

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ І ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ**

**КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
ТРАНСПОРТУ**

Кафедра „Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ІЗ ВИВЧЕННЯ  
ДИСЦИПЛІНИ  
“БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ”**

для студентів 2(3) курсу спеціальності “Залізничні споруди та колійне  
господарство” денної та заочної форм навчання

Частина 1

Київ 2005

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів із вивчення дисципліни "Будівельні матеріали" розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри (протокол № 4 від 24 грудня 2004 року) та узгоджені з методичною комісією факультету (протокол № 4 від 21 січня 2004 року).

Призначені для студентів 2(3) курсу спеціальності "Залізничні споруди та колійне господарство" і відповідають робочій програмі курсу "Будівельні матеріали" денної та заочної форм навчання.

**Укладач:** канд. техн. наук, доц. О.Ю. Дорошенко

**Рецензенти:** канд. техн. наук, доц. НТУ Гамеляк І.П.

канд. техн. наук, доц. КУЕТТ Возненко А.Д.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні властивості.....	4
1.1 Фізичні властивості.....	4
1.2 Механічні властивості.....	10
1.3 Фізико-хімічні властивості.....	14
1.4 Хімічні властивості.....	15
1.5 Технологічні властивості.....	16
1.6 Спеціальні властивості.....	17
1.7 Експлуатаційні властивості.....	18
1.8 Приклади рішення задач.....	19
2 Природні кам'яні матеріали.....	31
2.1 Загальні відомості.....	31
2.2 Матеріали і вироби з природнього каменю.....	32
2.3 Корозія природних кам'яних матеріалів та захист від неї.....	33
2.4 Приклади рішення задач.....	34
3 Неорганічні в'язучі .....	39
3.1 Повітряні в'язучі речовини.....	40
3.2 Гідравлічні в'язучі.....	43
3.3 Приклади рішення задач.....	49
Література.....	63
Додаток.1.....	64

## Вступ

Для інженера-будівельника шляхів сполучень дуже важливо вміти вирішувати конкретні практичні завдання, які пов'язані з оцінкою якості будівельних матеріалів і їх відповідністю вимогам чинних ДСТУ, ГОСТ, ТУ та інших нормативних документів. Вірний вибір будівельних матеріалів, добре організований контроль якості дозволять забезпечити раціональне використання матеріалів і високу якість дорожніх споруд. Інженер-будівельник повинен вміти: організувати надійну систему контролю якості матеріалів і виробів; розрахувати склад бетонних сумішей; знати і перевіряти параметри технологій виробництва; визначати основні властивості матеріалів і виробів. Це вміння досягається шляхом вирішування практичних завдань і прикладів, що є активною формою навчання і самостійної роботи студентів, сприяють розвитку творчого технічного мислення, закріпленню теоретичних знань.

### 1 Загальні властивості

Основним критерієм для використання будівельних матеріалів і виробів є їх технічні властивості (фізичні, механічні, хімічні, технологічні та експлуатаційні).

#### 1.1 Фізичні властивості

**Істинна густина** (або просто густина)  $\rho$  – границя відношення маси матеріалу  $m$  до об'єму  $V$ , тобто це маса одиниці об'єму матеріалу в абсолютно щільному стані (без пор і пустот):

$$\rho = m/V (\text{г/см}^3).$$

**Середня густина**  $\rho_m$  – визначається відношенням маси матеріалу  $m$  до об'єму  $V$ , включаючи пори та пустоти:

$$\rho_m = m/V.$$

Середня густина найчастіше вимірюється в кілограмах на кубічний метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), проте можна також використовувати одиниці  $\text{г}/\text{см}^3$  і  $\text{т}/\text{м}^3$ . У разі потреби середню густину встановлюють для матеріалів, що перебувають у будь-якому стані: зволоженому, повітряно-сухому або сухому (тобто висушеному до сталої маси).

**Насипна густина** – це відношення маси сипкого матеріалу до його об'єму, включаючи простір між частинками.

**Питома вага** у характеризується відношенням ваги тіла до його об'єму і тому залежить від прискорення вільного падіння. Питома вага виражається в ньютонках на кубічний метр ( $\text{Н}/\text{м}^3$ ) і дорівнює добутку істинної густини на прискорення вільного падіння. Цей показник використовують у розрахунках будівельних конструкцій, споруд тощо.

Таблиця 1.1

**Густина деяких будівельних матеріалів**

<b>Матеріал</b>	<b>Істинна густина, <math>\text{г}/\text{см}^3</math></b>	<b>Середня густина, <math>\text{кг}/\text{м}^3</math></b>	<b>Матеріал</b>	<b>Істинна густина, <math>\text{г}/\text{см}^3</math></b>	<b>Середня густина, <math>\text{кг}/\text{м}^3</math></b>
Граніт	2,65...2,80	2600...2800	Скло	2,45...2,65	2450...2650
Базальт	2,8...3,3	2800...3300	Піноскло	2,45...2,65	180...800
Бетон важкий	2,6...2,7	2000...2400	Пісок кварцовий	2,65	1450...1600 *
Бетон легкий	2,6...2,7	500...1800	Мінеральна вата	2,4...2,7	75...150
Цегла керамічна	2,65...2,70	1600...1800	Сталь	7,80...7,85	7800...7850
Каміння керамічне порожнисте	2,65...2,70	1000...1350	Дуб	1,55	700...900

Пінопласти	0,9...1,2	15...75	Сосна	1,55	400...600
------------	-----------	---------	-------	------	-----------

\* – *насипна густина, кг/м<sup>3</sup>*

**Коефіцієнт щільності**  $K_{щ}$  характеризує ступінь заповненості об'єму матеріалу твердою речовиною:

$$K_{щ} = \rho_m / \rho.$$

**Пористість**  $\Pi$  – це ступінь заповненості об'єму будівельного матеріалу порами розміром не більше 1...3 мм. Пористість по об'єму обчислюють за формулою

$$\Pi = (1 - \rho_m / \rho) \cdot 100 \text{ \%}.$$

У сумі пористість  $\Pi$  та коефіцієнт щільності  $K_{щ}$  дають одиницю, або 100 %.

Пористість є важливою характеристикою, оскільки з нею пов'язані такі технічні властивості матеріалу, як міцність, водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність тощо.

Самі пори можуть бути закритими, тобто недоступними для заповнення водою, і відкритими.

**Відкриту пористість**  $\Pi_в$  можна визначити відносно сумарного об'єму всіх пор, що насичуються водою, до загального об'єму матеріалу:

$$\Pi_в = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_в},$$

де  $m_2, m_1$  – маса зразка відповідно насиченого водою і в сухому стані, г;  $V$  – об'єм матеріалу, см<sup>3</sup>;  $\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$  – густина води при 4°C.

**Закрита пористість:**

$$\Pi_з = \Pi - \Pi_в.$$

Значення пористості коливаються в широких межах, %: скло, сталь – 0; цегла керамічна – 30...40; граніт, важкий бетон – 5...20; легкий бетон – 35...85; поропласти – 85...95.

**Пустотність** характеризується наявністю порожнин (пустот) у будівельних виробках (порожниста цегла, панелі) або між зернами в сипких

матеріалах (пісок, щебінь) і визначається в процентах від загального об'єму виробу чи матеріалу. Пустотність виробів сприяє зниженню маси будівельних конструкцій і поліпшенню теплозахисних властивостей. Приклади показника пустотності: керамічна порожниста цегла – 15...50 %, щебінь і пісок – 35...45 %.

### **Властивості по відношенню до води**

**Гігроскопічність** – здатність матеріалу поглинати водяну пару з повітря. Гігроскопічну вологу можна поділити на адсорбційно зв'язану, яка утримується сорбційними силами на поверхні пор, і капілярну, яка перебуває в мікропорах матеріалу. Якщо процес сорбції супроводжується хімічною взаємодією з матеріалом, то це явище називається **хемосорбцією** й іноді буває шкідливим.

**Капілярне всмоктування** пористими матеріалами відбувається за рахунок підняття вологи по капілярах, коли частина матеріалу (конструкції) перебуває у воді. Наприклад, ґрунтові води за відсутності гідроізоляції призводять до зволоження нижньої надземної частини будівель. Капілярне всмоктування характеризується висотою підняття вологи в капілярах матеріалу, об'ємом поглинутої води та інтенсивністю всмоктування.

**Водопоглинання** – здатність матеріалу всмоктувати й утримувати вологу при безпосередньому стиканні з водою за рахунок молекулярних і капілярних сил при атмосферному тиску.

**Водопоглинання за масою**  $W_m$  визначають як відношення кількості поглинутої матеріалом води до маси сухого матеріалу:

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 \%$$

де  $m_2$ ,  $m_1$  – маси матеріалу відповідно в насиченому водою та сухому стані, г.

**Водопоглинання за об'ємом**  $W_o$  характеризується ступенем заповненості пор матеріалу водою при насиченні й виражається відношенням об'єму поглинутої води до загального об'єму матеріалу в природному стані:

$$W_o = (m_2 - m_1 / V) \cdot 1 / \rho_w \cdot 100 \%$$

де  $m_2$ ,  $m_1$  – маса поглинутої води, г;

$V$  – об'єм матеріалу,  $\text{см}^3$ .

Величини  $W_m$  та  $W_o$  характеризують граничний випадок, коли будівельний матеріал більше не може всмоктувати вологу за звичайних умов.

**Коефіцієнтом водопоглинання** називають відношення об'єму поглинутої води до загального об'єму пор у досліджуваному матеріалі:

$$K_v = W_o / P.$$

Таким чином, водопоглинання матеріалу пов'язано з показником середньої густини, залежить від характеру пористості й коливається в широких межах для різних будівельних матеріалів: для керамічної цегли – 8...20 %, важкого бетону – 2...6 %, вапняку – 1,5...3 %, граніту – 0,02...0,70 % тощо.

**Водонасичення** – кількість води, яка всмоктується і утримується матеріалом при вакуумі або під тиском.

**Водостійкість** – це здатність матеріалу зберігати міцність при тимчасовому чи постійному зволоженні водою. Водостійкість характеризується **коефіцієнтом розм'якшення** або **водостійкості**, який визначається відношенням міцності насиченого водою матеріалу  $R_n$  до його міцності в сухому стані  $R_c$ :

$$K_p = R_n / R_c.$$

Водостійкими вважаються будівельні матеріали з коефіцієнтом розм'якшення понад 0,8. Це означає, що кам'яні природні та штучні матеріали з  $K_p < 0,8$  не можна застосовувати в місцях з підвищеною вологістю.

**Вологість**  $W$  визначається вмістом вологи в порах і на поверхні пор матеріалу за масою або об'ємом у відсотках. Цей вміст значно менший за показник водопоглинання. Вологість матеріалу в будівельних конструкціях залежить від вологості навколишнього середовища, атмосферних явищ (дощ, сніг). З підвищенням зволоження погіршуються теплозахисні властивості, морозостійкість та інші показники.

$$W = (m_1 - m) / m \cdot 100 \%,$$

де  $m_1$ ,  $m$  – маси відповідно вологого та сухого матеріалу, г.



**Вологовідача** – це здатність матеріалу віддавати воду із зміною температури та вологості навколишнього середовища. Ця здатність характеризується інтенсивністю втрат вологи за добу при відносній вологості навколишнього повітря 60 % і температурі 20 °С.

**Водопроникність** – це здатність матеріалу пропускати крізь себе воду при певному гідростатичному тиску. Ця здатність визначається кількістю води в кубічних метрах, що пройшла крізь одиницю поверхні матеріалу за одиницю часу при сталому (заданому) тиску. Водопроникність характеризується **коефіцієнтом фільтрації  $K_f$** , який вимірюється в метрах за секунду й залежить від щільності матеріалу та його будови.

**Паропроникність** – здатність матеріалу пропускати водяну пару за наявності різниці тиску біля поверхні огорожень. Паропроникність характеризується **коефіцієнтом паропроникності  $K_n$** , кг/(м·с·Па). Наприклад,  $K_n$  становить: для туфу –  $2,4 \cdot 10^{-3}$  кг/(м·с·Па), для важкого бетону –  $1,2 \cdot 10^{-8}$  кг/(м·с·Па), для цегли керамічної –  $2,24 \cdot 10^{-8}$  кг/(м·с·Па), для шлаковати –  $10,2 \cdot 10^{-8}$  кг/(м·с·Па).

**Гідрофільність** – це здатність матеріалу зв'язувати воду і змочуватися. Майже всі будівельні матеріали є гідрофільними, а пори в них легко заповнюються водою.

Основною причиною гідрофільності більшості будівельних матеріалів є природа їхньої поверхні. Водою добре змочуються матеріали, поверхня яких містить аніони або атоми, які здатні притягувати молекули води за рахунок утворення водневого зв'язку.

**Гідрофобність** – це здатність твердого тіла не змочуватися водою (відштовхувати воду). Проникнення води крізь пори, що мають гідрофобну внутрішню поверхню, значно ускладнене, хоча вони легко пропускають повітря та водяну пару. Гідрофобність матеріалів визначається, насамперед, хімічною природою його поверхні та рідини, що змочує її, тобто фаз, які взаємодіють. До гідрофобних матеріалів належать парафін, жирові мастила, бітум та інші.

Гідрофобізація сприяє підвищенню водонепроникності, водо- та морозостійкості, збереженню кольору та фактури будівельних матеріалів.

**Вологові деформації** – це здатність матеріалу змінювати свій об'єм із зміною вологості, що може спричинити появи деформацій і структурних напружень у матеріалі.

Властивість матеріалу при зволоженні (насиченні) водою збільшуватися в об'ємі називають **набуханням** (глина, деревина). Це явище пояснюється тим, що полярні молекули води, проникаючи між частинками речовини або волокнами, які утворюють матеріал, розклинують їх, знижують капілярні сили.

Із зменшенням вологості (з висиханням) деякі матеріали дають **усадку**, тобто зменшуються в об'ємі та розмірах (наприклад, паркет), оскільки часточки матеріалу зближуються під дією капілярних сил. Через нерівномірність висихання у матеріалі (наприклад, у цеглі-сирці) можуть виникати тріщини.

**Морозостійкість** – це здатність матеріалу в насиченому водою стані витримувати багаторазову зміну заморожування і відтавання без зниження міцності при стиску понад 15 % (для деяких матеріалів – до 25 %) і втрати маси не більш як 5 %. Марка за морозостійкістю характеризується оптимальним числом циклів заморожування – відтавання, які витримує випробуваний матеріал. Наприклад, цеглу керамічну випускають марок F15, F25, F35, F50, дорожній бетон – F50...F200, а гідротехнічний бетон – до F500 (цифри позначають число циклів).

Довговічність матеріалів у зовнішніх конструкціях, які в процесі експлуатації зазнають дії води, змінних температур та інших атмосферних факторів, значною мірою залежить від їхньої морозостійкості.

### **Властивості по відношенню до тепла**

**Теплопровідність** – це здатність матеріалу передавати теплоту від однієї поверхні до іншої за наявності різниці температур на цих поверхнях. Така здатність характеризується коефіцієнтом теплопровідності, Вт/(м·К),

$$\lambda = q \delta / \Delta T,$$

де  $q$  – поверхнева густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$\delta$  – товщина матеріалу, м;

$\Delta T$  – різниця температур на ділянці завтовшки  $\delta$ , К.

У табл. 1.2 наведено коефіцієнти теплопровідності деяких будівельних матеріалів.

Таблиця 1.2

**Теплопровідність будівельних матеріалів**

<i>Матеріал</i>	$\lambda$ , Вт/(м · К)	<i>Матеріал</i>	$\lambda$ , Вт/(м · К)
<i>Граніт</i>	2,8...3,0	<i>Арболіт</i>	0,098...0,830
<i>Туф вулканічний</i>	0,4...0,8	<i>Плити:</i>	
		<i>деревоволокнисті</i>	0,05...0,09
		<i>пробкові</i>	0,04...0,05
<i>Бетон:</i>		<i>Поропласти</i>	0,03...0,05
<i>важкий</i>	1,1...1,5		
<i>ніздрюватий</i>	0,15...0,40		
<i>Цегла керамічна</i>	0,7...0,8	<i>Перліт спучений</i>	0,046...0,070
<i>Каміння керамічне</i>	0,3...0,4	<i>Піноскло</i>	0,05...0,12
<i>порожнисте</i>			
<i>Сталь</i>	60	<i>Вата мінеральна</i>	0,040...0,046
<i>Алюміній і сплави</i>	150...170	<i>Совеліт</i>	Не більше 0,093

**Теплоємність** – це здатність матеріалу під час нагрівання поглинати теплоту. Вона характеризується **питомою теплоємністю (коефіцієнтом теплоємності)**, тобто кількістю теплоти, необхідної для нагрівання одиниці маси на один градус, Дж/(кг · К):

$$c = Q/m (t_2 - t_1),$$

де  $Q$  – кількість теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу, Дж;

$m$  – маса матеріалу, кг;

$t_2$  і  $t_1$  – відповідно кінцева та початкова температури нагрівання, К.

Для огорожувальних конструкцій житлових та опалюваних будівель вибирають матеріали з невеликим коефіцієнтом теплопровідності, але з вищою питомою теплоємністю.

**Теплостійкість** – це здатність матеріалу витримувати нагрівання до певної температури (нижчої за температуру плавлення) без переходу в пластичний стан.

**Термічна стійкість** – це здатність матеріалу витримувати зміну нагрівання і охолодження (певний цикл) без руйнування. Стійкими до різких змін температур мають бути матеріали для футерування (внутрішньої кладки) пічних агрегатів.

**Температурні деформації** – це здатність матеріалу під дією зміни температур у процесі експлуатації змінювати свої розміри (переважно розширюватися). **Температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР)** характеризує видовження 1 м матеріалу під час нагрівання на один градус і вимірюється в метрах на кельвін (м/К).

Показники ТКЛР деяких будівельних матеріалів, м/К:

алюміній –  $25,5 \cdot 10^{-6}$ ; сталь –  $(11,0...11,9) \cdot 10^{-6}$ ; бетон –  $(10...14) \cdot 10^{-6}$ ; граніт –  $(8...10) \cdot 10^{-6}$ ; скло –  $(3...5) \cdot 10^{-6}$ .

Для деяких силікатних матеріалів характерна **вогнева усадка**, тобто здатність змінювати свої розміри та об'єм внаслідок спікання чи оплавлення частинок під дією високих температур.

**Теплостійкість** – це здатність матеріалу витримувати дію високих температур або вогню й води (під час пожеж), не руйнуючись.

**Температуропровідність – (коефіцієнт температуропровідності)  $a$**  – це фізична величина, яка характеризує швидкість вирівнювання температури в матеріалі при змінному в часі тепловому режимі. Наприклад, для повітря в спокійному стані  $a=771 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ , для мінеральної вати  $a=8,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Теплозасвоєння** – це здатність поверхні матеріалу при нестационарному тепловому режимі тією чи іншою мірою сприймати теплоту під час періодичних коливань теплового потоку або температури навколишнього середовища.

Теплозасвоєння характеризується **коефіцієнтом теплозасвоєння  $s$** , що становить амплітуду коливання теплового потоку при коливаннях температури

на один градус. Коефіцієнт теплозасвоєння вимірюється у ватах на метр-кельвін  $[Вт/(м \cdot К)]$ . Найбільше теплозасвоєння мають важкі теплопровідні матеріали (граніт), а найменше – легкі теплоізоляційні матеріали (мінеральна вата тощо).

**Вогнестійкість** – це здатність матеріалу витримувати дію високих температур або вогню й води (під час пожеж), не руйнуючись.

**Границя вогнестійкості** характеризується терміном часу від початку займання до виникнення в конструкції граничного стану: втрати несучої здатності (обвалення конструкції), виникнення макротріщин, нагрівання протилежної щодо дії вогню поверхні, що може призвести до самозаймання.

**Вогнетривкість** – це здатність матеріалу витримувати тривалу дію високих температур, не деформуючись і не розплавляючись. Такі матеріали використовують переважно при спорудженні печей промислового та побутового призначення, труб, котельного обладнання тощо.

**Жаростійкість** – це здатність матеріалу витримувати тривале нагрівання до температури  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  без втрати або з частковою втратою міцності. До жаростійких матеріалів належать цегла, жаростійкий бетон, жаростійкі чавуни та сталь.

