)	1,8(18)	0,9(9)
125	12,5(125)	10,0(100)	2,5(25)	1,2(12)	1,9(19)	0,9(9)	1,6(16)	0,8(8)
100	10,0(100)	7,5(75)	2,2(22)	1,1(11)	1,6(16)	0,8(8)	1,4(14)	0,7(7)
75	7,5(75)	5,0(50)	1,8(18)	0,9(9)	1,4(14)	0,7(7)	1,2(12)	0,6(6)
Для цегли і каменів з горизонтальним розташуванням порожот								
100	10,0(100)	7,5(75)	—	—	—	—	—	—
75	7,5(75)	5,0(50)						
50	5,0(50)	3,5(35)						
35*	3,5(35)	2,5(25)						
25*	2,5(25)	1,5(15)						





**Рис. 9.1.** Визначення межі міцності цегли на згин та стиск:

1 – цеглина (половинка цеглини), 2 – прокладки, 3 – пластини преса

**Завдання 3:** визначити для недопаленої, нормально випаленої та перепаленої цегли межю міцності на стиск та згин. Зробити висновки про вплив ступеня випалу на міцність цегли.

Для виконання завдання відбирають по 5 зразків з різним ступенем випалу і випробовують за наведеною вище методикою.

Результати заносять у робочий журнал за наступною формою:

№ п/п	Показники	№ зразків				
		1	2	3	4	5
1	Розміри цегли, см: b (розрахункова ширина) h (розрахункова висота) l (розрахункова довжина)					
2	Руйнуюче навантаження F, Н (кг)					
3	Границя міцності при згині, $R_{зг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$					
4	Середнє арифметичне, МПа					

№ п/п	Показники	№ зразків				
		1	2	3	4	5
1	Розміри цегли, см: b (розрахункова ширина) l (розрахункова довжина)					
2	Площа зразка A, см <sup>2</sup>					
3	Руйнуюче навантаження F, Н (кг)					
4	Границя міцності на стиск, $R_{ст} = \frac{F}{A}$					
5	Середнє арифметичне, МПа					

Висновок \_\_\_\_\_

**Завдання 4:** визначити коефіцієнт конструктивної якості повнотілої та порожнистої керамічної цегли.

Визначають міцність та середню густину на стиск зразків повнотілої та порожнистої цегли і результати заносять у робочий журнал за наведеною нижче формою. Далі розраховують коефіцієнт конструктивної якості за формулою:

$$К.К.Я. = R_{ст} / \rho_0$$

№ п/п	Показники	№ зразків				
		1	2	3	4	5
1	Розміри цегли, см: b (розрахункова ширина) h (розрахункова висота) l (розрахункова довжина)					
2	Площа зразка A, см <sup>2</sup>					
3	Об'єм зразка, см <sup>3</sup>					
4	Маса зразка, кг					
5	Середня густина, г/см <sup>3</sup>					
6	Руйнуюче навантаження F, Н (кг)					
7	Границя міцності на стиск, $R_{ст} = \frac{F}{A}$					
8	Середнє арифметичне, МПа					
9	Коефіцієнт конструктивної якості					

Висновок: \_\_\_\_\_

### Контрольні запитання

1. Як класифікується стінова кераміка?
2. Навести основні вимоги до зовнішнього вигляду рядової та лицьової цегли.
3. Як впливає спосіб формування керамічної цегли на її зовнішні ознаки, міцність, морозостійкість?
4. Як пов'язані зовнішній вигляд, міцність та морозостійкість цегли з ступенем її випалу?
5. Порівняйте ефективність повнотілої та порожнистої цегли за теплопровідністю, міцністю, вартістю.

## 10. ДЕРЕВИННІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

#### Властивості деревини

Якість деревини значною мірою залежить від породи деревини. Вона визначається шляхом перевірки зразків на наявність пошкодження грибками і вадами, визначенням середньої густини та вологості. Деревину, яка призначена для елементів несучих конструкцій, при наявності ознак, які свідчать про зниження її якості підлягає також механічним випробуванням.

