

**БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт з дисципліни**

***«БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»***

**Харків – 2014**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Будівельні матеріали, конструкції

та споруди» 7 листопада 2012 р., протокол № 4.

Рекомендовано для студентів спеціальності 7.06010101  
«Промислове та цивільне будівництво».

Укладачі:

доценти Д.А. Пługін,  
О.С. Борзяк

Рецензент

доц. С.В. Возненко

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Будівельне матеріалознавство»

Відповідальний за випуск Пługін Д.А.

Редактор Буранова Н.В.

---

Підписано до друку 25.12.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,0. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

Кафедра «Будівельні матеріали, конструкції та споруди»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Будівельне матеріалознавство»

Харків – 2014

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри БМКС 7 листопада 2012 р., протокол №4.

Рекомендуються для студентів спеціальності 7.06010101 «Промислове та цивільне будівництво».

Укладачі:

доц. Д.А.Плугін  
доц. О.С.Борзяк

Рецензент:

доц. С.І. Возненко

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ОСНОВНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	7
1.1 Визначення істинної густини .....	7
1.2 Визначення середньої густини .....	8
1.2.1 Визначення середньої густини зразка правильної геометричної форми .....	9
1.2.2 Визначення середньої густини зразків неправильної геометричної форми .....	10
1.3 Визначення насипної густини .....	12
1.4 Визначення пористості .....	13
1.5 Визначення водопоглинання .....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ .....	16
2.1 Будівельний гіпс .....	17
2.2 Визначення тонини помелу гіпсу .....	18
2.3 Визначення нормальної густоти гіпсового тіста .....	19
2.4 Визначення термінів тужавлення гіпсового тіста .....	21
2.5 Визначення міцності гіпсового каменю .....	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЦЕМЕНТ .....	27
3.1 Визначення тонкості помелу цементу .....	27
3.1.1 Визначення тонкості помелу цементу ситовим аналізом .....	27
3.2 Визначення нормальної густоти цементного тіста ....	28
3.3 Визначення термінів тужавлення цементного тіста ...	29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ВИПРОБУВАННЯ ЦЕМЕНТУ ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ЦЕМЕНТУ .....	31
4.1 Визначення нормальної консистенції цементно-піщаного розчину .....	31
4.2 Виготовлення зразків-балочок .....	33
4.3 Визначення границі міцності зразків на вигін та стиск .....	34
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. БЕТОНИ .....	36
5.1 Загальні положення .....	36
5.2 Заповнювачі для бетону .....	38

5.2.1	Пісок, зерновий склад і модуль крупності .....	38
5.2.2	Крупний заповнювач, зерновий склад .....	40
	<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. ПРИНЦИПИ ПІДБОРУ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ .....</b>	<b>43</b>
6.1	Розрахунок орієнтовного складу бетону .....	43
6.2	Приклад розрахунку складу важкого бетону .....	46
	<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. БЕТОННА СУМІШ ....</b>	<b>48</b>
7.1	Випробування бетонної суміші .....	48
7.2	Виготовлення контрольних зразків важкого бетону ...	52
	<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ .....</b>	<b>54</b>
8.1	Підготовка зразків до випробування та умови їх проведення .....	54
8.2	Проведення випробувань і обробка результатів .....	55
8.3	Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю .....	58
8.4	Ультразвуковий метод визначення міцності .....	64
	<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9. СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ .....</b>	<b>69</b>
9.1	Агрегатно-потокосна та стендова технологія виробництва залізобетонних виробів .....	69
9.2	Конвеєрний та неперервний способи виробництва залізобетонних виробів .....	72
	<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>73</b>

## ВСТУП

Методичні вказівки складено згідно з рекомендованим програмою циклом робіт з курсу «Будівельне матеріалознавство».

В методичних вказівках викладена методика проведення лабораторних робіт з випробування основних будівельних матеріалів та виробів, що застосовуються в промисловому та цивільному будівництві, при зведенні мостів, тунелів, у будівництві метрополітенів та інших споруд. Наведено стислий опис лабораторних приладів та обладнання, подано методику розрахунку отриманих результатів випробувань.

З метою підвищення самостійності при підготовці та проведенні лабораторних робіт методичні вказівки містять контрольні запитання для самоперевірки.

Загальні положення про виконання лабораторних робіт:

1 Кожна лабораторна робота, кожне випробування - це самостійна дослідна робота, приступати до виконання якої без знання основ явищ та властивостей, що вивчаються, неприпустимо.