## 1.2 Механічні властивості

**Міцність** – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією різних зовнішніх навантажень. У процесі експлуатації будівель і споруд будівельні матеріали найчастіше зазнають напружень стиску, вигину, розтягу, зрізу та удару.

Будівельні матеріали по-різному сприймають різні навантаження. Це залежить від хімічного та мінералогічного складів матеріалу, структури, його будови.

Міцність будівельних матеріалів характеризується **границею міцності** при стиску, вигині тощо. Вона чисельно дорівнює напруженню в матеріалі, яке відповідає навантаженню, що призвело до руйнування зразка. Границя міцності для різних видів навантажень вимірюється в мегапаскалях (МПа).

**Границя міцності при осьовому стиску  $R_{cm}$**  Оскільки будівельні матеріали неоднорідні, то границя міцності визначається як середній результат випробування серії зразків (не менше трьох). Зразки будівельних матеріалів випробовують на спеціальних пресах до руйнування, а границю міцності при стиску, МПа, обчислюють за формулою

$$R_{cm} = P/F,$$

де  $P$  – руйнівне навантаження (сила), МН;

$F$  – площа поперечного перерізу зразка до випробування, м<sup>2</sup>.

Міцність матеріалу визначають в сухому стані.

Таблиця 1.3

**Міцність будівельних матеріалів**

Матеріал	Границя міцності, МПа		
	при стиску	при вигині	при розтягу
Сталь	-	-	380...450
Шлакостал	500...600	90...120	25...35
Граніт	100...250	14	8
Вапняк	5...150	7	0,5...4,0
Бетон важкий	15...80	0,5...10,0	1...4
Цегла керамічна	7,5...30,0	1,5...5,0	0,8...3,0
Сосна вздовж волокон	30...65	60...120	70...130
Плити деревно-волокнисті	-	0,4...20,0	-
Склопластики	250...400	240...550	220...350

Щоб оцінити порівняльну ефективність матеріалів, використовують **коефіцієнт конструктивної якості  $K_{к.я.}$** , який характеризується відношенням границі міцності при стиску або розтягу до середньої густини:

$$K_{к.я.} = R/\rho_m,$$

де  $R$  – границя міцності, МПа;

$\rho_m$  – середня густина.

Найефективнішими є матеріали, які поєднують у собі легкість і міцність. Наприклад, усереднений  $K_{к.я.}$  становить: для цегли – 11, важкого бетону – 21,

сталі – 52, сосни – 95, склопластик – 225. Чим вищий  $K_{к.я.}$ , тим ефективніший конструкційний матеріал.

**Границю міцності при вигині  $R_{\epsilon}$**  визначають на зразках у вигляді балочок квадратного або прямокутного перерізу розмірами, установленими відповідними стандартами, а також на натурних зразках (цегла, черепиця, азбестоцементні листи тощо).

Випробування на вигин виконують за схемою балки, встановленої на двох опорах при зосередженому навантаженні, прикладеному симетрично відносно осі балки, до її руйнування. Границя міцності при вигині, МПа:

якщо навантаження зосереджене й прикладене в центрі, то

$$R_{\epsilon} = 3Pl / (2bh^2);$$

якщо два навантаження прикладені симетрично відносно осі балки, то

$$R_{\epsilon} = 3P(l - a) / (bh^2),$$

де  $P$  – руйнівне навантаження, МН;  $l$  – відстань між опорами, м;

$b, h$  – відповідно ширина й висота поперечного перерізу зразка, м;

$a$  – відстань між точками прикладання двох навантажень, м.

**Границю міцності при осьовому розтягу  $R_{розт}$**  визначають за допомогою спеціальних приладів та машин, застосовуючи виготовлені з випробовуваного матеріалу зразки встановленої форми й розмірів (призм, круглих стержнів, стержнів прямокутного перерізу, вісімок, смуг), залежно від виду будівельного матеріалу. Зразки закріплюють у захватах приладів і піддають розтягу до моменту руйнування.

Для кам'яних матеріалів, металів, деревини та інших матеріалів границя міцності при розтягу, МПа,

$$R_{розт} = P/F,$$

де  $P$  – руйнівне навантаження, МН;

$F$  – площа перерізу зразка в найтоншому місці до випробування, м<sup>2</sup>.

**Твердість** – це здатність матеріалу чинити опір місцевим деформаціям, які виникають тоді, коли в нього проникають інші, твердіші тіла.

Твердість визначають, вдавлюючи в зразки з певним зусиллям сталеву кульку або наконечник. Ступінь твердості встановлюють за величиною відбитка. Число твердості (НВ) визначають відношенням прикладеного навантаження  $P$  до площі поверхні відбитка  $F$  і обчислюють за формулою, МПа,

$$HB = P/F.$$

**Стираність  $St$**  – це здатність матеріалу зменшуватися за масою і об'ємом при спільній дії абразивного матеріалу (кварцовий пісок, наждак) та стиральних зусиль. Стираність залежить від твердості матеріалу, характеризується втратою маси на одиницю площі стираної поверхні матеріалу й визначається за формулою, кг/м<sup>2</sup>,

$$St = (m_1 - m_2)/F,$$

де  $m_1, m_2$  – маси зразка відповідно до й після стирання, кг;

$F$  – площа стираної поверхні, м<sup>2</sup>.

Показник стираності має вирішальне значення під час вибору матеріалів для підлог, дорожніх покриттів, тощо.

Значення стираності деяких будівельних матеріалів, кг/м<sup>3</sup>: кварцит – 0,6...1,2; граніт – 1...5; клінкерна цегла – 2,2...4,3; керамічні плитки для підлог – 2,5...3,0; вапняк – 3...8; цементний розчин – 6...15.

**Опір удару** (або ударна в'язкість)  $R_{y\delta}$  – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією ударних навантажень. Природні та штучні кам'яні матеріали, які застосовують для влаштування доріг, підлог, фундаментів під молоти, зазнають у процесі експлуатації ударних навантажень.

Опір удару, або динамічна міцність,  $R_{y\delta}$ , Дж/м<sup>3</sup>, характеризується питомою роботою, яка витрачена на руйнування зразка матеріалу і віднесена до одиниці об'єму матеріалу; обчислюється за формулою

$$R_{y\delta} = nmgh/V,$$

де  $n$  – число ударів;  $m$  – вага гирі, кг;  $h$ , – висота її падіння, м;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $V$  – об'єм зразка, м<sup>3</sup>.



Ударна в'язкість металів визначається роботою, втраченою для ударного руйнування і віднесеною до робочої площі поперечного перерізу  $F$  зразка. Ударну в'язкість, Дж/м<sup>3</sup>, визначають для зразків металів на маятникових копрах за формулою

$$R_{y0} = nmgh/F.$$

**Опір зношуванню** визначають переважно для дорожніх матеріалів, а також матеріалів для підлог, які в процесі експлуатації зазнають одночасної дії стирання та ударів.

Зношування визначають у спеціальних барабанах з кулями за втратою маси завантаженого в прилад матеріалу.

**Деформативні властивості.** У будівельних конструкціях матеріали під дією зовнішніх сил зазнають деформації. До основних деформативних властивостей належать пружність, пластичність, крихкість тощо.

**Пружність** – це здатність твердого тіла деформуватися під дією зовнішніх сил і самочинно відновлювати початкову форму та об'єм, коли припиняється дія навантаження. Початкова форма може відновлюватися повністю або частково (коли навантаження великі). Пружну деформацію, яка повністю зникає із зняттям зовнішніх сил, називають оборотною. Якщо форма відновлюється частково, то у матеріалі є **залишкові деформації**.

**Границя пружності** – це те найбільше напруження, при якому залишкові деформації мають найменше (допустиме за нормами) значення, тобто матеріал практично зазнає оборотних пружних деформацій.

**Модуль пружності  $E$** , МПа, характеризує жорсткість матеріалу, тобто здатність його деформуватися під дією зовнішніх сил. Чим вище енергія міжатомних зв'язків у матеріалі, тим менше схильний він до деформацій і тим вищий його модуль пружності.

**Пластичність** – це здатність матеріалу під дією зовнішніх сил змінювати свою форму й розміри без руйнування й зберігати спотворену форму тоді, коли навантаження знято. Такі пластичні (залишкові) деформації називають **необоротними**.

**Крихкість** – це здатність матеріалів під впливом зовнішніх навантажень руйнуватися без попередніх пластичних деформацій, тільки-но зусилля, що діють на них, досягають граничних (руйнівних) значень. Ця властивість протилежна пластичності. Для крихких матеріалів характерні слабкий опір ударним навантаженням, а також великий розрив показників границі міцності при стиску та розтягу.

**Повзучість** – це здатність матеріалу при тривалому навантажуванні виявляти непружні деформації, які наростають. Для деяких матеріалів (бетону, гіпсових, азбестоцементних виробів тощо) ця здатність спостерігається при звичайних температурах, для металів – при підвищених.

**Утома** – це властивість матеріалу при тривалих змінних навантаженнях виявляти «утомленість» і руйнуватися при напруженнях, значно менших, ніж границя міцності.

**Релаксація** характеризується падінням напруження в матеріалі при сталій деформації, що зумовлюється поступовим переходом пружної деформації в пластичну.

### 1.3 Фізико-хімічні властивості

**Дисперсність** характеризується ступенем тонкого подрібнення твердого тіла та оцінюється показником питомої поверхні. До числа дисперсних будівельних матеріалів належать: цементи, гіпсові та інші мінеральні в'язучі, порошкоподібні добавки, пігменти тощо.

**Питому поверхню** дисперсного матеріалу виражають відношенням сумарної поверхні всіх часточок до одиниці маси,  $\text{м}^2/\text{кг}$ . Наприклад, цементи розмелюють до питомої поверхні, що дорівнює  $350 \dots 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Дисперсні матеріали можуть перебувати в різних середовищах: повітряному, рідкому й твердому, утворюючи при цьому **дисперсні системи**. Дисперсні системи, в яких часточки подрібненої речовини радіусом  $0,1 \dots 1,0 \text{ мкм}$  (дисперсна фаза) перебувають у рідині в зваженому стані й поступово

осідають під дією власної ваги, називають *суспензіями* (наприклад, глиняна суспензія). Системи, які містять у собі часточки радіусом 0,0001...0,0100 мкм, називають *колоїдними*. Осідання часточок під дією власної ваги при цьому не відбувається.

*В'язкість* зумовлюється внутрішнім тертям у рідині під час переміщення одного шару рідини відносно другого. Величини цих сил у різних рідинах і розплавах різні й зумовлюються їхніми властивостями. В'язкість характеризується *коефіцієнтом динамічної в'язкості*  $\eta$ , Па · с. Відношення  $\eta$  до істинної густини  $\rho$  рідини або розплаву називають *коефіцієнтом кінематичної в'язкості*, м<sup>2</sup>/с,

$$V = \eta / \rho.$$

*Мінеральним тістом* називають висококонцентровані водні суспензії глини, вапна, цементу та інших дисперсних мінеральних матеріалів.

Пластичність мінерального тіста зумовлюється механічними властивостями тонких шарів води, що прилягають до твердих дисперсних часточок, а також хімічними властивостями останніх.

*Пластичність мінерального тіста* – це здатність тістоподібної маси деформуватися без порушення суцільності під впливом механічних дій, які виявляються в процесі формування матеріалів і виробів.

*Когезія* – це показник внутрішнього зчеплення матеріалу, зумовлений міжмолекулярними силами зчеплення (когезійними силами). Когезія характеризується міцністю зчеплення при розриві структурних утворень, що виникають у процесі створення матеріалу (наприклад, у затверділому цементі).

*Адгезія* – це показник зовнішнього зчеплення матеріалів один з одним на поверхні їх контакту. Адгезія характеризується міцністю зовнішнього зчеплення між структурними утвореннями різних матеріалів. Когезія й адгезія зумовлюються хімізмом процесів, що відбуваються, властивостями структурних утворень, будовою матеріалу, характером його поверхні й істотно впливають на міцність будівельних матеріалів і конструкцій.

**Здатність до твердіння** характерна для певної групи матеріалів, які називають **в'язучими речовинами**. Вони, перебуваючи в робочому стані у вигляді пластичного тіста, за певних умов переходять до твердого стану.

Твердіння мінеральних в'язучих – це здатність їх внаслідок змішування з водою утворювати в'язке тісто, яке з часом самочинно переходить до каменеподібного стану, тобто твердне, набуваючи при цьому певної міцності. Затвердіваючи, в'язуча речовина скріплює в єдине ціле пісок, щебінь, гравій, арматуру, які вводяться в мінеральне тісто. В результаті дістають такі матеріали, як будівельний розчин, бетон, залізобетон.

**Здатність до емульгування** характеризується властивістю деяких матеріалів утворювати з водою рідкі дисперсії – емульсії. **Емульсією** називають систему з двох незмішуваних рідин, одна з яких у вигляді найдрібніших краплин (дисперсна фаза) рівномірно розподілена в другій (дисперсне середовище). Для того щоб емульсія не розшаровувалася, до неї під час приготування вводять спеціальні речовини – емульгатори. **Емульгатори** – це поверхнево-активні речовини, які адсорбуються на поверхні поділу фаз, знижуючи її поверхневий натяг.

#### 1.4 Хімічні властивості

**Стійкість щодо дії мінералізованих середовищ.** Під мінералізованими середовищами розуміють морські, ґрунтові та дренажні води з підвищеним вмістом розчинів деяких солей, наприклад магнезійних, а також середовища, які містять мінеральні добрива.

Стійкість щодо дії мінералізованих середовищ характеризується здатністю матеріалу працювати в таких середовищах без або з частковим зниженням міцності та маси, що допускається відповідними нормативними документами, і зумовлюється хімічною природою будівельних матеріалів.

**Кислотостійкість** – це здатність матеріалу чинити опір дії кислот, яка оцінюється втратою маси зразка матеріалу, витриманого в кислоті певної концентрації.

**Лугостійкість** – це здатність матеріалу чинити опір дії лугів практично без руйнування.

**Токсичність** – це здатність матеріалу в процесі виготовлення й особливо експлуатації за певних умов виділяти шкідливі для здоров'я людини (отруйні) речовини. Деякі будівельні матеріали не дозволяється використовувати, наприклад, у житлових приміщеннях, дитячих закладах тощо. Зокрема це стосується ряду матеріалів, виготовлених на основі синтетичних смол (полімерів).

### 1.5 Технологічні властивості

**Технологічність.** Технологічними вважаються будівельні матеріали, для виготовлення яких можна використовувати різноманітні технологічні прийоми (методи). Технологічність сприяє розширенню номенклатури будівельних матеріалів. До числа технологічних матеріалів можна віднести, наприклад, полімерні матеріали, деревину тощо.

**Полірувальність** – це здатність матеріалу сприймати обробку тонкими абразивними матеріалами (полірування). При цьому створюється гладенька блискуча поверхня і найяскравіше виявляються декоративні властивості матеріалу. Найчастіше поліруванню піддаються природні кам'яні матеріали, які застосовуються для облицювання (мармур, граніт, кварцит тощо).

**Подрібнюваність** характеризує здатність матеріалу дрібнитися внаслідок механічної дії переважно ударних навантажень, утворюючи зернистий матеріал у вигляді щебеню та піску. Дрібнення можна виконувати також, використовуючи дію електричного струму, термічного удару, електрогідравлічного ефекту тощо.

**Гвоздимість** – здатність матеріалу утримувати цвяхи і шурупи за певних умов висмикування. Гвоздимість – важлива технічна властивість, особливо для стінових матеріалів, які застосовуються у житловому будівництві. Висока гвоздимість притаманна деревині.

**Оброблюваність** – це узагальнене поняття, що характеризує здатність матеріалу піддаватися обробці різними інструментами (розколювання, ударна обробка поверхні, тесання тощо), внаслідок якої майже повністю зберігається структура й властивості вихідного матеріалу. Обробки зазнають переважно природні кам'яні матеріали, бетони, деревина та інші матеріали.

**Розпилюваність** – це здатність будівельних матеріалів сприймати пиляння без істотного порушення структури. Добру розпилюваність мають деревина та вироби на основі деревних відходів, м'які гірські породи тощо.

**Абразивність.** До абразивних належать надтверді будівельні матеріали з високою міцністю, які застосовують для поверхневої обробки (шліфування, полірування) або розпилювання (пили з абразивним ободом) щільних, міцних і твердих матеріалів, наприклад, природних кам'яних матеріалів.

**Формовуваність** характеризує здатність матеріалу набирати певної (заданої) форми внаслідок різних механічних впливів (пресування, видавлювання, прокатування, вібрування). Формовуваність залежить від в'язкопластичних властивостей вихідних мас (глиняне тісто, бетонна суміш, полімерні маси, азбестоцементні суміші тощо).

**Розшаровуваність** – це здатність пластично-в'язких матеріалів змінювати (погіршувати) однорідність будови при тривалому зберіганні, перевезенні, ущільненні та інших операціях. Наприклад, у процесі вібрування рухливих бетонних сумішей відбувається зближення зерен заповнювачів, а вода вичавлюється вгору. За певних умов може відбуватися розшаровування дисперсних систем – суспензій та емульсій, особливо при тривалому зберіганні.

**Злежуваність** характерна для дисперсних матеріалів, які під час тривалого зберігання схильні до грудкування, ущільнення, втрати сипкості (гіпсові в'яжучі, цементи тощо).

## 1.6 Спеціальні властивості

**Декоративність** характеризується спеціальними естетичними властивостями будівельних облицювальних матеріалів різного походження, такими як колір, блиск, малюнок, фактура тощо. Ці властивості зберігаються тривалий час у процесі експлуатації.

**Акустичні властивості.** Розрізняють такі акустичні властивості: звукопоглинання, звукоізоляція, звукопроникність.

**Звукопоглинання** – це здатність матеріалу поглинати звукові хвилі, що падають на нього. **Звукопоглинальні** матеріали характеризуються великою пористістю з переважанням сполучених та розгалужених пор і призначені для зниження шуму в приміщеннях.

**Звукоізоляція** – це здатність матеріалу чинити опір проходженню звукової хвилі. Ця здатність характеризується ступенем зниження рівня звукового тиску внаслідок проходження звуку крізь конструкцію.

**Звукопроникність** – це здатність матеріалу пропускати звукові хвилі.

**Електропровідність** характеризує здатність матеріалу проводити електричний струм і оцінюється питомою електричною провідністю в сименсах на метр (см/м).

**Прозорість** – це здатність матеріалу пропускати світлові промені, яка забезпечує наскрізну видимість.

**Газопроникність.** Якщо існує різниця тиску газів (повітря) біля зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни споруди або тиск однаковий, а температури газів різні, то відбувається переміщення їх крізь пори й тріщини матеріалу, тобто спостерігається явище газопроникності.

Газопроникність оцінюється **коефіцієнтом газопроникності**  $K_2$ , кг/(м·с·Па), який визначається масою газу, що пройшов крізь 1 м<sup>2</sup> площі поверхні шару матеріалу завтовшки 1 м за одиницю часу (1 с), коли різниця тиску газу 1 МПа. Коефіцієнтом газопроникності  $K_2$ , кг/(м·с·Па), деяких будівельних матеріалів: туф –  $15,3 \cdot 10^{-6}$ ; цегла керамічна –  $1,27 \cdot 10^{-6}$ ; бетон важкий –  $0,11 \cdot 10^{-6}$ ; сосна –  $0,82 \cdot 10^{-6}$ .

**Радіаційна непроникність** – це здатність будівельного матеріалу бути захистом від радіоактивних впливів.

### 1.7 Експлуатаційні властивості

**Атмосферостійкість** – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією атмосферних факторів: нагрівання (вдень) та охолодження (вночі); змочування та висушування; дії пилу, газів, які містяться в атмосфері тощо.

**Повітростійкість** – це складовий елемент атмосферостійкості. Під повітростійкістю звичайно розуміють здатність матеріалу витримувати багаторазове гігроскопічне зволоження й висушування, при яких не спостерігається деформацій, втрати міцності, не знижується несуча здатність матеріалу.