#### Дослід 1. Визначення вологості деревини

Вологість деревини визначають у відсотках по відношенню до маси абсолютно сухого зразка. З цією метою беруть зразок розміром  $20 \times 20 \times 30$  мм, зважують, а потім висушують в сушильній шафі до постійної маси при температурі  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  і знову зважують. Вологість деревини можна визначити також вологомірами типу ЭВА-2, ЭВП-4, ИВД-1, ЦНИИМОД-1 та інші.

У тому випадку, коли деревина знаходилась довгий час при постійній температурі і відносній вологості повітря і не зволожувалась атмосферними опадами, її вологість (рівноважну вологість) можна визначити за діаграмою М.П. Чулицького.

**Завдання 1:** визначити експериментально та за діаграмою М.П. Чулицького вологість деревини, яка зберігалась тривалий час в лабораторії, і порівняти отримані результати.

Отримані значення заносять до журналу за наступною формою.

Показники	№ зразка		
	1	2	3
Маса зразка, г			
Маса абсолютно сухого зразка, г			
Вологість зразка, %			
Середня вологість зразків, %			
Вологість деревини за діаграмою М.П. Чулицького			

Висновок: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Дослід 2. Визначення середньої густини

Середню густину деревини визначають на зразках у вигляді прямокутної призми перерізом  $20 \times 20$  мм і висотою вздовж волокон

30 мм. Розміри поперечного перерізу і висоту вимірюють штангенциркулем з точністю до 0.1 мм по осям симетрії зразків. Об'єм зразка ( $V_w$ ) обчислюють з точністю до 0.01 см<sup>3</sup>. Після вимірювання зразок зважують з точністю до 0.01 г і обчислюють середню густину за формулою:

$$\rho_{ow} = \frac{m_w}{V_w}; \quad (10.1)$$

Знайдену середню густину перераховують на стандартну вологість деревини (12%) за формулою:

$$\rho_{012} = \rho_{ow} [1 + 0.01(1 - K_0)(12 - W)]; \quad (10.2)$$

де  $K_0$ - коефіцієнт об'ємного всихання, %;  $W$ - вологість зразка, %.

**Завдання 2:** визначити і порівняти середню густину деревини різних порід.

Визначають середню густину деревини сосни, дуба, вільхи, інших порід, приводять до стандартної вологості. Отримані значення заносять до журналу за наступною формою:

Показники	Порода								
	№ зразка								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Маса висушеного зразка, г									
Геометричні розміри зразка, см: - довжина - ширина - висота									
Об'єм зразка, V, см <sup>3</sup>									
Густина зразка, $\rho_{0i}$ , г/см <sup>3</sup>									
Середня густина зразків, $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>									

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Дослід 3. Визначення границі міцності деревини на стиск вздовж волокон

Цей дослід проводять на тих самих зразках, що й визначення середньої густини на гідравлічному пресі, доводячи зразок до руйнування.

Межа міцності на стиск деревини вздовж волокон при даній вологості визначається за формулою:

$$R_w = \frac{F_{\max}}{ab}; \quad (10.3)$$

Визначену межу міцності перераховують на стандартну вологість 12% за формулою:

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha (W - 12)]; \quad (10.4)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, який приймається рівним 0,04 на 1% вологості, W - вологість зразка в момент випробування, %.

- для зразків з вологістю, яка рівна границі гігроскопічності (30%) або перевищує її:

$$R_{12} = \frac{R_w}{K_{12}^{30}}; \quad (10.5)$$

де  $K_{12}^{30}$  - коефіцієнт перерахунку при вологості 30%, який дорівнює: 0,4- для берези та ялиці; 0,445- для ялини, модрина, осики і тополі; 0,45 – для сосни і бука; 0,55- для дуба, липи і вільхи.

**Завдання 3:** визначити міцність на стиск вздовж волокон деревини різних порід.

Визначають міцність деревини сосни, дуба, вільхи, інших порід, приводять до стандартної вологості. Отримані значення заносять до журналу за наступною формою:

Показники	Порода								
	№ зразка								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Геометричні розміри зразка, см: - довжина - ширина - висота									
Руйнуюче навантаження Р, кгс									
Межа міцності на стиск, $R_w$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Межа міцності на стиск, $R_{12}$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Середнє значення межі міцності, кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									

Висновок: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Завдання 4:** визначити міцність на стиск вздовж волокон деревини різної вологості.