2 Усвідомлене виконання лабораторних робіт навчає застосовувати теоретичні знання в експериментальній роботі, правильно планувати дослід, проводити вимірювання з достатньою точністю, аналізувати та отримувати вірогідні результати.

3 Студент отримує методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, до заняття ознайомлюється з теорією, суттю і методикою виконання завдання, зокрема використовуючи конспект або підручник. На заняттях з'ясовує у викладача всі питання, що виникли в процесі самопідготовки, і виконує роботу.

4 При проведенні випробувань необхідно строго дотримуватись правил техніки безпеки.

5 Після остаточної обробки матеріалу кожного заняття їх результати заносяться у відповідні таблиці даних методичних вказівок та робиться висновок про відповідність якості матеріалу вимогам стандарту. Заповнення всіх граф, які передбачені

журналом, обов'язкове.

6 У час, який відведено для проведення лабораторного заняття, мають бути виконані такі складові:

- поточний контроль підготовленості студентів до виконання конкретної лабораторної роботи;
- виконання завдань теми заняття;
- оформлення індивідуального звіту з виконаної роботи;
- захист звіту перед викладачем.

7 Студенти, які в результаті поточного контролю на початку заняття показали незадовільний рівень підготовленості, до лабораторної роботи не допускаються.

8 Відпрацювання лабораторних робіт для студентів, які не були на них допущені або пропустили їх з поважних причин, виконується у позанавчальний час.

9 Зарахування лабораторної роботи проводиться за отриманими результатами і висновками студента, з коротким опитуванням або співбесідою за результатами роботи. В окремих випадках захист лабораторної роботи може проводитися на наступному занятті.

10 Оцінювання результатів лабораторної роботи диференційоване, залежно від рівня роботи студента на занятті, отриманих результатів та зроблених висновків. Враховуються також попередні недопуски на дане заняття або пропуски його з неповажних причин.

11 Студентам, які мають хоча б одну не зараховану лабораторну роботу, не зараховується відповідний контрольний модуль. Вони не мають права на отримання заліку або допуску до екзамену.



# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ОСНОВНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

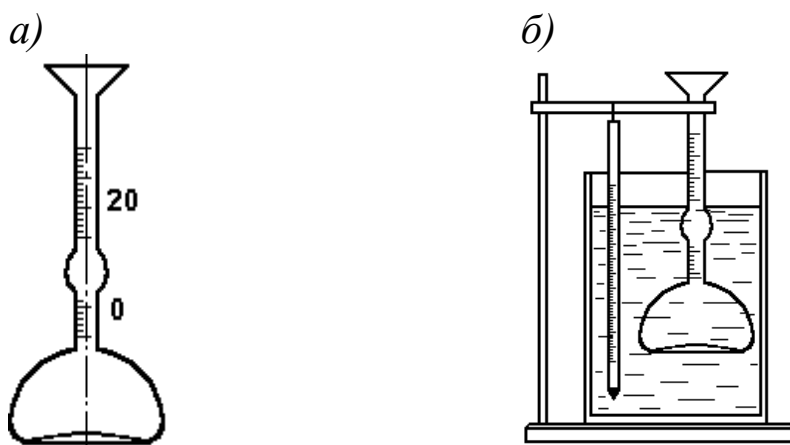
## 1.1 Визначення істинної густини

*Істинна густина* характеризується масою сухого матеріалу в одиниці абсолютного об'єму, тобто об'єму без пор і пустот.

Практично абсолютно щільний стан сухого матеріалу досягається здрібнюванням його в ступці або кульовому млині і наступним просіванням через сито з вічками у просвіті 0,2 мм (918 отв./см<sup>2</sup>), при цьому вважають, що частки матеріалу не мають пор.

Для визначення істинної густини необхідні: об'ємомір - прилад Ле Шательє-Кандло (рисунок 1.1), лійка скляна, ваги аналітичні, інертна до випробовуваного матеріалу рідина і сухий здрібнений матеріал (порошок).

Прилад Ле Шательє-Кандло являє собою скляну колбу з вузькою шийкою, що трохи розширюється в середній частині, як показано на рисунку 1.1.



*a* - колба Ле Шательє - Кандло; *б* - прилад у зібраному вигляді

Рисунок 1.1 - Прилад для визначення істинної густини



На шийку колби нанесені риски вище і нижче сферичного розширення, об'єм між якими дорівнює  $20 \text{ см}^3$ . Вище верхньої риски колба також градуйована з ціною поділу  $0,1 \text{ см}^3$ .