**Біостійкість** – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під впливом біологічних процесів, які можуть виникати під час експлуатації споруд. Причиною біологічних процесів є життєдіяльність моху, лишайників (руйнування бетону, деяких природних кам'яних матеріалів), грибових організмів (гниття деревини) тощо.

**Корозійна стійкість** – це узагальнене поняття стійкості матеріалу щодо руйнування або погіршення якості від спільної дії різних факторів і процесів (атмосферні фактори, хімічні та електрохімічні процеси, біологічне руйнування, забрудненість тощо).

**Старіння** характеризується зміною в часі структури та якості будівельних матеріалів (металів, бітумів, полімерних матеріалів тощо) під дією різних факторів у процесі експлуатації. Старіння, як правило, супроводжується появою тріщин, підвищенням крихкості, потьмянінням, вицвітанням та іншими явищами, які знижують якість матеріалу.

**Надійність** – це узагальнена характеристика матеріалу, що складається з таких взаємопов'язаних властивостей, як довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність і схоронність.



**Довговічність** – це здатність матеріалу служити довгий час у конкретних кліматичних і виробничих умовах у встановленому режимі експлуатації без втрати експлуатаційних якостей. Довговічність характеризує властивість матеріалу (виробу) з необхідними перервами на ремонт зберігати робочу здатність до граничного стану, який характеризується ступенем руйнування виробу, вимогами безпеки й економічної доцільності. Довговічність оцінюють допустимим строком служби.

**Безвідмовність** характеризується властивістю матеріалу чи виробу за певних режимів і умов експлуатації зберігати працездатність протягом певного часу без вимушених перерв на ремонт.

**Ремонтпридатність** – це властивість виробу сприймати ремонт і налагодження, внаслідок яких відновлюється й зберігається його технічна характеристика (якість виробу). Показниками ремонтпридатності є середній час, трудомісткість та вартість ремонту.

**Схоронність** – це здатність матеріалу не втрачати якісних показників протягом і після строків зберігання й транспортування, установлених технічною документацією. Оцінюється періодом зберігання до виникнення несправності.

**Гігієнічність** характеризує здатність матеріалу сприймати багатократне очищення, миття робочої поверхні, не знижуючи своїх якостей.

**Транспортабельність** – це здатність матеріалу чи виробу без спеціальної тари та упаковки переносити завантажування, транспортування й розвантажування без порушень структурної цілісності, появи тріщин, відколів тощо.

## **1.8 Приклади рішення задач**

**1.8.1** Маса зразка каменю неправильної форми становить на повітрі  $m=80$  г (у сухому стані). Після покриття поверхні зразка парафіном маса його у воді склала  $m_e=37$  г. На парафування зразка витрачено парафіну  $m_n=0,75$  г (густина парафіну  $\rho_n=0,9$  г/см<sup>3</sup>). Обчислити середню густину каменю (густину води прийняти  $\rho_B=1$  г/см<sup>3</sup>).

**Розв'язання:**

Об'єм парафіну на покриття каменю

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n} = \frac{0,75}{0,9} = 0,833 \text{ см}^3.$$

Об'єм зразка

$$V = \frac{m - m_B}{\rho_B} - V_n = \frac{80 - 37}{1} - 0,833 = 42,167 \text{ см}^3.$$

Середня щільність каменя

$$\rho_m = \frac{m}{V} = \frac{80}{42,167} = 1,89 \text{ г/см}^3.$$

**1.8.2** Маса циліндричного зразка гірської породи діаметром 5 см і висотою 5 см становить у сухому стані 245 г. Після насичення водою його маса збільшилась до 249 г. Визначити середню густину каменю і його водопоглинання (за об'ємом  $W_o$  та за масою  $W_m$ ).

**Розв'язання:**

Об'єм зразка

$$V = \pi r^2 h = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 5 = 98,125 \text{ см}^3.$$

Середня щільність

$$\rho_m = \frac{245}{98,125} = 2,496 \text{ г/см}^3.$$

Водопоглинання за масою  $W_m$  визначають як відношення кількості поглинутої матеріалом води до маси сухого матеріалу:

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 \% = (249 - 245) / 245 \cdot 100 \% = 1,635 \%$$

де  $m_2$ ,  $m_1$  – маси матеріалу відповідно в насиченому водою та сухому стані, г.

Водопоглинання за об'ємом :

$$W_o = \rho_m \cdot W_m = 2,496 \cdot 1,635 = 4,08 \%$$

**1.8.3** Маса каменю в сухому стані  $m = 77$  г, а після насичення водою  $m_e = 79$  г. Обчислити середню густину, пористість каменю, якщо його істинна густина  $\rho = 2,67$  г/см<sup>3</sup>, а об'ємне водопоглинання  $W_o = 4,28$  %.

**Розв'язання:**

Водопоглинання за масою

$$W_m = \frac{79 - 77}{77} \cdot 100 = 2,6 \%$$

Середня густина

$$\rho_m = W_o / W_m = 4,28 / 2,6 = 1,645 \text{ г/см}^3$$

Пористість

$$П = (1 - \rho_m / \rho) \cdot 100 \% = (1 - 1,645 / 2,67) = 38,4 \%$$

**1.8.4** Середня густина матеріалу в повітряно-сухому стані становить  $\rho_m=1400 \text{ кг/м}^3$ , а вологість, встановлена шляхом висушування  $W_o = 3 \%$  за об'ємом. Після насичення матеріалу водою під тиском його середня густина збільшилась до  $\rho_m=1700 \text{ кг/м}^3$ . Встановити відкриту пористість матеріалу.

**Розв'язання:**

Кількість води, яка міститься в  $1 \text{ м}^3$  повітряно-сухого матеріалу, складає  $3 \%$  або  $0,03 \cdot 1000 = 30 \text{ кг}$ . Маса  $1 \text{ м}^3$  висушеного матеріалу  $1400 - 30=1370 \text{ кг}$ . Об'єм поглинутої під тиском води  $1700 - 1370=330 \text{ кг}$ . Оскільки насичення було під тиском, то об'єм відкритих пор повинен бути рівний об'єму поглинутої води,  $330 \text{ кг}$ . Відкрита пористість складає  $330/1000=0,33$  або  $33 \%$ .

**1.8.5** Автомобільна дорога має ширину проїжджої частини  $7,5 \text{ м}$ ; товщину щєбеневої основи  $20 \text{ см}$ . Коефіцієнт ущільнення щєбеню  $K_{уц}=1,2$ ; коефіцієнт можливих витрат  $K_{\epsilon}=1,04$ . Щєбінь фракції  $20...10 \text{ мм}$  має насипну густину  $\rho_n=1550 \text{ кг/м}^3$ . Середня густина зерен гранітного щєбеню  $\rho_m=2670 \text{ кг/м}^3$ . Скільки буде потрібно щєбеню по масі і об'єму і вагонів ( $60 \text{ т}$ ) для його перевезення для будівництва  $1 \text{ км}$  основи?

**Розв'язання:**

Об'єм щєбеневої основи в ущільненому стані:

$$V_{уц}=1000 \cdot 7,5 \cdot 0,20 = 1500 \text{ м}^3$$

Об'єм щєбеня в насипному стані:

$$V=1500 \cdot 1,2 = 1800 \text{ м}^3.$$

Витрати по об'єму:

$$\text{Щ}_v=1800 \cdot 1,04 = 1872 \text{ м}^3.$$

Витрати по масі:

$$\text{Щ}_m=1872 \cdot 1550 = 2901600 \text{ кг} = 2902 \text{ т}.$$

Необхідна кількість вагонів (60 т):

$$n = 2902/60 = 48,3 \text{ тобто } 49 \text{ вагонів}.$$

**1.8.6** Ширина проїжджої частини автомобільної дороги 7,5 м, товщина щелевеної основи 18 см. Коефіцієнт ущільнення щебеню  $K_{ущ}=1,2$ ; коефіцієнт втрат  $K_{\epsilon}=1,04$ . Поставлено 100 вагонів щебеню (60 тонн), причому його обсяг у кожному вагоні – 50 м<sup>3</sup>, пористість – 45 %, середня густина зерен  $\rho_m=2670$  кг/м<sup>3</sup>. Скільки кілометрів основи можна побудувати?

**Розв'язання:**

В формулу для визначення пористості

$$V_{пуст} = (1 - \rho_n/\rho_m) \cdot 100.$$

Підставимо відомі значення величин і визначимо насипну густину:

$$45 = (1 - \rho_n/2670) \cdot 100, \text{ тоді } \rho_n = 1470 \text{ кг/м}^3.$$

Об'єм щебеню у вагоні:

$$V_{щ} = 60000/1470 = 40,8 \approx 41 \text{ м}^3;$$

60000 – це вага в кг щебеню в 1 вагоні.

Об'єм щебеню, який постачається:

$$V_{щ} = 100 \cdot 41 = 4100 \text{ м}^3.$$

Об'єм побудованої щелевеної основи:

$$V_{осн} = 4100/(1,2 \cdot 1,04) = 3285 \text{ м}^3.$$

Кількість погонних метрів щелевеної основи:

$$L=3285/(7,5 \cdot 0,2) = 2190 \text{ м} = 2,19 \text{ км}.$$

**1.8.7** Гідравлічний прес має вимірювальні шкали на 50, 150 і 300 тонн (максимальні навантаження, які досягаються цим пресом). Підібрати шкалу для

визначення міцності на стиск бетону в зразках-кубиках з ребром 20 см після 28 діб нормального твердіння. Проектна марка бетону 400 кГ/см<sup>2</sup>.

**Розв'язання:**

Якщо марка бетону 400 навантаження

$$H = R \cdot F = 400 \cdot 20 \cdot 20 = 160000 \text{ кГ} = 160 \text{ тонн.}$$

Ось чому прес потрібно налаштувати на шкалу 300 тонн.

**1.8.8** Міцність при стиску сухої цегли  $R_{ст. сух} = 200$  кГ/см<sup>2</sup>, а після насичення водою  $R_{ст. нас} = 120$  кГ/см<sup>2</sup>. При насиченні водою цегли встановлено, що його об'ємне водопоглинання 20 %, а відкрита пористість 28 %. Визначити, чи є дана цеглина морозостійкою і чи можливо її застосовувати для фундаментів стін.

**Розв'язання:**

Коефіцієнт розм'якшення

$$K_{розм} = \frac{R_{ст. нас}}{R_{ст. сух}} = \frac{120}{200} = 0,6.$$

Матеріали, які мають коефіцієнт розм'якшення менш ніж 0,8 належать до неводостійких, а тому їх застосовувати забороняється.

Оскільки вода займає менш ніж 90 % об'єму пор (в даному випадку лише 72 %), то в першому наближенні матеріал можна віднести до морозостійких. Але для кінцевого розв'язання слід провести додаткові випробування і, частково, на зміни міцності при заморожуванні.

**1.8.9** Виготовлена серія бетонних кубиків і витримана на морозостійкість. При потрібній марці морозостійкості Мрз 50 середня міцність кубиків після 50 циклів змінного заморожування і відтаювання отримали  $R_{мрз} = 240$  кГ/см<sup>2</sup>. Середня міцність зразків, що не піддавалися заморожуванню, була рівною  $R = 300$  кГ/см<sup>2</sup>. Встановити, чи морозостійкий досліджений бетон.

**Розв'язання:**

Коефіцієнт морозостійкості бетону

$$K_{мпз} = \frac{R_{мпз}}{R} = \frac{240}{300} = 0,8.$$

Матеріали, які мають коефіцієнт морозостійкості 0,8 і більше належать до морозостійких.

**1.8.10** Визначити місткість, довжину і площу штабельного складу щебеню, необхідного для 10-добової роботи бетонного заводу з добовою витратою  $m_{доб} = 600$  т. Висота штабелю  $h = 4$  м. Кут нахилу щебеню  $\beta = 35^\circ$ . Насипна густина щебеня  $\rho_n = 1450$  кг/м<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

При розрахунках місткості складу заповнювачів використовують формулу:

$$V_{зан} = V_{доб} \cdot \tau_{зб} \cdot 1,2 \cdot 1,02,$$

де  $V_{доб}$  – добова витрата матеріалів, м<sup>3</sup>;  $\tau_{зб}$  – нормативний запас матеріалів; 1,2 – коефіцієнт розрихлення; 1,02 – коефіцієнт, який враховує витрати при транспортуванні.

$$V_{доб} = m_{доб} / \rho_n = 600 / 1,45 = 413,7 \text{ м}^3;$$

$$V_{зан} = 413,7 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 1,02 = 5063,7 \text{ м}^3.$$

Довжину штабельного складу знаходять за формулою

$$L_{скл} = V_{зан} \cdot \text{tg}\beta / h^2,$$

де  $\beta$  – кут нахилу матеріалу в штабелі,

$$L_{скл} = \frac{5063,7 \cdot 0,699}{16} = 221,2 \text{ м}.$$

Площа складу визначається за формулою

$$S = \frac{2L_{скл} \cdot h}{\text{tg}\beta};$$

$$S_{скл} = \frac{2 \cdot 221,2 \cdot 4}{0,699} = 2531,6 \text{ м}^2.$$

**1.8.11** Розрахувати об'єм бункерів закритого складу заповнювачів, які забезпечують загальний нормативний запас на  $t = 10$  діб роботи бетонного заводу з добовим випуском бетонної суміші  $V_{доб} = 500$  м<sup>3</sup>. Витрати піску і гравію на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші (з урахуванням виробничих втрат) складає відповідно  $\Pi$

=712 кг/м<sup>3</sup> і  $\Gamma=1320$  кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт заповнення бункерів 0,9. Насипна густина піску  $\rho_{н.п.} = 1500$  кг/м<sup>3</sup> і гравію  $\rho_{н.г.} = 1400$  кг/м<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Нормативний запас заповнювачів:

піску по масі:

$$\Pi_n = V_{\text{доб}} \cdot t \cdot \Pi = 500 \cdot 10 \cdot 0,712 = 3560 \text{ т};$$

гравію по масі:

$$\Gamma_n = V_{\text{доб}} \cdot t \cdot \Gamma = 500 \cdot 10 \cdot 1,32 = 6600 \text{ т};$$

піску по об'єму:

$$V_{\text{доб}} = \Pi_n / \rho_{н.п.} = 3560 / 1,5 = 2380 \text{ м}^3;$$

гравію по об'єму:

$$V_{\text{доб}} = \Gamma_n / \rho_{н.г.} = 6600 / 1,4 = 4360 \text{ м}^3.$$

З поправкою на коефіцієнт заповнення 0,9 необхідні об'єми бункерів складу піску ( $V_{\text{б.п.}}$ ) і гравію ( $V_{\text{б.г.}}$ ) будуть відповідати:

$$V_{\text{б.п.}} = 2380 / 0,9 = 2650 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{б.г.}} = 4360 / 0,9 = 4840 \text{ м}^3.$$

**1.8.12** Визначити середню густина кам'яного зразка неправильної форми, якщо при зважуванні його на повітрі, отримали масу  $m_c=100$  г, а у воді  $m_B=55$  г. До зважування у воді зразок парафінували, маса парафінованого зразка  $m_{н.з.}=101,1$  г. Густина парафіну  $\rho_n=0,93$  г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Об'єм парафінованого зразка по закону Архімеда дорівнює втраті його маси при зважуванні у воді, т. ч. при густині води  $\rho_e = 1$  г/см<sup>3</sup>:

$$V_{н.з.} = \frac{m_{н.з.} - m_c}{\rho_e} = 101,1 - 55 = 46,1 \text{ см}^3.$$

Маса парафіну

$$m_n = m_{н.з.} - m_c = 101,1 - 100 = 1,1 \text{ г},$$

а об'єм його

$$V_n = m_n / \rho_n = 1,1 / 0,93 = 1,18 \text{ см}^3.$$

Об'єм непарафінованого зразка

$$V_o = V_{n.z} - V_n = 46 - 1,18 = 44,82 \text{ см}^3.$$

Середня густина кам'яного зразка

$$\rho = m_o / V_o = 100 / 44,82 = 2,23 \text{ г/см}^3.$$

**1.8.13** Зовнішня стінова панель з газобетону має розміри  $3,1 \times 2,9 \times 0,3 \text{ м}$  і масу  $m_n = 2160 \text{ кг}$ . Визначити пористість газобетону, приймаючи значення істинної густини  $\rho = 2,81 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язання:**

Об'єм панелі

$$V_n = 3,1 \cdot 2,9 \cdot 0,3 = 2,7 \text{ м}^3.$$

Середня густина газобетону

$$\rho_m = m_n / V_n = 2160 / 2,7 = 800 \text{ кг/м}^3.$$

Пористість газобетону

$$P = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{800}{2810}\right) \cdot 100 = 71,5 \%$$

**1.8.14.** Зразок з газобетону розміром ребер  $a = 20 \text{ см}$ , занурений у воду, плаває. Висота над рівнем води в перший момент складає  $h = 6,5 \text{ см}$ . Визначити пористість газобетону, якщо його істинна густина  $\rho = 2,79 \text{ г/см}^3$ . Поглинанням води зразком при цьому можна знехтувати.

**Розв'язання:**

Маса (об'єм) води, яка витиснена зразком газобетону, рівна масі зразка. Оскільки висота зразка над рівнем води  $6,5 \text{ см}$ , значить, він погрузився на

$$h_1 = 20 - 6,5 = 13,5 \text{ см}$$

і витіснив при цьому води:

$$V_e = 20 \cdot 20 \cdot 13,5 = 5400 \text{ см}^3.$$

Таким чином, маса зразка

$$m_s = 5400 \text{ г}, \text{ або } 5,4 \text{ кг}.$$

Об'єм зразка-куба



$$V_3 = 20 \cdot 20 \cdot 20 = 8000 \text{ см}^3.$$

Середня густина газобетону

$$\rho_3 = m_3 / V_3 = 5400 / 8000 = 0,68 \text{ г/см}^3, \text{ або } 680 \text{ кг/м}^3.$$

**1.8.15** Кузов машини розміром  $2,8 \times 1,8 \times 0,6$  м заповнений на  $2/3$  своєї висоти щебенем. Маса автомашини без щебеню  $m_a = 3$  т, зі щебенем  $m_{\text{ащ}} = 5,86$  т. Розрахувати насипну густина щебеню і його пустотність. Істинна густина  $\rho_{\text{щ}} = 2,700 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язання:**

Об'єм щебеню

$$V_{\text{щ}} = (2,8 \cdot 1,8 \cdot 0,6) \cdot 2/3 = 2 \text{ м}^3.$$

Маса щебеню

$$m_{\text{щ}} = m_{\text{ащ}} - m_a = 5,86 - 3 = 2,86 \text{ т}.$$

Насипна густина щебеню

$$\rho_{\text{н.щ}} = m_{\text{щ}} / V_{\text{щ}} = 2860 / 2 = 1430 \text{ кг/м}^3.$$

Пустотність щебеню

$$P = \left( 1 - \frac{\rho_{\text{н.щ}}}{\rho_{\text{щ}}} \right) \cdot 100 = \left( 1 - \frac{1430}{2700} \right) \cdot 100 = 47 \%$$

**1.8.16** Маса сухої речовини  $m = 90,9$  кг. При вологості речовини до деякої початкової вологості маса її підвищилась до  $m_e = 100$  кг. Якою повинна бути маса речовини при вологості її до  $W = 20$  % ?

**Розв'язання:**

Знаходимо початкову вологість речовини:

$$W = \frac{m_e - m}{m} \cdot 100 = \frac{100 - 90,9}{90,9} \cdot 100 = 10 \%$$

Масу речовини  $m_{e20}$  при  $W = 20$  % знайдемо з виразу вологості:

$$m_{e20} = \frac{W \cdot m + m_e \cdot m}{100} = \frac{20 \cdot 90,9 + 100 \cdot 90,9}{100} = 109,08.$$

**1.8.17** Повітряно-суха деревина при вологості  $W = 20\%$  має середню густину  $\rho_{mw} = 670 \text{ кг/м}^3$ . При насиченні її під тиском середня густина збільшилась до  $\rho_{mwl} = 1300 \text{ кг/м}^3$ . Визначити відкриту пористість деревини.