Визначають міцність деревини однієї породи на зразках з різною вологістю. Отримані значення заносять до журналу за наступною формою:

Показники	Вологість деревини, %								
	№ зразка								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Геометричні розміри зразка, см: - довжина - ширина - висота									
Руйнуюче навантаження Р, кгс									
Межа міцності на стиск, $R_w$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Межа міцності на стиск, $R_{12}$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									

Висновок: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Дослід 4. Визначення межі міцності при статичному згині**

Для визначення межі міцності при статичному згині виготовляють зразки у формі бруска перерізом 20×20 мм і довжиною вздовж волокон 300 мм. При випробуванні зразок кладуть на дві нерухомі опори з відстанню між їх центрами 240 мм. Навантаження передається в одній або двох точках.

Зразок випробовують на згин таким чином, щоб згинаюча сила була направлена по дотичній до річних шарів тангенціального згину. Одночасно визначають вологість зразка. Межу міцності при статичному згині  $R_w$  при даній вологості визначають з точністю до 1 МПа за формулами:

- при навантаженні в двох точках 
$$R_w = \frac{F_{\max} l}{bh^2}; \quad (10.6)$$

- при навантаженні в одній точці 
$$R_w = \frac{3F_{\max} l}{2bh^2}. \quad (10.7)$$

Межу міцності зразків перераховують на вологість 12%.

**Завдання 5:** визначити міцність на згин деревини різних порід.

Визначають міцність деревини різних порід, приводять до стандартної вологості. Отримані значення заносять до журналу за наступною формою:

Показники	Порода								
	№ зразка								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Геометричні розміри зразка, см: - довжина - ширина - висота									
Руйнуюче навантаження Р, кгс									
Межа міцності на згин, $R_w$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Межа міцності на згин, $R_{12}$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Середнє значення межі міцності, кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									

Висновок: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Дослід 5. Визначення межі міцності при сколюванні  
вздовж волокон**

Для визначення межі міцності при сколюванні вздовж волокон зразки вирізають таким чином, щоб річні шари на торцях були паралельні площині сколювання при тангенціальному і перпендикулярній при радикальному сколюванні. Утворені річні шари повинні бути паралельні довгим ребрам зразка. Перед випробуванням штангенциркулем вимірюють по очікуваній площині сколювання ширину зразка  $b$  і довжину сколювання  $l$ .

Межу міцності при сколюванні в тангенціальній і радикальній площині при вологості в момент випробування визначають за формулою:

$$R_w = \frac{F_{\max}}{bl} \cdot \quad (10.8)$$

Межа міцності при сколюванні також повинна бути перерахована до стандартної вологості деревини 12%.

**Завдання 6:** визначити міцність на сколювання деревини різних порід.

Визначають міцність деревини різних порід, приводять до стандартної вологості. Отримані значення заносять до журналу за наступною формою:

Показники	Порода								
	№ зразка								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Геометричні розміри зразка, см: - довжина - ширина - висота									
Руйнуюче навантаження Р, кгс									
Межа міцності на сколювання, $R_w$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Межа міцності на сколювання, $R_{12}$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									
Середнє значення межі міцності, кгс/см <sup>2</sup> (МПа)									

Висновок: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Контрольні запитання**

1. Описати склад і структуру деревини різних порід.
2. Перерахувати позитивні властивості і недоліки деревини як будівельного матеріалу.
3. Назвати основні породи деревини, їх особливості, використання.
4. Вологість деревини і вплив її на фізико-механічні властивості деревини.
5. Викласти методику визначення рівноважної вологості, міцносних характеристик деревини.
6. Намалювати схеми дослідів визначення досліджуваних міцносних характеристик, привести розрахункові формули і формули перерахунку всіх властивостей до стандартної вологості.