Об'ємомір наповняють до нижньої, нульової риски рідиною, інертною (що не вступає в реакцію з випробовуваним матеріалом) відносно порошку матеріалу.

Від підготовленої проби відважують  $60 \div 90 \text{ г}$  матеріалу і висипають совочком через лійку в прилад невеликими порціями доти, поки рівень рідини в колбі (по нижньому меніску) не підніметься до риски в межах верхньої градуйованої частини приладу. Різниця між кінцевими і початковими рівнями рідини в об'ємомірі показує об'єм всипаного порошку в прилад. Залишок порошку зважують.

Маса порошку, всипаного в об'ємомір, буде дорівнювати різниці між результатами першого і другого зважування.

Істинну густину ( $\rho$ ) матеріалу розраховують за формулами,  $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (1.2)$$

де  $m_1$  - наважка сухого матеріалу до випробувань,  $\text{г}$ ;

$m_2$  - залишок від навіски,  $\text{г}$ ;

$m$  - кількість порошку, всипаного в прилад,  $\text{г}$ ;

$V$  - об'єм рідини, витиснутої наважкою матеріалу,  $\text{см}^3$ .

## 1.2 Визначення середньої густини

*Середня густина* - характеризується масою сухого матеріалу в одиниці загального об'єму - у природному стані, тобто разом з порами.

Середню густину  $\rho_{сер}$  обчислюють за формулою (1.3) як відношення маси сухого матеріалу до його загального об'єму,  $г/см^3$ ,  $кг/м^3$ :

$$\rho_{сер} = \frac{m}{V}, \quad (1.3)$$

де  $m$  - маса сухого матеріалу,  $г$ ;

$V$  - загальний об'єм сухого матеріалу в природному стані, з порами,  $см^3$ .

При визначенні середньої густини матеріалу можна використовувати зразки як правильної, так і неправильної геометричної форми. Від форми зразка залежить метод визначення середньої густини матеріалу.

### ***1.2.1 Визначення середньої густини зразка правильної геометричної форми***

Для визначення середньої густини зразки матеріалу можуть бути виконані у формі куба, паралелепіпеда або циліндра.

Зразки правильної геометричної форми попередньо висушують до постійної маси в сушильній шафі при температурі  $105 \div 110$  °С.

За допомогою штангенциркуля або лінійки вимірюють геометричні розміри зразків і обчислюють їх об'єм, після чого зразки зважують на технічних вагах.

Зразок будь-якої правильної геометричної форми вимірюють у трьох місцях і беруть середній результат з точністю до  $0,1$  мм.

Об'єм зразка  $V$ , що має вигляд куба або паралелепіпеда, обчислюють за формулою,  $см^3$ :

$$V = a_{сер} \cdot b_{сер} \cdot h_{сер}, \quad (1.4)$$

де  $a_{сер}$ ,  $b_{сер}$ ,  $h_{сер}$  - середнє значення розмірів граней зразка,  $см$ .

Об'єм зразка  $V$  циліндричної форми обчислюють за формулою,  $см^3$ :

$$V = \frac{\pi \cdot d_{сер}^2 \cdot h_{сер}}{4}, \quad (1.5)$$

де:  $d_{сер}$  - середній діаметр зразка,  $см$ ;  
 $h_{сер}$  - середня висота циліндричного зразка,  $см$ .

### ***1.2.2 Визначення середньої густини зразків неправильної геометричної форми***

При визначенні середньої густини зразка неправильної геометричної форми необхідно визначити його об'єм і масу.

Для визначення об'єму зразка неправильної геометричної форми застосовують метод, заснований на витисненні зразком із ємності рідини, у яку його занурюють. Ємність, що застосовується для проведення виміру (рисунок 1.2), називається об'ємоміром.

Цей прилад являє собою металевий циліндр 2 (рисунок 1.2) із внутрішнім діаметром 150  $мм$  і висотою 350  $мм$ . На висоті 250  $мм$  у ємність упаяна трубка 1 діаметром 10  $мм$ , що має загнутий униз кінець.

Об'ємомір наповняють водою трохи вище трубки й очікують, поки надлишок води стече. Потім під трубку підставляють мірний циліндр або скляну колбу 3 (рисунок 1.2).