**Розв'язання:**

Маса  $1 \text{ м}^3$  абсолютно сухої деревини:

$$\rho_m = \rho_{mw} - \frac{\rho_{mw} \cdot W}{100} = 670 - \frac{670 \cdot 20}{100} = 536 \text{ кг.}$$

Кількість поглинутої води

$$m_e = \rho_{mwl} - \rho_m = 1300 - 536 = 764 \text{ кг, або } V_e = 0,764 \text{ м}^3.$$

Об'єм води, поглинутої під тиском, відповідає об'єму відкритих пор у деревині.

Відкрита пористість деревини

$$P = V_e \cdot 100 = 0,764 \cdot 100 = 76\%.$$

**1.8.18** Водопоглинання бетону по масі і об'єму дорівнюють відповідно  $W_m = 4,2\%$  і  $W_o = 9,5\%$ . Знайти загальну пористість бетону при його істинній густині  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язання:**

$$W_o = \rho_m \cdot W_m,$$

середня густина бетону

$$\rho_m = W_o / W_m = 9,5 / 4,2 = 2,26 \text{ г/см}^3, \text{ або } \rho_m = 2260 \text{ кг/м}^3.$$

Загальна пористість бетону

$$P = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 = \frac{2700 - 2260}{2700} \cdot 100 = 16,2\%.$$

**1.8.19** Маса зразку – каменю з істинною густиною  $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$  в сухому стані  $m = 100 \text{ г}$ . Після водонасичення маса складала  $m_n = 110 \text{ г}$  і об'ємне водопоглинання  $W_o = 20\%$ . Визначити пористість каменю.

**Розв'язання:**

Водопоглинання по масі

$$W_m = \frac{m_n - m}{m} \cdot 100 = \frac{110 - 100}{100} \cdot 100 = 10 \%$$

Середня густина каменю

$$\rho_m = W_o / W_m = 20 / 10 = 2,$$

що відповідає

$$\rho_m = 2 \text{ г/см}^3, \text{ або } \rho_m = 2000 \text{ кг/м}^3.$$

Пористість каменю

$$П = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2}{2,5}\right) \cdot 100 = 20 \%$$

**1.8.20** Визначити коефіцієнт насичення пор цеглини розмірами  $250 \times 120 \times 65$  мм з істинною густиною  $\rho = 2,6 \text{ г/см}^3$  і масою в сухому стані  $m = 3,5$  кг, якщо після витримування у воді маса цеглини була рівною  $m_n = 4$  кг.

**Розв'язання:**

Коефіцієнт насичення  $k_n$  дорівнює співвідношенню водопоглинання по об'єму до пористості речовини.

Водопоглинання цеглини по масі:

$$W_m = \frac{m_n - m}{m} \cdot 100 = \frac{4 - 3,5}{3,5} \cdot 100 = 14,3 \%$$

Об'єм цеглини

$$V_k = 25 \times 12 \times 0,65 = 1950 \text{ см}^3.$$

Середня густина цеглини

$$\rho_m = \frac{m}{V_k} = \frac{3500}{1950} = 1,8 \text{ г/см}^3, \text{ або } 1800 \text{ кг/м}^3.$$

Водопоглинання цеглини по об'єму

$$W_o = W_m \rho_m = 14,3 \cdot 1,8 = 25,7 \%$$

Загальна пористість цеглини

$$П = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,8}{2,6}\right) \cdot 100 = 30,8 \%$$

Коефіцієнт насичення

$$k_n = \frac{W_o}{П} = \frac{25,7}{30,8} = 0,83.$$

**1.8.21** Визначити границю міцності при стиску: а) зразків-кубів бетону, кладочного розчину, природного каменю; б) складені зразки цеглин; в) половини призми з цементно-піщаного розчину. Руйнуюче навантаження  $F$ , кН: для природного каменю – 600, для бетону – 500, для деревини – 8, для цеглини – 145, для цементно-піщаного розчину – 120, для кладочного розчину – 25. Розміри стандартних зразків і формули для розрахунку границь міцності при стиску надані в таблиці 1.4. Для природного каменю розміри зразків-кубів прийняти  $15 \times 15 \times 15$  см.

Таблиця 1.4

**Розміри зразків та розрахункові формули**

<i>Зразок</i>	<i>Розрахункова формула</i>	<i>Речовина</i>	<i>Розмір стандартного зразку, см</i>
<i>Куб</i>	$R = F/a^2$	<i>Бетон</i>	$15 \times 15 \times 15$
		<i>Розчин</i>	$7,07 \times 7,07 \times 7,07$
		<i>Природний</i>	$5 \times 5 \times 5$
		<i>камінь</i>	$15 \times 15 \times 15$
<i>Циліндр</i>	$R = \frac{4E}{\pi D^2}$	<i>Бетон</i>	$d=15; h=30$
		<i>Природний</i>	$d=h=5; 7; 10; 15$
<i>Призма</i>	$R = F/a^2$	<i>Бетон</i>	$a=10; 15; 20; h=40$
		<i>Деревина</i>	$a=2; h=3$
<i>Складені</i>	$R = F/S$	<i>Цегла</i>	$a=12; b=12; h=14$
<i>Половина призми</i>	$R = F/S$	<i>Цемент</i>	$a=4; S=25 \text{ см}^2$

**Розв'язання:**

Границя міцності при стисканні зразків-кубів:

бетону

$$R_{cm} = \frac{500 \cdot 10^4}{225} = 22,2 \cdot 10^4 \text{ кПа} = 22,2 \text{ МПа};$$

кладочного розчину

$$R_{cm} = \frac{25 \cdot 10^4}{50} = 0,5 \cdot 10^4 \text{ кПа} = 5 \text{ МПа};$$

природного каменю

$$R_{cm} = \frac{600 \cdot 10^4}{225} = 2,66 \cdot 10^4 \text{ кПа} = 26,6 \text{ МПа};$$

цеглини

$$R_{cm} = \frac{145 \cdot 10^4}{144} = 1 \cdot 10^4 \text{ кПа} = 10 \text{ МПа};$$

цементу

$$R_{cm} = \frac{120 \cdot 10^4}{25} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ кПа} = 48 \text{ МПа}.$$

**1.8.22** Визначити границю міцності при згині керамічної цегли, стандартних зразків цементно-піщаного розчину, бетону і деревини. Руйнуюче навантаження  $F$  для зразків, Н: цегли – 1730, цементно-піщаного розчину – 270, бетону – 338, деревини – 1417. Розміри стандартних зразків і розрахункові формули наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

**Розміри зразків та розрахункові формули**

<b>Зразок</b>	<b>Розрахункова формула</b>	<b>Речовина</b>	<b>Розмір стандартного зразка, см</b>
Призма, цегла (в натурі)	При згині $R_u = \frac{3Fl}{2bh^2}$	Цемент	$4 \times 4 \times 16, l=10$
		Цегла	$12 \times 6,5 \times 25, l=20$
Призма	$R_u = \frac{El}{bh^2}$	Бетон	$15 \times 15 \times 60, l=45$
		Деревина	$2 \times 2 \times 30, l=24$
Стержень “вісімка”, призма	При осьовому розтягу $R = \frac{4F}{\pi D^2}$	Бетон	$5 \times 5 \times 50,$ $10 \times 10 \times 80$
		Сталь	$d = 1; l = 5; l \geq 10d$
Циліндр	При розтягу	Бетон	$d = l = 15$

	<i>розколюванням</i>		
	$R_{p,p} = \frac{2F}{\pi dl}$		

***Розв'язання:***

Границя міцності при згині:

керамічної цеглини

$$R_{зг} = \frac{3 \cdot 1730 \cdot 0,2 \cdot 10^6}{12 \cdot 42} = 2,06 \text{ МПа};$$

цементно-піщаного розчину

$$R_{зг} = \frac{3 \cdot 270 \cdot 0,1 \cdot 10^6}{16} = 5,06 \text{ МПа};$$

бетону

$$R_{зг} = \frac{338 \cdot 0,45 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 0,225} = 4,5 \text{ МПа};$$

деревини

$$R_{зг} = \frac{1417 \cdot 0,24 \cdot 10^6}{4} = 85 \text{ МПа}.$$

**1.8.23** Залізобетонна квадратна плита розміром  $4 \times 4 \times 0,4$  м опирається по кутам на чотири цегляні стовпи з перерізом  $0,51 \times 0,51$  м кожен. Висота стовпів  $h=6,5$  м. На залізобетонну плиту по її центру поставили ємкість з бетоном. Маса ємкості без бетону  $m_c = 87$  кг, а об'єм бетону в ємкості  $V_{б.е} = 0,85$  м<sup>3</sup>. Визначити, якому тиску піддаються цегляні стовпи на рівні їх фундаменту.

***Розв'язання:***

Середня густина цеглової кладки  $\rho_{т.к.} = 1750$  кг/м<sup>3</sup>, залізобетонної  $\rho_{т.з} = 2500$  кг/м<sup>3</sup>, бетонної суміші  $\rho_{т.б} = 2400$  кг/м<sup>3</sup>.

Маса залізобетонної плити

$$m_n = 2500 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0,4 = 16000 \text{ кг}.$$

Маса бетонної суміші

$$m_{б.е} = V_{б.е} \cdot \rho_{т.б} = 0,85 \cdot 2400 = 2040 \text{ кг}.$$

Маса плити з вантажем

$$M = m_n + m_{b,c} + m_b = 16000 + 2040 + 87 = 18127 \text{ кг.}$$

Навантаження на кожен цегляний стовп

$$F = M/4 = 18127/4 = 4600 \text{ кг} = 46 \text{ кН.}$$

Навантаження, яке виникає від власної ваги цегляного стовпа,

$$F_{у.с.} = S \cdot h \cdot \rho = 0,51 \cdot 0,51 \cdot 6,5 \cdot 1750 = 3000 \text{ кг} = 30 \text{ кН,}$$

де  $S$  – площа перерізу цегляного стовпа.

Загальне навантаження на фундамент кожного стовпа

$$F_0 = F + F_{у.с.} = 46 + 30 = 76 \text{ кН.}$$

Тиск, який виникає на цеглові стовпи на рівні фундаменту:

$$P = \frac{F_0}{S} = \frac{76 \cdot 10^3}{0,51 \cdot 0,51} = 304 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2 = 0,3 \text{ МПа.}$$

**1.8.24** Протягом 7 діб два рази на зміну при двозмінній роботі відбирали проби бетонної суміші, склад якої був запланований на марку 200. Результати випробувань наведені у таблиці 1.6. Визначити середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації міцності.

**Розв'язання:**

Коефіцієнт варіації (зміни) міцності бетону є критерієм його однорідності. Його обчислюють за формулою

$$v = \frac{S}{R} \cdot 100,$$

де  $S$  – середнє квадратичне відхилення окремих результатів випробувань від середньої міцності бетону:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}};$$

де  $\bar{R}$  – середня міцність бетону, яка дорівнює середній арифметичній границі міцності окремих зразків  $R_i$ :

$$\bar{R} = \frac{308,9}{14} = 22,06 \text{ МПа.}$$

Середнє квадратичне відхилення

$$S = \sqrt{\frac{47,9}{13}} = 1,92 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт варіації міцності бетону

$$v = \frac{1,92}{22,06} \times 100 \approx 9 \%$$

Таблиця 1.6

<i>№</i>	<i>R<sub>i</sub>, МПа</i>	<i>№</i>	<i>R<sub>i</sub>, МПа</i>
1	22,5	8	22,2
2	22,7	9	21,4
3	21,5	10	20,8
4	20,8	11	21,7
5	22,1	12	21,9
6	20,9	13	20,4
7	21,8	14	28,3

**1.8.25** Знайти коефіцієнт конструктивної якості речовин, значення границі міцності яких при стиску *R* і середня густини  $\rho_m$  зазначені нижче:

<i>Речовина</i>	<i>R, МПа</i>	<i><math>\rho_m</math>, кг/м<sup>3</sup></i>
<i>Граніт</i>	<i>150</i>	<i>2700</i>
<i>Вапно</i>	<i>60</i>	<i>1800</i>
<i>Бетон важкий</i>	<i>60</i>	<i>2300</i>
<i>Бетон легкий</i>	<i>20</i>	<i>1200</i>
<i>Керамічна цеглина</i>	<i>15</i>	<i>1800</i>
<i>Сосна (вздовж волокон)</i>	<i>95</i>	<i>500</i>
<i>Віконне скло</i>	<i>600</i>	<i>2550</i>
<i>Залізо</i>	<i>400</i>	<i>7850</i>

**Розв'язання:**

Коефіцієнт конструктивної якості речовин знаходиться як співвідношення границі міцності до середньої густини.



Для граніту він  $\frac{150}{2700} = 0,065$ , вапна  $\frac{60}{1800} = 0,033$ , важкого бетону  $\frac{60}{2300} = 0,026$ , легкого бетону  $\frac{20}{1200} = 0,017$ , керамічної цегли  $\frac{15}{1800} = 0,008$ , сосни  $\frac{90}{500} = 0,18$ , віконного скла  $\frac{600}{2550} = 0,24$ , заліза  $\frac{400}{7850} = 0,051$ .

**1.8.26** Випробуванню на стирання піддавали зразки-куби розміром  $7,07 \times 7,07 \times 7,07$  см з граніту, вапна, шлакоситалу. Якою стала маса зразків після випробування, якщо стирання ( $C_m$ ) граніту 0,04; вапняку 0,8; шлакоситалу 0,02 г/см<sup>2</sup>. Середня густина граніту – 2700 кг/м<sup>3</sup>, вапняку – 1800 кг/м<sup>3</sup>, шлакоситалу – 2650 кг/м<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Формула для розрахунку стирання:

$$C_m = (m - m_1) / S,$$

де  $m$  – маса зразка до стирання, г;  $m_1$  – маса зразка після стирання, г;  $S$  – площа стирання, см<sup>2</sup>,

тоді

$$m_1 = m - C_m \cdot S.$$

Маса зразків до стирання, г:

$$m = V \cdot \rho_m,$$

тоді: граніту

$$m = 2,7 \cdot 353,5 = 954,5 \text{ кг};$$

вапняку

$$m = 1,8 \cdot 353,5 = 636,3 \text{ кг};$$

шлакоситалу

$$m = 2,65 \cdot 353,5 = 936,8 \text{ кг}.$$

Площа стирання

$$S = 7,07 \cdot 7,07 = 50 \text{ см}^2.$$

Маса зразків після випробувань, г:

граніту

$$m_1 = 954,5 - 2 = 952,5 \text{ кг};$$

вапна

$$m_1 = 636,3 - 40 = 596,3 \text{ кг};$$

шлакоситалу

$$m_1 = 936,8 - 1 = 935,8 \text{ кг}.$$

**1.8.27** Зразок природнього каменю у вигляді циліндра діаметром  $D=40$  мм і висотою  $h=65$  мм випробовується на удар під лабораторним копром. Вага падаючої баби  $F=20$  Н. Руйнування каменю відбулося при 12-му ударі баби. Розрахувати міцність каменю при ударі.

**Розв'язання:**

Міцність речовини при ударі оцінюється роботою руйнування, яка належить до одиниці об'єму зразка.

Об'єм циліндра

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2 \cdot 6,5 \cdot 10^{-6}}{4} = 81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Робота руйнування дорівнює результату множення ваги баби на пройдений шлях при падінні. При цьому останній (руйнуючий) удар до уваги не береться:

$$A = 20(1+2+3+\dots+11) = 13,2 \text{ Нм}.$$

Міцність природнього каменю при ударі

$$R_y = \frac{A}{V} = \frac{13,2 \cdot 10^6}{81} = 0,163 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,163 \text{ МПа}.$$

## 2 Природні кам'яні матеріали

## 2.1 Загальні відомості

Природні кам'яні матеріали одержують механічною переробкою та обробкою гірських порід, не змінюючи їх природної структури та властивостей.

Гірські породи – це мінеральні маси, які утворюють земну кору й мають відносно сталі склад і будову. Вони складаються з мінералів – продуктів природних фізико-механічних процесів. Мінерали – це природні утворення, однорідні за хімічним складом, будовою та властивостями. Гірські породи можуть бути полімінеральними, тобто складатися з кількох мінералів, або мономінеральними – з одного мінералу.

У сучасному будівництві визначилися такі основні напрями використання згаданих матеріалів:

- штучне каміння та вироби для зведення стін будівель, улаштування підлог, сходів тощо;
- облицювальні (декоративні) вироби – плити, каміння, профільовані вироби;
- каміння та вироби для дорожнього будівництва – брущатка, шашка для бруківки мостіння, плити, бордюрний камінь;
- каміння та вироби різних типів для гідротехнічних та інших споруд;
- нерудні матеріали – бутовий камінь, заповнювачі для бетону (щебінь, гравій, пісок).

Гірські породи широко застосовують не лише для виготовлення кам'яних матеріалів, а й як сировину для одержання мінеральних в'язучих речовин, керамічних, скляних та інших плавлених матеріалів.

Згідно з генетичною (за походженням) класифікацією всі гірські породи поділяють на три групи:

вивержені, або магматичні (первинні), які утворилися внаслідок охолодження й затвердіння магми;

осадові (вторинні), які виникли в поверхневих шарах земної кори внаслідок руйнування (вивітрювання) первинних порід;

метаморфічні (видозмінені), утворені з вивержених і осадових порід внаслідок перекристалізації та зміни структури під дією високих температур і великих тисків.

## **2.2 Матеріали і вироби з природнього каменю**

**Грубооброблені матеріали.** Бутовий камінь (бут) – це куски каменя неправильної форми розміром 150...500 мм, масою 20...40 кг. Бутовий камінь може бути рваним (неправильної форми) та постілистим. Рваний бут розробляють здебільшого вибуховим способом. Постілистий бут одержують з порід пластового залягання. З буту зводять греблі та інші гідротехнічні споруди, підпірні стінки, фундаменти, його також переробляють на щебінь.

*Гравій* одержують просіюванням сипких порід; у разі потреби їх промивають, щоб видалити шкідливі домішки (глину, пил).

*Піски* бувають природними та штучними (подрібненими).

Щебінь, гравій та пісок використовують як заповнювачі для бетонів і розчинів.

**Каміння та блоки для укладання стін.** Багато пористих гірських порід легко розпилюються на камені та блоки правильної, геометричної форми (прямокутні паралелепіпеди). Основні розміри каменів для зведення стін: 390×190×188 мм, 390×190×288 мм, 490×240×188 мм. Маса каменя не повинна перевищувати 16 кг, маса дрібного блока – 40 кг. Каміння та блоки застосовують для зведення зовнішніх і внутрішніх стін, перегородок та інших частин будівель і споруд.

**Облицювальні матеріали та вироби.** Облицювальне каміння й плити, архітектурно-будівельні вироби виготовляють, розпилюючи блоки-напівфабрикати або вдаючись до безпосереднього випилювання з масиву гірської породи. Можна виготовляти також колені вироби (для розколювання використовують некондиційні блоки). Цокольні плити, а також деталі карнизів

та інших частин будівлі, що виступають, виготовляють з найстійкіших порід. Спеціальне облицювання застосовують для захисту від корозії.

**Матеріали та вироби для дорожнього будівництва.** Брущатий камінь (бруківка) призначається для впорядкування покриття проїжджої частини доріг. Має форму зрізаної піраміди з паралельними прямокутними верхньою та нижньою основами. Виготовляють бруківку з однорідних дрібно- й середньозернистих порід. З таких самих порід виготовляють і шашку для мозаїчного бруку.

Колотий і булижний камінь використовують для влаштування основ доріг, а також дорожніх покриттів, для укріплення схилів земляних споруд тощо.

Тротуарні плити виготовляють з шаруватих гірських порід. Вони мають форму прямокутної чи квадратної плити зі стороною 200...800 мм та рівною лицьовою поверхнею (товщина 40...150 мм).

Бортове каміння, що відокремлює проїжджу частину дороги від тротуару, виготовляють із щільних вивержених порід, яким притаманні високі морозо- й зносостійкість, а також міцність. Залежно від способу виготовлення вони бувають пиляні й колені.

**Каміння для гідротехнічних споруд.** Для річкових і морських гідротехнічних споруд застосовують каміння правильної та неправильної геометричних форм. Каміння неправильної форми – рваний камінь (який одержують висаджуванням гірських порід), обкачаний камінь (валуни, булижники), щебінь і гравій – використовують для влаштування камененакидних гребель, перемичок, дамб, берегоукріплень та інших споруд. Каміння правильної форми – колене й пиляне – використовують для облицювання гребель, набережних, шлюзів.

**Хімічно стійкі та жаростійкі матеріали й вироби.** Численні гірські породи використовують для футерування різних апаратів та установок, які зазнають дії кислот, лугів, солей і агресивних газів, а також впливу високих і різкозмінних температур і тисків. Із щільних кислото-тривких гірських порід виготовляють тесані плити, цеглу, бруски, фасонні вироби потрібної форми. У

подрібненому вигляді ці породи використовують як заповнювачі в кислототривких цементах.

### **2.3 Корозія природних кам'яних матеріалів та захист від неї**

Під час експлуатації в спорудах природні кам'яні матеріали постійно зазнають впливу навколишнього середовища. Найважливіші причини їхньої корозії – атмосферні фактори, дія підземних вод, тваринних і рослинних організмів, а також механічні навантаження конструкцій.

Найбільш активні *фізико-хімічні фактори* – це багаторазове зволоження й висихання чи заморожування й відтавання, дія мінералізованих вод і повітря, забрудненого промисловими газами. Під дією цих факторів у кам'яному матеріалі послаблюються кристалізаційні зв'язки, руйнуються нестійкі мінерали, вимиваються розчинні сполуки. У камені утворюються мікротріщини, мінерали втрачають блиск, порода поступово руйнується. Щодо облицювальних матеріалів, то чим більший вміст у них погдонестійких мінералів, чим більша пористість і чим шорсткіша поверхня, тим інтенсивніше відбувається процес корозії.

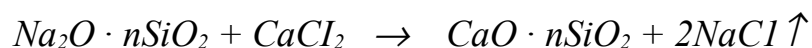
Способи захисту природного каміння від корозії: конструктивний захист відкритих частин споруд; створення на поверхні каменя захисного шару, що перешкоджає проникненню всередину агресивних речовин.

До конструктивних заходів належать: організація стоку води, уникання в конструктивних елементах виступів, а також надання виробам якомога гладшої поверхні аж до полірованої.

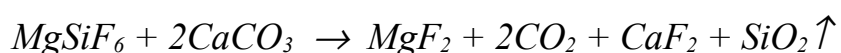
Щоб підвищити непроникність матеріалів, застосовують цілий ряд способів. Наприклад, покривають нагріту поверхню каменя оліфою, безбарвними лаками, мінеральними маслами, розчинами парафіну, стеарину, металевих мил у легких органічних розчинниках. Останнім часом набула поширення обробка гідрофобізуючими кремнійорганічними рідинами – етилсиліконатом натрію ГКЖ-10, метилсиліконатом натрію ГКЖ-94.

Консервування каменю – це послідовне просочування його верхнього шару двома розчинами, внаслідок реакції між якими утворюються нерозчинні речовини, що колюматують пори й мікротріщини. До таких способів належать силікатування, флюатування, а також модифікування полімерами.

Силікатування полягає в просочуванні верхнього шару каменя розчином рідкого скла, а після просихання – розчином хлориду кальцію. При цьому відбувається реакція



Флюатування (кремнефторизацію) застосовують для обробки вапняків та інших порід, що містять кальцит. Каміння просочують розчинами кремнефтористих солей. Так, коли вапняк обробляють кремнефторидом магнію, відбувається реакція



Можна також просочувати пористі кам'яні матеріали полімерами. Особливо надійна обробка мономерами з наступною їх полімеризацією при термокаталітичній чи радіаційній обробці. У модифікованих таким методом гірських порід значно поліпшуються фізико-механічні властивості.

## 2.4 Приклади рішення задач

**2.4.1** Маса зразка каменю в сухому стані становить 250 г. При зануренні зразка в градуйований циліндр з водою рівень води піднявся на 100 см<sup>3</sup>. Після того, як зразок був вийнятий з води, з поверхні витерта вода і знову занурений у циліндр з водою, він витиснув вже 125 см<sup>3</sup> води. Далі зразок був висушений і насичений водою під тиском. Кількість поглиненої при цьому води склала 33 г. Потім зразок був знову висушений і подрібнений для виміру абсолютного об'єму, що виявився рівним 90 см<sup>3</sup>. Обчислити середню густину каменю, вагове й об'ємне водопоглинання, істинну густину, відкриту і повну пористість. Дати висновок про морозостійкість каменю.

**Розв'язання:**

Об'єм каменя буде відповідати об'єму витисненої води,

$$V=125 \text{ см}^3.$$

Середня густина каменя в сухому стані

$$\rho_m = \frac{250}{125} = 2,0 \text{ г/см}^3.$$

Водопоглинання за масою

$$W_m = \frac{125-100}{250} \cdot 100 = 10 \text{ \%}.$$

Водопоглинання за об'ємом

$$W_o = \frac{125-100}{125} \cdot 100 = 20 \text{ \%}.$$

Істинна густина

$$\rho = \frac{250}{90} = 2,78 \text{ г/см}^3.$$

Повна пористість

$$П = \frac{2,78-2}{2,78} \cdot 100 = 2 \text{ \%}.$$

Водонасичення —  $\frac{33}{125} \cdot 100 = 26,4 \text{ \%}$  по об'єму.

Відкрита пористість  $П_{від}=26,4 \text{ \%}$ .

Порівнюючи об'ємне поглинання і відкриту пористість, бачимо, що  $20\% < 26,4 \cdot 0,9$ , об'єм поглинутої води менш 90 % від об'єму відкритих пор, ось чому морозостійкість каменя забезпечується.

**2.4.2** Маса наважки сухого вапняку 300 г, а після насичення його водою 308 г. Середня густина вапняку  $\rho_m=2400 \text{ кг/м}^3$ . Обчислити об'ємну і вагову абсолютну і відносну вологості, загальну і відкриту пористість вапняку. Дати висновок про його морозостійкість.

**Розв'язання:**

Якщо 2400 кг сухого вапня займає об'єм  $1 \text{ м}^3$ , то 300 г має об'єм

$$300:2,4=125 \text{ см}^3.$$

Вагова вологість

$$W_{ваг} = \frac{308-300}{300} \cdot 100 = 2,67 \text{ \%}.$$



Об'ємна вологість

$$W_{об} = \frac{308 - 300}{125} \cdot 100 = 6,4 \%$$

Оскільки водонасичення вапняка було не під тиском, а істинна густина не задана, то відкрити і загальну пористості обчислити неможливо.

**2.4.3** Зразок граніту має середню густину  $\rho_m = 2700$  кг/м<sup>3</sup>. Його повне водопоглинання (при насиченні водою під тиском) складало  $W_m = 3,71$  % по масі. Визначити істинну густину граніту. Чи можна вважати цей засіб визначенням істинної густини граніту цілком точним?

**Розв'язання:**

Кількість води, поглинутої 1 м<sup>3</sup> граніту

$$B = 2700 \cdot 0,0371 = 100 \text{ кг або } 100 \text{ дм}^3.$$

Об'єм щільної речовини в 1 м<sup>3</sup>

$$V = 1000 - 100 = 900 \text{ дм}^3.$$

Істинна густина

$$\rho = \frac{2700}{900} = 3000 \text{ кг/м}^3.$$

Цей спосіб визначення істинної густини не може вважатися повністю точним, оскільки не всі пори заповнюються водою і тому об'єм пор більше 100 дм<sup>3</sup>.

**2.4.4** Оцінити економічну ефективність місцевих природних матеріалів з осадових порід: звичайних вапняків, черепашників і вапняних туфів. Межі міцності на стиск залежно від щільності й інших факторів можуть бути такими: звичайні вапняки від 100 до 1000 кг/см<sup>2</sup>, черепашник від 4 до 150 кг/см<sup>2</sup>, вапняні туфи від 50 до 150 кг/см<sup>2</sup>, а середня густина відповідно 1800 – 2600, 800 – 2000 і 1300 – 1700 кг/м<sup>3</sup>. Оцінку економічної ефективності вести за коефіцієнтами конструктивної якості.

**Розв'язання:**

Коефіцієнт конструктивної якості  $K_{к.я.}$  є відношення межі міцності речовини  $R_{ст}$  до його середньої густини  $\rho_m$ :  $K_{к.я.} = \frac{R_{ст}}{\rho_m}$ . Чим більший  $K_{к.я.}$ , тим матеріал ефективніший.

Вапняк:  $\rho_m = 2200 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{ст} = 550 \text{ кг/см}^2$ ;  $K_{к.я.} = 550/2200=0,25$ .

Черепашник:  $\rho_m = 1400 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{ст} = 77 \text{ кг/см}^2$ ;  $K_{к.я.} = 77/1400=0,055$ .

Туф:  $\rho_m = 1500 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{ст} = 100 \text{ кг/см}^2$ ;  $K_{к.я.} = 100/1500=0,067$ .

**2.4.5** Як зміниться термічний опір стіни товщиною 50 см із щільного вапняку, якщо його об'ємна вологість піднялась до 2 %. Середню щільність вапняку прийняти  $\rho_m=2000 \text{ кг/м}^3$ .

**Розв'язання:**

Приймемо коефіцієнт теплопровідності вапна рівним  $\lambda_0=1 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$ .

При цьому термічний опір стінки становить

$$R_1 = \frac{b}{\lambda_0} = \frac{0,5}{1} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}.$$

Коефіцієнт теплопровідності вологого вапняку знайдемо за формулою

$$\lambda_{вол} = \lambda_{сух} + \Delta\lambda W_0,$$

де  $\lambda_{сух}$  – коефіцієнт теплопровідності сухого вапняку;  $\Delta\lambda$  – прирощення коефіцієнта теплопровідності; для вапняку при позитивній температурі  $\Delta\lambda=0,00197 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$ ;

$$\lambda_{вол} = 1 + 0,00197 \cdot 2 = 1,00394 \text{ ккал} / \text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}.$$

Термічний опір сирій стінки

$$R_2 = \frac{0,5}{1,00394} = 0,497 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}.$$

Теплозахисні властивості вапняку при вологості погіршуються.

**2.4.6** Маса зразка гірської породи в сухому стані  $m_1=210$  г. Після витримання протягом 48 годин у воді маса збільшилась до  $m_2=225$  г. Після висушування і насичення водою під тиском маса дорівнювала  $m_3=232$  г. Істинна густина гірської породи складає  $\rho=2780 \text{ кг/м}^3$ , а середня густина  $\rho_m=2000 \text{ кг/м}^3$ .

Визначити пористість, водопоглинання і водонасичення по масі і об'єму. Дати висновок про морозостійкість.

**Розв'язання:**

Водопоглинання по масі

$$W_m = (225 - 210) / 210 \cdot 100 = 7,1 \%$$

Водопоглинання по об'єму

$$W_o = W_m \cdot \rho_m = 7,1 \cdot 2000 / 1000 = 14,2 \%$$

Водонасичення по масі

$$W_m^I = (232 - 210) / 210 \cdot 100 = 10,5 \%$$

Водонасичення по об'єму

$$W_o^I = 10,5 \cdot 2000 / 1000 = 21\%, \text{ а воно рівно відкритій пористості.}$$

Пористість породи

$$P = (1 - 2000 / 2780) \cdot 100 = 28,1 \%$$

Водопоглинання по об'єму, рівне 14,2 %, що складає 67,7 % від об'єму відкритих пор (21 %), що менш ніж 90 %. Ось чому морозостійкість породи задовільна.

**2.4.7** Маса зразка гірської породи в сухому стані на повітрі дорівнює 60 г. Після парафування його поверхні маса у воді склала 37 г. Витрати парафіну 0,6 г, а його істинна густина  $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$ . Обчислити середню гуштину гірської породи та оцінити її.

**Розв'язання:**

Об'єм парафіну на зразку

$$V_n = 0,6 / 0,9 = 0,66 \text{ см}^3$$

Об'єм зразка

$$V = (60 - 37) / 1 - 0,66 = 22,34 \text{ см}^3$$

Середня густина гірської породи

$$\rho_m = 60 / 22,34 \cdot 1000 = 2680 \text{ кг/м}^3$$

Ця порода належить до твердих, оскільки її середня густина наближається до дійсної густини основних породоутворюючих мінералів.

**2.4.8** Зразок вапняку неправильної форми при випробуванні на розкол між двома стержнями розділювався на дві частини при руйнуючому навантаженні  $P=48,8$  кН. Поверхня руйнації у вигляді трапеції має такі розміри:  $a = 8,5$  см;  $b=12,0$  см;  $h=6,0$  см. Знайти міцність при розколі та марку вапняку.

**Розв'язання:**

$$R_{роз} = F/S = 48800 / [0,5(0,085 + 0,12) \cdot 0,06] = 7,94 \cdot 10^6 \text{ Па} = 7,94 \text{ МПа}.$$

Максимальна межа при стисканні

$$R_{ст} = \varphi \cdot R_{роз},$$

де коефіцієнт  $\varphi=10$  для вапняку. Тоді

$$R_{ст} = 10 \cdot 7,94 \cdot 10^5 \text{ Па} = 79,4 \text{ МПа}.$$

Таким чином, марка вапняку – “800”.

**2.4.9** Після розсіву проби піску отримані такі результати:

Сито з розміром комірки, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Частковий залишок, %	5	15	28	27	10	15

Визначити модуль крупності піску.

**Розв'язання:**

Визначають повні залишки на ситах. Для зазначених сит (зліва направо) вони складають 5,20,48,75,85,100 %. Модуль крупності піску

$$M_k = (5 + 20 + 48 + 75 + 85) / 100 = 2,33.$$

Пісок належить до середньозернистих.

**2.4.10** При випробуванні на копрі Педжа методом поступових ударів гирею масою  $m_G=2$  кг з інтервалами по висоті  $\Delta h = 1$  см при початковій висоті  $h_n=1$  см був доведений до руйнування через  $n = 15$  ударів зразок граніту паралелепіпеда розміром  $2 \times 2 \times 5$  см. Яка питома робота при ударному розколюванні зразка граніту?

**Розв'язання:**

$$R_y = A/V;$$

де  $A$  – робота руйнування;  $V$  – об'єм зразка.

$$V = 2 \cdot 2 \cdot 5 = 20 \text{ см}^3.$$

$$A = m_G \cdot n \cdot \Delta h \cdot (h_y + h_r) \cdot g = 20 \cdot 15 \cdot 1 \cdot (1+15) \cdot 9,8 = 47040 \text{ Нсм};$$

$$R_y = 47040/20 = 2352 \text{ Н/см}^2 = 235,2 \text{ кПа} = 2,352 \text{ МПа}.$$

**2.4.11** При випробуванні на стиск зразка-кубика каменю зі стороною  $a=10$  см максимальний тиск за манометром гідравлічного преса виявився рівним  $p=100$  атм. Діаметр поршня преса  $d = 39,9$  мм. Визначте руйнівне зусилля  $P_{руйн.}$  при роздавленні зразка і границю міцності на стиск  $R_{ст.}$ . Варто врахувати, що частина зусилля  $P_1=620$  кг припадає на подолання шкідливих опорів при ненавантаженому поршні преса, а інша частина зусиль  $P_2 = 20$  кг витрачається на подолання шкідливих опорів механізму при стиску зразка, тобто при навантаженому поршні.

**Розв'язання:**

$$P_{руйн} = p \cdot \pi d^2/4 - P_1 - P_2;$$

$$P_{руйн} = p \cdot \pi d^2/4 - 620 - 20 \cdot p;$$

$$P_{руйн} = 1250 \cdot p - 620 - 20 \cdot p;$$

$$P_{руйн} = 1230 \cdot 100 - 620 = 122380 \text{ кг}.$$

$$R_{ст} = P/a \cdot a = 122380/10 \cdot 10 = 1223,8 \text{ кГ/см}^2.$$

**2.4.12** Зразок каменю в сухому стані важить 70 г. Після насичення його водою зразок важить 77 г. Визначте масове водопоглинання каменю і його густина, якщо об'ємне водопоглинання цієї породи складає 14,3 %.

**Розв'язання:**

Водопоглинання за масою  $W_m$  визначають :

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 \%$$

де  $m_2, m_1$  – маси матеріалу відповідно в насиченому водою та сухому стані, г.

$$W_m = (77 - 70) / 70 \cdot 100\% = 10 \%$$

Водопоглинання за об'ємом  $W_o = 14,3 \%$ ;

Середню густину визначають:

$$\rho_m = W_o / W_m = 14,3/10 = 1,43 \text{ г/см}^3.$$

**2.4.13** Маса висушеного зразка гірської породи дорівнює 52 г, а після насичення його водою – 57,2 г. Визначте пористість породи, якщо відомо, що об'ємне водопоглинання в 1,5 рази більше масового, а густина – 2,5 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Водопоглинання за масою  $W_m$  визначають :

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 \%,$$

де  $m_2, m_1$  – маси матеріалу відповідно в насиченому водою та сухому стані, г.

$$W_m = (57,2 - 52) / 52 \cdot 100\% = 10 \%.$$

Водопоглинання за об'ємом :

$$W_o = 1,5 \cdot W_m = 1,5 \cdot 10 = 15 \%.$$

Середню густину визначають:

$$\rho_m = W_o / W_m = 15/10 = 1,5 \text{ г/см}^3.$$

Пористість:

$$P = (\rho - \rho_m) / \rho \cdot 100 \% = 2,5 - 1,5 / 2,5 \cdot 100 \% = 40 \%.$$

**2.4.14** Маса зразка в сухому стані 50 г. Визначте масу зразка після насичення його водою, якщо відомо, що об'ємне водонасичення дорівнює 18 %, а середня густина каменю – 1,6 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

$$\rho_m = W_o / W_m ;$$

$$W_m = W_o / \rho_m = 18/1,6 = 11,25 \%.$$

Водопоглинання за масою  $W_m$  визначають :

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 \%,$$

де  $m_2, m_1$  – маси матеріалу відповідно в насиченому водою та сухому стані, г.

$$m_2 = (m_1 \cdot W_m) / 100 + m_1 = 11,25 \cdot 50 / 100 + 50 = 55,6 \text{ г/см}^3.$$

### 3 Неорганічні в'язучі

Неорганічними в'язучими речовинами називають порошкоподібні матеріали, які при змішуванні з водою утворюють пластично-в'язке тісто, здатне внаслідок фізико-хімічних процесів самочинно тверднути й переходити в каменоподібний стан. Виняток становлять магнезіальні та шлаколузні в'язучі, а також кислотнотривкий цемент, які замішують водними розчинами деяких солей та інших сполук.

Неорганічні в'язучі речовини залежно від умов твердіння та міцності в часі поділяють на повітряні, гідравлічні та в'язучі автоклавного твердіння.

**Повітряні в'язучі** речовини можуть тверднути й тривалий час зберігати міцність лише на повітрі, а тому їх застосовують у наземних спорудах, які не зазнають впливу води. До них належать гіпсові в'язучі матеріали, магнезіальні, рідке (розчинне) скло, а також повітряне будівельне вапно.

**Гідравлічні в'язучі** тверднуть та зберігають міцність і підвищують її в часі не лише на повітрі, а і у воді. Їх застосовують у наземних, підземних, гідротехнічних та інших спорудах, які зазнають впливу води. До гідравлічних в'язучих належать гідравлічне вапно, романцемент, портландцементи, спеціальні цементи тощо.

**В'язучі автоклавного твердіння** – це речовини, здатні тверднути й давати міцний цементний камінь у автоклавах при підвищених температурі, тиску та вологості. До таких в'язучих належать вапняно-кремнеземисті, вапняно-зольні, вапняно-шлакові в'язучі, нефеліновий цемент.

Сировиною для виробництва неорганічних речовин є гірські породи та побічні продукти промисловості. З гірських порід застосовують: сульфатні – гіпс, ангідрит; карбонатні – вапняк, крейду, вапнякові туфи, вапняк-черепашник, мармур, доломіти, доломітизовані вапняки, магнезит; мергелісті – вапнякові мергелі; алюмосилікатні – нефеліни, глини, глинясті сланці; високоглиноземисті

– боксити, корунди; кремнеземисті – кварцовий пісок, траси, вулканічний попел, діатоміт, трепел, опоку. З побічних продуктів для виробництва неорганічних в'язучих застосовують металургійні та інші шлаки, золи ТЕС.

Виробляючи неорганічні в'язучі, крім основної сировини застосовують різні спеціальні добавки, які надають в'язучим потрібні властивості.

### 3.1 Повітряні в'язучі речовини

#### 3.1.1 Гіпсові в'язучі.

Гіпсові в'язучі речовини – це повітряні в'язучі, які складаються переважно з напівводного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  або ангідриту  $\text{CaSO}_4$ . Їх одержують внаслідок теплової обробки сировини та розмелювання. Сировиною для гіпсових в'язучих здебільшого є гірські породи – гіпс, що складається переважно з мінералу гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , природний ангідрит  $\text{CaSO}_4$  та деякі відходи промисловості (фосфогіпс – від переробки природних фосфатів на суперфосфат, борогіпс тощо), основною складовою частиною яких є сірчаноокислий кальцій.

Залежно від температури теплової обробки сировини гіпсові в'язучі речовини поділяють на дві групи: низько- та високовипалювальні.

*Низьковипалювальні гіпсові в'язучі одержують тепловою обробкою природного гіпсу при низьких температурах (110...160 °C).*



До низьковипалювальних гіпсових в'язучих речовин належать будівельний, формувальний та високоміцний гіпс.



*Будівельний гіпс* виготовляють низькотемпературним випалюванням гіпсової породи (гіпсового каменю) у варильних казанах або печах. У першому випадку гіпсовий камінь спочатку розмелюють, а далі у вигляді порошку нагрівають у варильних казанах.

Гіпсове в'язуче складається переважно з дрібних кристалів  $\beta$ -модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

*Формувальний гіпс* складається також переважно з  $\beta$ -модифікації напівгідрату сульфату кальцію  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , відрізняючись від будівельного гіпсу тоншим подрібненням.

*Високоміцний гіпс* одержують термічною обробкою високосортного гіпсового каменю в герметичних апаратах у середовищі насиченої пари при тиску, вищому за атмосферний (у автоклавах при тиску 0,15...0,3 МПа), або при кип'ятінні його у водних розчинах деяких солей з наступним просушуванням та розмелюванням на тонкий порошок. Такий гіпс складається в основному з  $\alpha$ -модифікації напівводного сульфату кальцію у вигляді крупних та щільних кристалів, що характеризуються зниженою водопотребою порівняно з  $\beta$ -напівгідратом.

*Високовипалювальні гіпсові в'язучі* речовини виготовляють випалюванням гіпсового каменю при високій температурі (600...950 °С), тому вони складаються переважно з ангідриту  $\text{CaSO}_4$ . Високовипалювальний гіпс (естрих-гіпс) на відміну від будівельного гіпсу повільно тужавіє (початок тужавіння настає не раніше як через 2 год) і твердішає, але його водостійкість і міцність на стиск вищі (10...20 МПа), тому його використовують для опорядження безшовних підлог, у розчинах для штукатурення й мурування, для виготовлення "штучного мармуру".

*Твердіння* гіпсових в'язучих відбувається внаслідок розчинення напівводного сірчаноокислого кальцію (напівгідрату) й появи насиченого

розчину, в якому відбуваються реакції гідратації з утворенням двоводного сірчаноокислого кальцію:



За теорією О.О.Байкова, можна виділити три етапи твердіння гіпсових в'язучих:

- утворення розчину, насиченого відносно продуктів гідратації;
- перехід новоутворень у розчин у гелеподібному вигляді (минаючи розчинення);
- перекристалізація колоїдних часток у великі кристали й утворення зростка.

**Основні властивості** гіпсових в'язучих: тонкість помелу, водопотреба, строки тужавіння, міцність на розтяг при вигині й при стиску (марка), водостійкість.

**Тонкість помелу** характеризується масою гіпсового в'язучого, яка лишається внаслідок просіювання на ситі з отворами розміром 0,2 мм.

**Водопотреба** гіпсового в'язучого визначається кількістю води, потрібної для приготування гіпсового тіста стандартної консистенції (діаметр розпливу  $(180 \pm 5)$  мм).

**За строками тужавіння** бувають такі в'язучі: швидкотужавіючі, нормальнотужавіючі, повільнотужавіючі.

**Міцнісні характеристики** гіпсового в'язучого визначають, випробовуючи зразки-балочки розміром 40×40×160 мм з гіпсового тіста стандартної консистенції – через 2 год після виготовлення. Для гіпсових в'язучих встановлені марки залежно від границі міцності при стиску  $R_{cm}$  з урахуванням міцності на вигин  $R_{виг}$ .

Гіпсові в'язучі у воді знижують свою міцність внаслідок розчинення дигідрату й руйнування кристалічного зростка. Водостійкість гіпсового каменю можна підвищити введенням невеликих кількостей гідрофобних речовин

(олеїнової кислоти тощо), добавок меленого гранульованого шлаку, вапна, портландцементу, а також просочуванням водовідштовхувальними сполуками.

**Застосовують** гіпсові в'язучі для виготовлення гіпсової штукатурки, перегородкових стінових плит і панелей, вентиляційних коробів та інших деталей в будівлях і спорудах, які працюють при відносній вологості повітря, що не перевищує 65 %.

**3.1.2 Повітряне будівельне вапно** – це продукт випалювання при температурі 1000...1200 °С (до повного видалення вуглекислого газу) кальцієвомагнієвих гірських порід – вапняку, крейди, черепашника, доломітизованого вапняку, що містять не більше як 6 % глинястих домішок.

Виготовляючи вапно, сировину випалюють у печах різних конструкцій: шахтних, обертових з "киплячим" шаром, у циклонно-вихрових пічах у завислому стані, а також на рухомих агломераційних решітках.

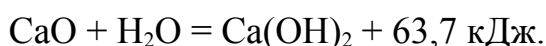
Вапняки при випалюванні розкладаються на вапно CaO та вуглекислий газ CO<sub>2</sub>, який становить 44 % маси CaCO<sub>3</sub> і повністю видаляється під час випалювання. Внаслідок цього утворюється продукт (грудкове негашене вапно) у вигляді пористих кусків, що активно взаємодіють з водою.

Реакція розкладання вапняку оборотна:



Вміст чистих оксидів CaO + MgO у загальній кількості вапна називають його *активністю*.

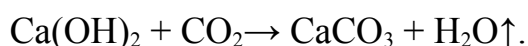
Внаслідок гашення (змішування з водою) грудкового негашеного вапна утворюється гашене (гідратне) вапно:



Під час гашення, якщо додати 1 л води до 1 кг грудкового вапна, утвориться тонкий пухкий порошок – гідратне (гашене) вапно, яке збільшується в об'ємі в 2 – 3,5 раз (розпушується) порівняно з грудковим і має насипну густину 400...450 кг/м<sup>3</sup>.

Якщо витрата води становить 2...3 л на 1 кг грудкового вапна, то отримують вапняне тісто, яке після гашення містить майже 50 % води за масою. Вода відіграє роль своєрідного гідродинамічного мастила, забезпечуючи високу пластичність вапняного тіста й будівельних розчинів.

На повітрі вапняний розчин поступово твердне внаслідок висихання розчину, зближення кристалів  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , їх зростання й карбонації вапна, що відбуваються одночасно під дією вуглекислого газу повітря:



Повітряне вапно застосовують для приготування мурувальних та оздоблювальних розчинів, а також для виготовлення штучних бетонних виробів, силікатної цегли й інших вапняно-піщаних виробів автоклавного твердіння.

## **3.2 Гідравлічні в'язучі**

**3.2.1 Гідравлічне вапно.** Сировиною для виробництва гідравлічного вапна є мергелісті вапняки, що містять 6...20 % глинястих домішок. Вапняки випалюють у шахтних печах при температурі 900...1000 °С, не доводячи до спікання.

Гідравлічне вапно перші сім діб твердне на повітрі, а далі може тверднути й набирати міцність у воді. Гідравлічне вапно не має високої міцності.

Гідравлічне вапно застосовують для приготування мурувальних та штукатурних розчинів, бетонів невисоких класів, а також для виготовлення бетонного стінового каміння, призначеного для експлуатації в сухих та вологих умовах.

**3.2.2 Портландцемент** – це гідралічна в'язуча речовина, результат тонкого подрібнення випаленого до спікання (при 1450 °С) мергелю певного складу або штучної суміші, що складається з вапняку (75 %) і глини (25 %), які забезпечують в утворюваному продукті переважання силікатів кальцію (70...80 %). Спечений продукт, з якого виготовляють портландцемент, називають *клінкером*. Найчастіше портландцементний клінкер виробляють із штучних сумішей, регулюючи їхній склад і тим забезпечуючи властивості цементу. Під час помелу до клінкеру іноді додають активні мінеральні добавки (до 15 %), а також інші речовини, які регулюють властивості цементу (гіпс, пластифікатори тощо).

Якість клінкеру, який визначає властивості портландцементу, залежить від його хімічного та мінерального складів, ретельності підготування сировинної маси та умов випалювання. Цементний клінкер одержують у вигляді гранул розміром 10...40 мм.

Хімічний склад клінкеру – чотири головні оксиди, %: CaO – 63...67; SiO<sub>2</sub> – 20...24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4...9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2...4.

Відносний вміст цих мінералів у портландцементному клінкері перебуває в таких межах, %: C<sub>3</sub>S – 45...60; C<sub>2</sub>S – 20...30; C<sub>3</sub>A – 4...14; C<sub>4</sub>AF – 10...18.

*Аліт* C<sub>3</sub>S – найважливіший мінерал клінкеру, який визначає швидкість твердіння, міцність та інші властивості портландцементу. Форма кристалів аліту – шестикутна чи прямокутна.

*Біліт* C<sub>2</sub>S – другий за важливістю і вмістом мінерал клінкеру; повільно твердне, досягаючи високої міцності на пізніх стадіях твердіння. Кристали біліту мають щільну будову й округлу форму.

*Трикальцієвий алюмінат* C<sub>3</sub>A входить до складу клінкеру як проміжна речовина. Він утворює складні тверді розчини, які швидко гідратують і тверднуть, але мають невелику міцність. Спричинює сульфатну корозію бетону. Форма кристалів кубічна.

*Целит*  $C_4AF$  входить до складу клінкеру як проміжна речовина і за швидкістю гідратації знаходиться між алітом і білітом, визначальним чином впливає на швидкість твердіння при гідратації портландцементу.

Внаслідок змішування цементного порошку з водою утворюється пластичне тісто, яке поступово згущується й переходить у каменеподібний стан. Таке перетворення називають *твердінням цементу*.

Відомі кристалізаційна теорія твердіння мінеральних в'язучих Ле Шательє (1882 р.), колоїдна теорія В.Михаеліса (1909 р.), Байкова (1922 р.). Розрізняють три основних періоди твердіння портландцементу:

- розчинення і гідратація, коли мінерали клінкеру здатні тією чи іншою мірою переходити в розчин, взаємодіючи з водою і утворюючи перенасичені нестійкі системи;

- колоїдація (тужавіння), яка характеризується переходом новоутворень у колоїдну систему (гель);

- кристалізація, коли колоїдна система поступово кристалізується (твердне) й міцність зростає.

У працях П.О. Ребіндера та вчених його школи доведено, що тужавіння цементного тіста слід пояснювати гідросульфоалюмінатним коагуляційним структуроутворенням, тобто ці праці вперше перенесли уявлення фізико-хімічної механіки на процеси твердіння мінеральних в'язучих і утворення міцних структур.

Цементний камінь – це складна неоднорідна система, яка містить такі складові:

- продукти гідратації цементу – гелеподібні субмікросталічні гідросилікати кальцію та інші новоутворення, що мають властивості колоїдів, а також відносно крупні кристали гідроксиду кальцію й еtringіту (кристали у вигляді коротких гексагональних призм);

- зерна клінкеру, що не прореагували з водою і вміст яких зменшується із збільшенням строку твердіння;

заповнені водою пори гелю (менші за 0,1 мкм), капілярні пори (0,1... 10,0 мкм), розміщені між агрегатами часточки гелю, а також повітряні пори (50 мкм...2 мм).

Слід враховувати, що наявність гелевої складової зумовлює усадку цементного каменю при твердінні на повітрі й набухання у воді, а також особливості роботи під навантаженням та інші властивості.

У процесі твердіння системі “цемент + вода” властиве явище контракції трикальцієвого алюмінату (понад 15 %), що є причиною виникнення внутрішніх напружень у тверднучому цементному камені. Тому під час помелу до клінкеру добавляють двоводний гіпс, який вирівнює контракцію  $C_3A$ , знижуючи її до 6,14 %.

Порова структура гелю впливає на механічні властивості, проникність та морозостійкість цементного каменю. Вода гелю замерзає при низькій температурі (майже – 78 °С) і не перетворюється на лід навіть при сильних морозах, тому пори гелю не знижують морозостійкості цементного каменю. Крім того, вода, адсорбована в порах гелю, зменшує й без того малий розмір цих пор, що сприяє збереженню досить високої водонепроникності цементного гелю.

Капілярні пори мають більш ефективний діаметр, ніж пори гелю, доступні для води за звичайних умов насичення, і тому спричиняють зниження морозостійкості, підвищення проникності й хімічної корозії цементного каменю.

Пористість цементного каменю зменшується із зниженням початкового водоцементного відношення (В/Ц) та із збільшенням ступеня гідратації цементу.

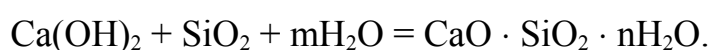
Цементний камінь під час експлуатації може піддаватися агресивному впливу зовнішнього середовища: насиченню водою, наперемінному заморожуванню й відтаюванню, зволоженню й висиханню, хімічній дії речовин, які містяться у воді й повітрі тощо.

Щоб збільшити морозостійкість цементного каменю, потрібно застосовувати: цементи з низьким вмістом  $C_3A$ , оскільки цей мінерал утворює в цементному камені пухкі нестійкі структури; цементи з мінімальним вмістом активних мінеральних добавок, оскільки вони збільшують водопотребу цементу й відповідно капілярну пористість цементного каменю; інтенсивні способи ущільнення при формуванні цементних виробів.

Корозія цементного каменю відбувається під дією м'якої води, розчинів кислот, деяких солей та кислих газів. На практиці зустрічається корозія цементного каменю трьох видів.

*Перший вид корозії* – руйнування цементного каменю внаслідок розчинення й вимивання деяких його складових частин. Під дією м'якої води оборотного водопостачання, конденсату, дощової води та води гірських річок з цементного каменю вимивається (вилужується)  $Ca(OH)_2$ , лишаючи натомість пори й знижуючи міцність. Зовні цей процес виявляється білими плямами на поверхні виробу.

Засобами боротьби з цим видом корозії є введення в цемент активних мінеральних добавок, що містять аморфний кремнезем, який хімічно зв'язує  $Ca(OH)_2$  у нерозчинний у воді гідросилікат кальцію:



*Другий вид корозії* – руйнування цементного каменю водою, що містить солі, здатні вступати в обмінні реакції із складовими цементного каменю, утворюючи продукти, які або легко розчиняються й виносяться водою, або виділяються у вигляді аморфної маси, яка не має достатньої міцності й в'язучої здатності.

Загальнокислотна корозія відбувається під дією розчинів будь-яких кислот, що мають значення водневого показника  $pH < 7$ . Кислоти вступають у хімічну взаємодію з гідроксидом кальцію, утворюючи розчинні солі, які потім вимиваються водою, або солі, які збільшуються в об'ємі, що призводить до корозії цементного каменю. Деякі кислоти можуть руйнувати силікати кальцію.



Серед органічних кислот найбільшу агресивність щодо цементного каменю мають оцтова, молочна та винна кислоти. Крім того, шкідливими є олії, які містять кислоти жирного ряду: льняна, бавовняна та ін., а також нафтові кислоти. Найефективнішим захистом цементних виробів від кислотної корозії є покриття їх кислототривкими розчинами.

Досить агресивними щодо цементного каменю є мінеральні добрива.

*Третій вид корозії* – руйнування цементного каменю під дією сульфатів і їдких лугів. Сульфатоалюмінатна корозія виникає від дії на трикальцієвий гідроалюмінат цементного каменю морської чи мінералізованої води, що містить сульфатні іони:



Важкорозчинний гідросульфатоалюмінат кальцію (етрингіт), який утворюється в порах цементного каменю, кристалізуючись, поглинає велику кількість води, збільшується в об'ємі в 2,5 рази і також руйнує цементний камінь. Щоб забезпечити надійну роботу цементного виробу в умовах сульфатної агресії, застосовують спеціальні сульфастійкі портландцементи.

### ***Властивості портландцементу***

***Істинна густина*** портландцементу без мінеральних добавок 3,05... 3,15 г/см<sup>3</sup>, насипна густина 1300 кг/м<sup>3</sup>.

***Тонкість помелу*** цементу, яка визначається ситовим аналізом чи за допомогою спеціального приладу – поверхнеміра, становить 250...300 м<sup>2</sup>/кг.

***Водопотреба*** цементу – це мінімальна кількість води, потрібна для приготування тіста (маси) заданої в'язкості цементного тіста, яку називають *нормальною густиною* й вимірюють кількістю води у відсотках до маси сухого цементного порошку. Водопотреба для приготування цементного тіста нормальної густоти, як правило, у 2 – 3 рази перевищує теоретичну кількість

води, потрібну для фізико-хімічних процесів гідратації цементу й утворення цементного каменю.

**Строки тужавіння** цементу – це час, протягом якого пластична, легкоперероблювана маса (цементне тісто, паста) втрачає свою пластичність, перетворюючись на тіло землистої консистенції і що не має помітної міцності.

Розрізняють умовний початок тужавіння (початок утрачання пластичності) і кінець тужавіння (повна втрата пластичності).

Сповільнювачами строків тужавіння портландцементу є борна кислота, фосфати й нітрати калію, натрію та амонію, які збільшують концентрацію іонів кальцію в тверднучій системі, що пригнічує процес гідролізу  $C_3S$ , і тужавіння відбувається повільніше. Прискорити тужавіння портландцементу можна введенням добавок – електолітів, карбонатів і сульфатів металів чи добавок, що є центрами кристалізації, а також деяких органічних речовин, наприклад триетаноламіну. Так, прискорення тужавіння при наявності  $CaCl_2$  пояснюється його взаємодією з алюмінатними й феритними фазами цементу з утворенням гідрохлоралюмінату кальцію, а також із поверхневою адсорбцією іонів  $Cl^-$ , яка спричинює підвищення розчинності.

**Рівномірність зміни об'єму.** Основними причинами нерівномірної зміни об'єму цементного каменю є гашення в ньому вільного вапна й гідратація периклазу. У деяких випадках така нерівномірність пов'язана з утворенням в уже затверділій структурі гідросульфоалюмінату кальцію при підвищеній дозі добавки гіпсу.

Активність і марка цементу характеризується його механічною **міцністю**, встановленою за границею міцності при стиску половинок зразків-балочок розміром  $4 \times 4 \times 16$  см. Ці зразки стандартно виготовляють з цементно-піщаної розчинової суміші складу 1:3 (за масою) при  $V/C = 0,4$  через 28 діб нормального твердіння.

Значення границі міцності при стиску таких зразків називають *активністю цементу*, а округлене в бік зменшення значення активності – *маркою цементу*.

### ***Спеціальні види цементу***

Регулюючи мінеральний склад і структуру клінкеру, тонкість помелу та зерновий склад цементу, а також уводячи в процесі помелу мінеральні та органічні добавки, одержують портландцементи з поліпшеними властивостями.

*Швидкотверднучий* портландцемент (ШТЦ) характеризується інтенсивнішим, ніж звичайний, наростанням міцності в початковий період твердіння. Через 3 доби твердіння його міцність на стиск становить 25...28 МПа.

Застосовуючи швидкотверднучий цемент у будівництві, вдається зменшувати строки тепловологової обробки бетонів або повністю виключати її, значно прискорювати темпи будівництва, виконувати бетонні роботи на морозі.

*Особливошвидкотверднучий* високоміцний портландцемент (ОШТЦ) марки 600 у віці 1 доби має границю міцності при стиску 20...25 МПа, а у віці 3 діб – 40 МПа.

*Пластифікований* портландцемент виготовляють тонким подрібненням портландцементного клінкеру з двоводним гіпсом (3...5 %) і з додаванням під час помелу майже 0,25 % (у розрахунку на суху речовину) лігносульфонату технічного (ЛСТ) чи іншої пластифікуючої добавки. Пластифікуючий ефект такого цементу використовують для зменшення водоцементного відношення й підвищення щільності, морозостійкості та водонепроникності бетону.

*Гідрофобний* портландцемент одержують подрібненням портландцементного клінкеру з двоводним гіпсом (3...5 %) і з додаванням під час помелу 0,08...0,25 % однієї з гідрофобізуючих добавок – олеїнової кислоти, кремній органічних сполук, асидолу, милонафту. Ці речовини, адсорбуючись на поверхні зерен цементу, утворюють найтонші водовідштовхувальні плівки, які

зменшують гігроскопічність при перевезеннях та складуванні в умовах з підвищеною вологістю повітря без втрати активності.

Гідрофобні добавки, які лишаються в тверднучому матеріалі, поліпшують якість виробу (підвищують водонепроникність, морозостійкість та корозійну стійкість).

*Пуцолановий* портландцемент одержують спільним помелом клінкеру, двоводного гіпсу (3...5 %), активної мінеральної добавки осадового походження (20...30 %) або вулканічного попелу, туфу, глієжів, паливної золи (25...40 %).

Слід враховувати, що при експлуатації бетону на пуцолановому цементі в повітряно-сухих умовах він дає велику усадку й частково втрачає міцність.

*Шлакопортландцемент* одержують спільним помелом клінкеру портландцементу, до 3,5 % гіпсу й 21...80 % гранульованого доменного чи електротермофосфорного шлаку.

*Швидкотверднучий* шлакопортландцемент відрізняється від звичайного шлакопортландцементу підвищеним вмістом у клінкері  $C_3S$  і  $C_3A$ , дозою шлаку (30...50 %) і підвищеною тонкістю помелу (350...450 м<sup>2</sup>/кг).

*Сульфатостійкий* шлакопортландцемент є різновидом шлакопортландцементу з вмістом  $C_3A \leq 8$  %. Марки такого цементу: 300 і 400. Сульфатостійкий шлакопортландцемент застосовують для підземних та підводних частин споруд, які зазнають сульфатної корозії.

*Сульфатостійкий портландцемент* – це гідралічна в'язуча речовина, стійка щодо дії вод, які містять сульфатні аніони. Цей цемент виготовляють з клінкеру нормованого мінералогічного складу:  $C_3S$  не більше як, 50 %,  $C_3A$  не більше як 5 %, а сума  $C_3A$  і  $C_4AF$  – не більше ніж 22 %.

Застосовують сульфатостійкий портландцемент, виготовляючи бетони, призначені для роботи в морській воді, а також для бетонів підвищеної морозостійкості.

*Білий портландцемент* декоративного призначення одержують із чистих вапняків, кварцового піску, каолінових глин, чистих різновидів гіпсу, діатомітів, світлих туфів, які майже не містять оксидів металів (заліза, марганцю, хрому).

*Кольорові портландцементи* одержують двома способами:

- 1) одночасно перемелюють білий клінкер з відповідними мінеральними пігментами;
- 2) забарвлюють клінкер, уводячи до складу сировинної шихти хромоформи – оксиди елементів змінної валентності (Fe, Cr, Ni, Co, Mn тощо), які надають цементу інтенсивного забарвлення.

Білий та кольоровий портландцементи мають марки 400 і 500, а застосовують їх для архітектурно-оздоблювальних робіт, облицювального шару стінових панелей і блоків штучного мармуру, скульптурних робіт.

*Мурувальні цементи* призначаються для виготовлення мурувальних і штукатурних розчинів. Основні вимоги до них: висока пластичність тіста, добре зчеплення з цеглою, мінімальна усадка.

*Тампонажний цемент* призначається для ізоляції пластів, кріплення обсадних колон та іншої арматури під час буріння та експлуатації нафтових і газових свердловин чи влаштування інших глибинних підземних споруд, тобто для специфічних умов експлуатації.

*Алітний цемент* (АЦ) одержують спільним помолом клінкера і гіпса. Попередньо при виготовленні клінкера в суміш додають  $\text{CaCl}_2$  (< 1,5 %). Вміст  $\text{SO}_3$  (2,5 – 3,5%). Пітома поверхня – 1000–4500  $\text{cm}^2/\text{г}$ . Обпалення клінкера проводять при  $t^\circ = 1050\text{--}1150^\circ\text{C}$ . Марка бетону – 600–800.

*Розширювальний портландцемент* одержують спільним подрібленням 60...65 % портландцементного алітового клінкера, 5...7 % глиноземистого клінкера або високоглиноземного шлаку, 7...10 % двоводного гіпсу разом з 20...25 % активної мінеральної добавки (трепелу, опоки, діатоміту). Механізм розширення зумовлюється утворенням кристалів еtringіту, які збільшують об'єм.

Основні галузі застосування такого цементу – дорожнє та підземне будівництво, тампонажні роботи, виготовлення залізобетонних виробів з напруженим армуванням (обмонолічування каналів з напруженою арматурою).

*Напружувальний цемент* одержують спільним подрібненням 65...75 % портландцементного клінкеру, 13...20 % глиноземистого цементу й 6...10 % двоводного гіпсу.

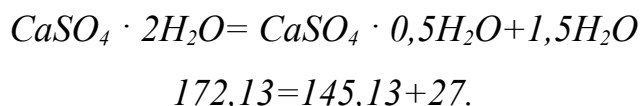
Їх використовують для виготовлення підводних і підземних напірних споруд, спорудження спортивних об'єктів, як тонкостінні просторові конструкції.

### 3.3 Приклади рішення задач

**3.3.1** Обчислити, скільки утвориться напівводного гіпсу  $CaSO_4 \cdot 0,5 H_2O$  після термічної обробки 10 т гіпсового каменю  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Атомну масу елементів див. у додатку 1.

**Розв'язання:**

Визначаємо молярні маси речовин:



З 10 т гіпсового каменю  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  отримаємо напівводного гіпсу

$$10000 \cdot \frac{145,13}{172,13} = 8431 \text{ кг}.$$

**3.3.2** Визначити кількість негашеного (комового) вапна, отриманого при повному опаленні 10 т чистого вапняку з вологістю 10 %.

**Розв'язання:**

При нагріванні вапняку вода в кількості 10 % повинна випаруватись, тоді сухого вапняку залишиться  $10000 - 1000 = 9000$  кг або 9 т.

Виходячи з хімічної формули вапняку і реакції, яка відбувається при його опаленні, можна визначити кількість негашеного (комового) вапна, отриманого з 1 т вапняку:



$$100 = 56 + 44$$

$$1000 \cdot \frac{56}{100} = 560 \text{ кг},$$

а з 9 т отримаємо  $560 \cdot 9 = 5040 \text{ кг}$ .

**3.3.3** Яку кількість негашеного (комового) вапна отримаємо при опаленні 10 т вапняку, який має вологість 2 %. Кількість глинистих домішок – 10 %, а пісчаних домішок – 10 %.

Визначити вихід опаленого вапна, його активність (кількість CaO).

**Розв'язання:**

При нагріванні вапняку вода в кількості 2 % випаровується в кількості

$$10000 \cdot 0,02 = 200 \text{ кг}.$$

Тоді сухого вапняку залишиться

$$10000 - 200 = 9800 \text{ кг}.$$

При опаленні глинисті домішки втратять хімічно-зв'язану воду в такій кількості:



$$102 + 120 + 36 = 258.$$

Склад води в глині

$$\frac{36}{258} = 0,14.$$

Таким чином, у вапняку залишиться глинистих домішок

$$0,1 \cdot 9800 (1 - 0,14) \approx 843 \text{ кг}.$$

Піщані домішки під час опалення не розчіплюються і залишаються в вапняку в кількості

$$0,10 \cdot 9800 = 980 \text{ кг}.$$

Чистого вапна буде

$$9800 - (843 + 980) = 7977 \text{ кг.}$$

З 1 т вапняку отримаємо чистого комового вапна 560 кг (дивись рішення задачі 3.3.2).

З 7977 кг чистого вапняку отримаємо чистого комового вапна

$$7977 \cdot 0,56 = 4467 \text{ кг,}$$

але в суміші з обпаленим вапном залишаться глинисті та піщані домішки. Тоді вихід вапна збільшиться,

$$4467 + 843 + 980 = 6390 \text{ кг.}$$

Активність вапна (вміст CaO) складає

$$4467 / 6390 = 0,70 \text{ або } 70 \%.$$

**3.3.4** Скільки буде потрібно чистого вапняку з вологістю 5 % для одержання 10 т негашеного вапна.

**Розв'язання:**

Для одержання 10 т негашеного вапна необхідно опалити чистого вапняку:



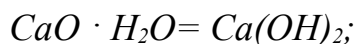
$$100 = 56 + 44; 10000 \frac{100}{56} = 17850 \text{ кг сухого вапняку,}$$

а за умовою задачі вапно має 5 % вологості, тоді вапняку потрібно

$$17850 + (17850 \cdot 0,05) = 18742 \text{ кг.}$$

**3.3.5** Скільки можна одержати сухого гідратного вапна (пушонки) при гашенні 5 т негашеного вапна з активністю 80 % (вміст CaO).

**Розв'язання:**



$$56 + 18 = 74,$$

тоді негашеного вапна при активності 80% (вміст CaO) отримаємо



$$5000 \cdot \left( 0,8 \cdot \frac{74}{56} + 0,20 \right) = 5385 \text{ кг},$$

де 0,20 – вміст домішок (за умови, що при активності вапна 80 % домішки складають 20 %).

**3.3.6** Скільки знаходиться вапна і води (по вазі) в  $1 \text{ м}^3$  вапняного тіста, якщо його середня густина складає  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Істинна густина гідратного вапна  $\text{Ca(OH)}_2$  у вигляді сухого порошку складає  $2,05 \text{ г/см}^3$ .

**Розв’язання:**

Кількість вапна позначимо через  $x$ , тоді кількість води буде  $1400 - x$ .

Сума абсолютних об’ємів вапна і води рівна  $1 \text{ м}^3$  (1000 л), з цього:

$$\frac{x}{2,05} + \frac{1400 - x}{1} = 1000,$$

звідки кількість вапна

$$x = 781 \text{ кг або } \frac{781 \cdot 100}{1400} = 55 \%,$$

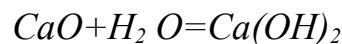
кількість води

$$V = 1400 - 781 = 619 \text{ л або } 100 - 55 = 45 \%.$$

**3.3.7** Який буде вихід вапняного тіста по вазі та об’єму з  $1 \text{ т}$  негашеного вапна, якщо його активність (вміст  $\text{CaO}$ ) 70 %, вміст води в тісті 50 % від загальної ваги, а середня густина вапняного тіста  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

**Розв’язання:**

З 1 г мол. негашеного вапна по реакції гідратації отримаємо гашеного вапна



$$56 + 18 = 74.$$

З 1 т негашеного вапна отримаємо

$$1000 \cdot \frac{74}{56} = 1321 \text{ кг гашеного вапна.}$$

При активності негашеного вапна 70 % отримаємо гідратного вапна

$$1000 \left( \frac{74}{56} \cdot 0,7 + 0,3 \right) = 1225 \text{ кг}$$

У складі вапняного тіста вапно складає 50 % по вазі разом з 50 % води. Таким чином, на 1225 кг гідратного вапна необхідно мати 1225 л води. Тоді вапняного тіста буде: 2450 кг (по вазі) або  $2450/1400=1,75$  м<sup>3</sup> (по об'єму).

**3.3.8** Скільки буде потрібно гідратного вапна, щоб приготувати 1 м<sup>3</sup> вапняного тіста з середньою густиною 1400 кг/м<sup>3</sup>. Істинна густина гідратного вапна 2,0 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Кількість гідратного вапна в кг позначимо через  $x$ ; тоді кількість води

$$B=1400-x.$$

Сума абсолютних об'ємів вапна і води рівна 1 м<sup>3</sup>, тоді:

$$\frac{x}{2} + \frac{1400-x}{1} = 1000, \text{ звідки } x=800 \text{ кг.}$$

**3.3.9** Визначити пористість затверділого цементного каменю, виготовленого з портландцементу. Цементне тісто при затвердінні мало 28 % води, а кількість зв'язаної води дорівнює 20 % від маси цементу. Істинну густина портландцементу прийняти рівною 3,1 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Склад цементного тіста по вазі: 1 г цементу і 0,28 г води.

Абсолютний об'єм, яке займає цементне тісто

$$V = \frac{1}{3,10} + 0,28 = 0,60.$$

Абсолютний об'єм цементного каменю

$$V_1 = \frac{1}{3,10} + 0,2 = 0,52.$$

Щільність цементного каменя

$$\frac{V_1}{V} = \frac{0,52}{0,60} = 0,86,$$

тоді пористість 0,14 або 14% (1 - 0,86).

**3.3.10** Визначити пористість затверділого цементного каменя, виготовленого з шлакопортландцементу, якщо тісто мало 40 % води, а для проходження реакцій при твердінні потрібно 18 %. Істинна густина шлакопортландцементу – 2,95 г/см<sup>3</sup>.

**Розв’язання:**

Цементне тісто складається з 1 г цементу і 0,40 г води по вазі.

Абсолютний об’єм, який займає цементне тісто:

$$V = \frac{1}{2,95} + 0,40 = 0,74.$$

Абсолютний об’єм, який займає цементний камінь:

$$V_1 = \frac{1}{2,95} + 0,18 = 0,52.$$

Густина цементного каменя буде

$$\frac{V_1}{V} = \frac{0,52}{0,74} = 0,7,$$

тоді пористість буде 0,3 або 30 % (1 - 0,7).

**3.3.11** Скільки буде потрібно ввести пластифікуючої гідрофільної добавки для одержання 20 т пластифікованого портландцементу. Пластифікуюча добавка сульфітно спиртова барда (ССБ) містить 50 % твердої речовини і 50 % води. Встановлено, що кількість добавки ССБ повинно бути 0,2 % від ваги цементу, рахуючи ССБ на суху речовину.

**Розв’язання:**

Для приготування 20 т пластифікуючого портландцементу необхідно ввести 0,2 % ССБ від маси цементу:

$$20000 \cdot 0,002 = 40 \text{ кг сухої речовини.}$$

Але добавка ССБ має у водному розчині 50 % води, тобто 40 кг води. Тоді водного розчину добавки ССБ потрібно ввести 80 кг на 20 т портландцементу.

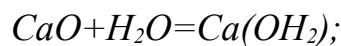
**3.3.12** Скільки вапняного тіста (по масі і об'єму) з вологістю  $W=50\%$  можна отримати при гасінні 15 т негашеного вапна з активністю (вміст CaO 85 %). Середня густина вапняного тіста  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

**Розв'язання:**

Вміст активного CaO в 15 т негашеного вапна:

$$CaO_{акт} = \frac{85 \times 15}{100} = 12,75 \text{ т.}$$

Гасіння вапна проходить згідно рівняння



$$56 + 18 = 74.$$

З 56 масових частин CaO отримаємо 74 масових частин сухого гідратного вапна, а з 12,75 т CaO:

$$\frac{12,75 \cdot 74}{56} = 16,84 \text{ т.}$$

Оскільки, у вапняному тісті вапно і вода складають на 50 % маси, то загальна маса тіста буде:

$$V_m = 16,84 \cdot 2 = 33,68 \text{ т.}$$

Кількість вапняного тіста по об'єму:

$$V_o = 33,68 / 1,4 = 24,05 \text{ м}^3.$$

**3.3.13** Скільки комового вапна можна одержати при випалі 50 т чистого вапняку з вологістю 10 %?

**Розв'язання:**

Після випалу маса сухого вапняку:

$$50000(1-0,1) = 45000 \text{ кг.}$$

Реакція розкладання вапна:



Молекулярні маси речовин такі:

$$100 = 56 + 44.$$

Маса вапна, виготовленого з 1 т вапняку:

$$1000 \cdot 56 / 100 = 560 \text{ кг.}$$

Маса вапна, отриманого з 45 т вапняку:

$$560 \cdot 45 = 25200 \text{ кг} = 25,2 \text{ т.}$$

**3.3.14** Визначити, скільки комового вапна можна одержати при опаленні 100 т вапняку, що має вологість 5 %, вміст глинистих домішок 10 %, піщаних домішок 10 %.

**Розв'язання:**

Маса вапна після випаровування води:

$$100000 \cdot (1 - 0,05) = 95000 \text{ кг.}$$

З глинистих домішок  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (молекулярні маси – 102+120+36) при опаленні зникає хімічно-зв'язана вода, її кількість:

$$36 / (102 + 120 + 36) = 0,14.$$

Вміст глинистих домішок у вапні після випаровування води:

$$0,1 \cdot 95000 \cdot (1 - 0,14) = 8170 \text{ кг.}$$

Вміст піщаних домішок у вапні після випарювання води:

$$0,10 \cdot 95000 = 9500 \text{ кг.}$$

Маса чистого вапняку  $\text{CaCO}_3$ :

$$95000 - (8170 + 9500) = 77330 \text{ кг.}$$

З 1 т вапняку вихід комового вапна складає 560 кг (задача 3.3.13). Маса чистого комового вапна:

$$77330 \cdot 0,56 = 43304 \text{ кг.}$$

Вихід комового вапна з урахуванням домішок:

$$43304 + 8170 + 9500 = 60974 \text{ кг.}$$

Активність вапна (вміст  $\text{CaO}$ )

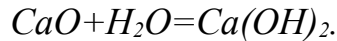
$$43304 / 60974 = 0,71, \text{ або } 71 \text{ \%}.$$

Отже, вапно належить до третього сорту.

**3.3.15** Скільки можна одержати сухого гідроксиду кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (“пушонки”) при гасінні 15 т негашеного вапна з активністю 90 %?

**Розв'язання:**

Утворення гашеного вапна проходить у відповідності з реакцією:



Молекулярні маси речовин такі:

$$56 + 18 = 74.$$

З 15 т негашеного вапна отримаємо масу “пушонки”:

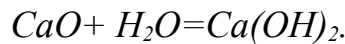
$$15000 \cdot (0,9 \cdot 74/56 + 0,1) = 19335 \text{ кг},$$

враховуючи, що при активності вапна 90 % домішки складають 10 % (0,10).

**3.3.16** Який об’єм вапняного тіста буде отриманий при гасінні 10 т негашеного вапна, якщо активність вапна (вміст CaO) 80 %, вміст води в тісті 50 %, середня густина вапняного тіста 1400 кг/м<sup>3</sup>?

**Розв’язання:**

Утворення гашеного вапна виникає за реакцією:



Молекулярні маси речовин такі:

$$56 + 18 = 74.$$

При вказаній активності вапна маса гідроксиду кальцію:

$$10000 \cdot (74/56 \cdot 0,8 + 0,2) = 12560 \text{ кг}.$$

У вапняному тісті вапно і вода складають по 50 % маси, тоді маса тіста:

$$M = 12560 \cdot 2 = 25120 \text{ кг},$$

а його об’єм

$$V = 25120 / 1400 = 17,9 \text{ м}^3.$$

**3.3.17** Скільки напівводного гіпсу можна одержати після термічної обробки 50 т гіпсового каменю CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O?

**Розв’язання:**

Утворення напівводного гіпсу проходить за реакцією:



Молекулярні маси цих з’єднань:

$$172,13 = 145,13 + 27.$$

Маса напівводного гіпсу:

$$50000 \cdot 145,13/172,13=42155 \text{ кг.}$$

**3.3.18** Вміст води при затвердінні портландцементу був 32 %, а кількість хімічно зв'язаної води дорівнює 20 % від маси цементу. Істинна густина цементу дорівнює 3100 кг/м<sup>3</sup>. Яка пористість затверділого цементного каменю?

**Розв'язання:**

Склад цементного тіста (по вазі)  $C:B=1:0,32$ .

Абсолютний об'єм, який займає цементне тісто:

$$V_{у.т}=1000/3100+0,32=0,64 \text{ м}^3.$$

Абсолютний об'єм, який займає цементний камінь:

$$V_{у.к}=1000/3100+0,20=0,32+0,20=0,52 \text{ м}^3.$$

Щільність цементного каменю:

$$V_{у.к}/V_{у.т}=0,52/0,64=0,81.$$

Пористість цементного каменю:

$$V_{пор}=(1-0,81)100=19 \text{ \%}.$$

**3.3.19** Вміст води в тісті з шлакопортландцементу 42 %, для проходження реакцій гідролізу і гідратації потрібно 18 % води. Істинна густина портландцементу 2950 кг/м<sup>3</sup>. Визначити пористість цементного каменю.

**Розв'язання:**

Склад цементного тіста (по вазі)  $C:B=1:0,42$ .

Абсолютний об'єм, який займає цементне тісто:

$$V_{у.т}=1000/2950+0,42=0,76 \text{ м}^3.$$

Абсолютний об'єм, який займає цементний камінь:

$$V_{у.к}=1000/2950+0,18=0,52 \text{ м}^3.$$

Щільність цементного каменю:

$$V_{у.к}/V_{у.т}=0,52/0,76=0,68.$$

Пористість цементного каменю:

$$V_{пор}=(1-0,68)100=32 \text{ \%}.$$

**3.3.20** Необхідно приготувати 10 т пластифікованого портландцементу. Пластифікуюча добавка СДБ містить 50 % твердої речовини і 50 % води. Оптимальний вміст цієї добавки складає 0,2 % від маси цементу (в перерахунку на суху речовину). Скільки добавки потрібно ввести?

**Розв'язання:**

Маса СДБ (на суху речовину):

$$m_{\text{сух}} = 10000 \cdot 0,002 = 20 \text{ кг.}$$

Маса 50 %-го розчину СДБ:

$$m_{\text{розч}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ кг.}$$

**3.3.21** При випробуванні зразків-балочок розміром 40x40x160 мм на вигин у віці 28 діб отримані результати: 5,8; 6,0; 6,1 МПа. Руйнуюче навантаження при випробуванні половинок балочок на стиск складала 120; 125; 127,5; 130; 132; 134 кН. Визначити марку портландцементу.

**Розв'язання:**

Границю міцності при згині приймають як середнє з двох найбільших значень показників міцності:

$$R_{зг} = (6,0 + 6,1) / 2 = 6,05 \text{ МПа.}$$

Границю міцності при стисканні знаходять як середнє з чотирьох найбільших значень показників міцності. Останні визначають як частку від ділення руйнуючого навантаження на площу пластинки ( $4 \times 6,25 \text{ см} = 25 \text{ см}^2$ ), через яку передають навантаження на половину балочки. Здійснюючи розрахунки, отримують результати в МПа: 48,0; 50; 51,0; 53; 52,8; 53,6.

Середньоарифметичне з чотирьох найбільших результатів:

$$R_{ст}^{cp} = (51 + 53 + 52,8 + 53,6) / 4 = 52,6 \text{ МПа.}$$

Цемент по границі міцності на згин і стискання відповідає марки "500".

**3.3.22** При випробуванні зразків-балочок розміром 40x40x160 мм у віці 7 діб показники межі міцності при вигині 3,6; 3,4; 3,0 МПа.



Середньоарифметичне значення межі міцності при стиску склало 29,6 МПа.  
Визначити марку цементу.

**Розв'язання:**

Середньоарифметичне значення границі міцності при згині:

$$(3,4+3,6)/2=3,5 \text{ МПа.}$$

Залежність між маркою цементу і границею міцності зразків у віці 7 діб мають логарифмічний характер:

$$R_n = R_{28}^{\frac{\lg n}{\lg 28}}.$$

Підставивши відомі показники, отримуємо міцності при згині:

$$R_7 = R_{28} \frac{\lg 7}{\lg 28};$$

$$3,5 = R_{28}^{\frac{\lg 7}{\lg 28}} \cdot 0,846/1,447;$$

$$R_{28}^{\frac{\lg 7}{\lg 28}} = 3,5/0,58 = 6,0 \text{ МПа.}$$

Міцність при стиску у віці 28 діб:

$$R_{28}^{cm} = 29,6/0,58 = 51 \text{ МПа,}$$

де коефіцієнт переходу 0,58 знайдений для  $R_{28}^{\frac{\lg 7}{\lg 28}}$ .

Очікувана марка цементу – “500”.

**3.3.23** Готуючи бетон однієї марки, використовують два цементи однакової активності (марки), але з різним показником нормальної густоти цементного тіста – НГ =24 % і НГ =30 %. Як позначається перехід від одного цементу до іншого на легкоукладальність бетонної суміші?

**Розв'язання:**

Витрати води в бетоні залежить не тільки від потрібної легкоукладальності бетонної суміші, але і від водоутримуючої здатності цементу. Остання складає приблизно 1,65 НГ.

Цемент з НГ=24 % має водоутримуючу здатність:

$$W_{y1} = 1,65 \cdot 24 = 39,6 \% \text{ або } B/C \approx 0,4.$$

Цемент з НГ=30 % має водоутримуючу здатність:

$$W_{y2} = 1,65 \cdot 30 = 49,5\% \text{ або } B/C \approx 0,5.$$

Таким чином, застосовуючи цемент з НГ = 24 % можна зменшити максимальне водоцементне відношення, не викликаючи водовідділення після укладки бетонної суміші. Зменшення В/Ц дозволить підвищити міцність бетону.

**3.3.24** Визначити активність цементу, який складається з 70 % портландцементу марки М400 і 30 % молотого вапняку. Молотий вапняк є добавкою-наповнювачем.

**Розв'язання:**

Активність змішаного цементу

$$R_{cm} = 0,7R_u = 0,7 \cdot 400 = 280 \text{ МПа.}$$

**3.3.25** Цемент при повній гідратації зв'язує 36 % води (від маси цементу). Визначити пористість цементного каменю із тіста з В/Ц=0,4, якщо ступінь гідратації  $\alpha$  становить 30 і 50 %. Істинна густина цементу – 3,14 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Абсолютний об'єм цементного тіста з одиниці маси цементу становитиме:

$$V_1 = \frac{1}{\rho} + B/C = \frac{1}{3,1} + 0,4 = 0,723.$$

Абсолютний об'єм цементного каменю обчислюють за формулою

$$V_1 = \frac{1}{\rho} + \alpha(B/C)_{36}$$

при  $\alpha = 30 \%$

$$V_1 = \frac{1}{3,14} + 0,3 \times 0,36 = 0,428;$$

при  $\alpha = 50 \%$

$$V_1 = \frac{1}{3,14} + 0,5 \times 0,36 = 0,5.$$

Пористість цементного каменю буде:

при  $\alpha = 30 \%$

$$1 - \frac{V_1}{V} = 1 - \frac{0,428}{0,723} = 0,41;$$

при  $\alpha = 50 \%$

$$1 - \frac{0,5}{0,723} = 0,31.$$

**3.3.26** 1. Якою буде активність цементу, який виготовлений з 65 % портландцементу марки “400” і 35 % опоки? Вважати, що до 28 діб опока не бере участі у створенні міцності цементного каменю. 2. Якої марки портландцемент слід взяти в даному випадку, щоб мати змішаний цемент марки “400”?

**Розв’язання:**

1. Активність змішаного цементу буде:

$$R_{зм} = 0,65 \cdot R_{ц} = 0,65 \cdot 400 = 260 \text{ кгс/см}^2.$$

2. Щоб дістати змішаний цемент марки “400”, треба взяти портландцемент активності  $R_{ц}$ , яку можна визначити з рівняння:

$$0,65 R_{ц} = 400,$$

тобто

$$R_{ц} = \frac{400}{0,65} \approx 600 \text{ кгс/см}^2.$$

**3.3.27** Визначити кількість (у відсотках) меленої інертної мінеральної добавки (вапняку) до портландцементу для звичайного бетону нормального тверднення, якщо активність вихідного цементу  $R_{ц} = 385 \text{ кгс/см}^2$  треба знизити на  $135 \text{ кгс/см}^2$ , щоб мати змішаний в’яжучий матеріал активністю  $R_{зм} = 250 \text{ кгс/см}^2$ . Нормальна крутість і вихід тіста з цементу і вапняку мають відповідно близькі значення.

**Розв’язання:**

Відсоток мінеральної добавки ( $D$ ), яку вводять, визначають пропорційно потрібному відсотку зниження активності цементу (для інертних добавок-розріджувачів цементу), тобто:

$$\frac{R_{ц} - R_{зм}}{R_{ц}} = \frac{D}{100},$$

звідки:

$$D = \frac{R_u - R_{zm}}{R_u} \cdot 100.$$

Кількість добавки:

$$D = \frac{385 - 250}{385} \cdot 100 = 35 \%$$

Кількість цементу:

$$\frac{R_{zm}}{R_u} \cdot 100\% = \frac{250}{385} \cdot 100 = 65 \%$$

**3.3.28** Визначити кількість меленої мінеральної добавки (опоки) до портландцементу для звичайного бетону нормального тверднення, якщо треба знизити активність вихідного цементу  $R_u=430 \text{ кгс/см}^2$  і одержати змішаний в'язучий матеріал активністю  $R_{zm}=300 \text{ кгс/см}^2$ . Обчислити нормальну крутість тіста із змішаного цементу, якщо нормальна крутість тіста з цементу становить 25 %, з опоки 54 %, а густина  $\rho$  їх відповідно 3.1 і 2.4  $\text{г/см}^3$ .

**Розв'язання:**

Коли б цемент і мінеральна добавка мали однакову водопотребу, то змішаний цемент треба було б виготовити з  $\frac{300}{430} = 0,7$  частини цементу і  $1 - \frac{300}{430} = 0,3$  частини добавки (див. розв'язання попередньої задачі).

Але оскільки водопотреба опоки значно більша, ніж цементу (54 % > 25 %), то кількість введеної добавки, визначену розрахунком на основі прямої пропорційності, треба зменшити множенням на коефіцієнт:

$$K = \frac{B_u}{B_o},$$

де  $B_u$  – вихід тіста нормальної крутості з 1 г цементу,  $\text{см}^3$ ;

$B_o$  – те саме, з 1 г мінеральної меленої добавки,  $\text{см}^3$ .

Вихід тіста  $B_T$  визначають дослідами або за формулою:

$$B_T = \frac{1}{\rho} + H_k,$$

де  $\rho$  – густина цементу або меленої добавки;

$H_k$  – водотвердий фактор тіста нормальної крутості (для цементу або добавки).

Вихід тіста буде:

з цементу

$$B_{\text{ц}} = \frac{1}{3,1} + 0,25 = 0,572;$$

з опоки

$$B_{\text{оп}} = \frac{1}{2,4} + 0,54 = 0,957.$$

Звідси:

$$K = \frac{0,572}{0,957} = 0,6.$$

Отже, вміст добавки опоки у змішаному цементі треба довести до  $0,3 \cdot 0,6 = 0,18$ . До складу розведеного цементу активністю  $300 \text{ кгс/см}^2$  має входити  $0,7$  частини цементу  $R_u = 430 \text{ кгс/см}^2$  і  $0,18$  частини опоки, тобто:

$$\left( \frac{0,7}{0,7 + 0,18} \right) \cdot 100 = 79,6 \% \approx 80 \% \text{ цементу};$$

$$\left( \frac{0,18}{0,7 + 0,18} \right) \cdot 100 = 20,4 \% \approx 20 \% \text{ опоки.}$$

Нормальну крутість тіста із змішаного цементу обчислюємо за формулою:

$$H_k = \frac{ЦH_{к,ц} + ДH_{к,д}}{Ц + Д} = \frac{80 \cdot 25 + 20 \cdot 54}{80 + 20} = 30,8 \%,$$

де  $Ц$  і  $Д$  – відсоток цементу і добавки у змішаному в'язучому;

$H_{к,ц}$ ,  $H_{к,д}$  – нормальна крутість тіста з цементу і добавки.

**3.3.29** Скільки утвориться негашеного й гідралічного вапна з 30 т вапняку з вмістом активних  $\text{CaO}$  і  $\text{MgO}$  – 85 % і природною вологістю 8 %?

**Розв'язання:**

При обпаленні вапняку випаровується  $30000 \cdot 0,08 = 2400 \text{ кг}$  води.

Сухого вапняку буде:  $30000 - 2400 = 27600 \text{ кг}$ .

Кількість домішок в вапняку:  $27600 \cdot 0,15 = 4140 \text{ кг}$ .

Чистого вапняку (без домішок) буде:  $27600 - 4140 = 23460 \text{ кг}$ .

Чистого негашеного вапняку буде:



$$100 = 56 + 44$$

$$23460 \cdot 56/100 = 13137,6 \text{ кг.}$$

До складу гідратного вапняку ввійдуть і домішки в кількості – 4140 кг, тоді загальна вага гідратного вапняку буде:

$$13137,6 + 4140 = 17277,6 \text{ кг.}$$

**3.3.30** Яка кількість милонафту (гідрофобна добавка), гіпсу, трепелу і клінкеру буде потрібна для одержання 10 т гідрофобного портландцементу? Встановлено, що при помолі потрібно вводити 0,15 % милонафту від маси клінкера, 5 % двоводного гіпсу і 10 % трепелу.

**Розв'язання:**

Для виготовлення 10 т гідрофобного портландцементу необхідно:

$$\text{милонафту } 10000 \cdot 0,0015 = 15 \text{ кг;}$$

$$\text{двоводного гіпсу } 10000 \cdot 0,05 = 500 \text{ кг;}$$

$$\text{трепелу } 10000 \cdot 0,1 = 1000 \text{ кг;}$$

$$\text{клінкеру } 10000 - (1000 + 500) = 10000 - 1500 = 8500 \text{ кг.}$$

**3.3.31** Скільки потрібно взяти каустичного доломіту замість 1 кг каустичного магнезиту, щоб одержати в'язучу речовину однакової активності? Каустичний доломіт містить 8 % домішок по масі.

**Розв'язання:**

Каустичний доломіт має склад і молекулярну вагу:



$$24,3 + 16 + 40 + 12 + 48.$$

1 вагова частина каустичного доломіту вміщує:

$$\text{MgO} = \text{MgO} / \text{MgO} + \text{CaCO}_3$$

$$\text{MgO} = (24,3 + 16) / (24,3 + 16 + 40 + 12 + 48).$$

Тоді каустичного доломіту, який вміщує 8 % домішок, замість 1 кг каустичного магнезиту необхідно:

$$1 + 0,08 = 1,08,$$

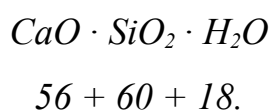
де  $l$  – вагова частина;  $0,08$  – відсоток домішок.

$$1/0,287 \cdot 1,08 = 3,8 \text{ кг.}$$

**3.3.32** Скільки потрібно взяти гідравлічної добавки, щоб цілком зв'язати 1 т гашеного вапна, що має активність 60 % (вміст  $CaO$ ). Встановлено, що в складі добавки є 63 % активного кремнезему. Передбачається, що в результаті твердіння утворюється мінерал  $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$  (однокальцієвий гідросилікат).

**Розв'язання:**

Молекулярна вага можливої речовини:



На 1 частину гашеного вапна необхідно активного кремнезема:

$$0,60 \cdot 1 \cdot 60/56 = 0,64.$$

У гідравлічної добавки активний кремнезем складає 63 %, тоді вага добавки  $0,64/0,63 = 1,0$ . Тоді склад суміші по вазі буде 1:1.

**3.3.33** Скільки утвориться негашеного і гашеного вапна з 20 т вапняку? Вміст у вапняку  $CaO$  – 80 % по масі, а його природна вологість – 10 %.

**Розв'язання:**

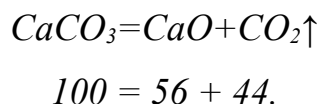
При опаленні вапняку випаровується:  $20000 \cdot 0,10 = 2000$  кг води.

Тоді сухого вапняку буде  $20000 - 2000 = 18000$  кг.

Кількість домішок у вапняку:  $18000 \cdot 0,20 = 3600$  кг.

Чистого вапняку:  $18000 - 3600 = 14400$  кг.

Реакція обпалення:

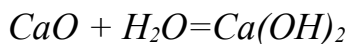


Тоді  $14400 \cdot 56/100 = 8064$  кг.

Але домішки в кількості 3600 кг будуть в негашеному вапні, а тоді загальна вага негашеного вапна буде:

$$8064 + 3600 = 11664 \text{ кг.}$$

З цієї кількості гашеного вапна можна отримати:



$$56 + 18 = 74.$$

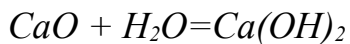
Тоді  $Ca(OH)_2$  буде:  $8064 \cdot 74/56 = 10656$ .

З урахуванням домішок в кількості 3600 кг, загальна вага гідратного вапна буде:  $10656 + 3600 = 14256$  кг.

**3.3.34** Скільки можна одержати сухого гідратного вапна при гасінні 5 т негашеного вапна з активністю 60 % (вміст  $CaO$ )?

**Розв'язання:**

Утворення негашеного вапна проходить по реакції:



$$56 + 18 = 74.$$

З 5 т сировини отримуємо масу "пушонки":

$$5000 \cdot (0,6 \cdot 74/56 + 0,4) = 5000 \cdot 1,19 = 5950 \text{ кг}$$

з урахування, що при активності 60 % (0,6) домішки складають 40 % (0,4).



## Література

1. *Грушко І.М., Королев І.В., Борщ І.М., Мищенко Г.М.* Дорожно-строительные материалы. – М.: Транспорт, 1983. – 357 с.
2. *Дворкін Л.Й.* Будівельне матеріалознавство. – Рівне: РДГУ, 1999. – 478 с.
3. *Кривенко П.В.* та ін. Будівельні матеріали. – К.: Вища школа, 1993. – 339 с.
4. *Скрамтаев Б.Г.* Примеры и задачи по строительным материалам. – М.: Высш. школа, 1970. – 232 с.
5. *Грушко І.М., Глущенко Н.Ф., Космин А.В.* Дорожно-строительные материалы: Сборник задач. – Харьков: Вища школа, 1987. – 96 с.
6. *Конопленко О.І.* Розрахунки і задачі з технології бетону. – Київ: Вища школа, 1972. – 220 с.

**7. Дворкин Л.И.** Строительные материалы и детали: Практикум. – К.: Виша школа, 1988. – 200 с.

**8. Попов Л.И.** Технология железобетонных изделий в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1987. – 192 с.

*Атомні маси елементів, які входять до складу будівельних матеріалів*

<i>Алюміній Al</i>	<i>26,97</i>	<i>Кремній Si</i>	<i>28,06</i>	<i>Вуглець C</i>	<i>12,00</i>
<i>Водень H</i>	<i>1,00</i>	<i>Магній Mg</i>	<i>24,32</i>	<i>Фосфор P</i>	<i>31,02</i>
<i>Залізо Fe</i>	<i>55,84</i>	<i>Марганець Mn</i>	<i>54,93</i>	<i>Фтор F</i>	<i>19,00</i>
<i>Калій K</i>	<i>39,10</i>	<i>Мідь Cu</i>	<i>63,57</i>	<i>Хлор Cl</i>	<i>35,46</i>
<i>Кальцій Ca</i>	<i>40,07</i>	<i>Натрій Na</i>	<i>23,00</i>	<i>Цинк Zn</i>	<i>65,38</i>
<i>Кисень O</i>	<i>16,00</i>	<i>Сірка S</i>	<i>32,06</i>		

Методичні вказівки  
для самостійної роботи студентів із вивчення дисципліни  
"Будівельні матеріали"  
для студентів 2(3) курсу спеціальності  
"Залізничні споруди та колійне господарство"  
денної та заочної форм навчання

Укладач: Дорошенко Олександра Юріївна

Відповідальна за випуск – Дорошенко О.Ю.

Редактор О.Д.Дьордійчук

---

Підписано до друку 31.03.04. Формат паперу 60x84/16, папір офс.

Спосіб друку – ризографія. Замовлення №546, тираж 105.

---

Видавництво Київського університету економіки і технологій транспорту,

03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.