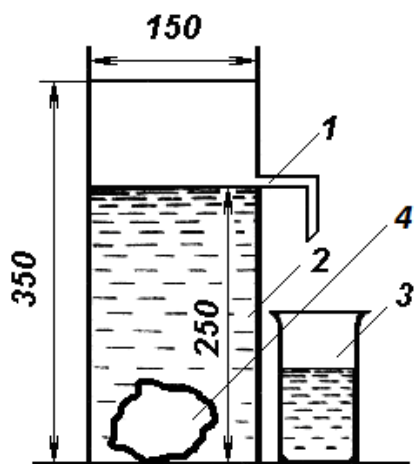


Рисунок 1.2 - Об'ємомір

Випробування виконується таким чином. На поверхню попередньо висушеного до постійної маси і зваженого зразка щетинною кистю наносять тонким шаром розплавлений парафін, дають йому застигти і зразок знову зважують.

Занурювати зразок у розплавлений парафін не слід, тому що при цьому нагріваються і зразок, і повітря, що міститься у його порах. Останнє, збільшуючись в об'ємі при нагріванні, прагне вийти назовні й утворить повітряні бульбашки між поверхнею зразка і шаром парафіну. Наявність таких бульбашок впливає на точність визначення об'єму, а отже, і середньої густини.

Об'єм парафіну, витраченого на покриття зразка, обчислюють за формулою:

$$V_n = \frac{m_1 - m}{\rho_n}, \quad (1.6)$$

де  $V_n$  - об'єм парафіну,  $см^3$ ;

$m$  - маса зразка без парафіну,  $г$ ;

$m_1$  - маса зразка, покритого парафіном,  $г$ ;

$\rho_n$  - густина парафіну, дорівнює  $0,81 \div 0,93 \text{ г/см}^3$ .

Цей показник визначають до початку випробування або умовно приймають рівним  $0,93 \text{ г/см}^3$ , що не впливає суттєво на точність визначення об'єму.

Підготовлений зразок 4 (рисунок 1.2) занурюють в об'ємомір,

при цьому вода, що витісняється, буде витікати з трубки в мірний циліндр або колбу. Після того, як падіння крапель припиниться, за мірним циліндром визначають об'єм витиснутої рідини, що буде дорівнювати об'єму зразка.

Після одержання величин маси й об'єму, обчислюють середню густину зразка неправильної геометричної форми за формулою

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{m}{V_1 - V_n}, \quad (1.7)$$

де:  $m$  - маса зразка без парафіну, г;  
 $V_1$  - об'єм зразка з парафіном,  $\text{см}^3$ ;  
 $V_n$  - об'єм парафіну,  $\text{см}^3$ .

### 1.3 Визначення насипної густини

*Насипна густина* - характеризується масою сухого матеріалу в одиниці об'єму матеріалу в пухкому стані (з порами і міжзерновими пустотами).

При транспортуванні і збереженні сипкі матеріали ущільнюються. При цьому значення їхньої середньої густини виявляється на 15÷30 % вище, ніж у пухкому стані.

Для визначення насипної густини матеріалів звичайно використовують прилад - стандартну лійку (рисунок 1.3).

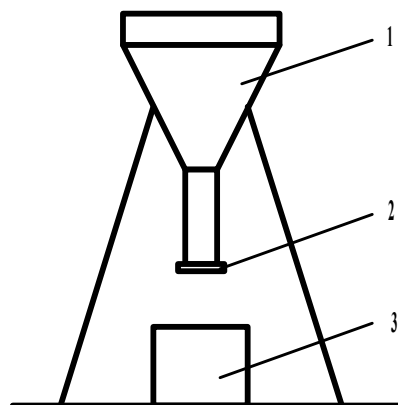


Рисунок 1.3 - Стандартна лійка для визначення насипної густини

Стандартна лійка (рисунок 1.3) являє собою усічений

конус 1. Унизу конус переходить у трубку діаметром 20 мм із засувкою 2. Під трубкою встановлюють заздалегідь зважену мірну ємність 3 об'ємом 1 л (1000 см<sup>3</sup>).

Відстань між верхнім обрізом мірної ємності і засувкою має бути 50 мм.

У лійку насипають попередньо висушений матеріал. Потім відкривають засувку 2 і заповнюють мірну ємність цим матеріалом з надлишком, закривають засувку і металевою лінійкою зрізують від середини в обидва боки надлишок матеріалу урівень із краями ємності. Потім ємність з матеріалом зважують на технічних вагах.

Знаючи масу матеріалу і його об'єм, за формулою (1.8) визначають насипну густину сипкого матеріалу, г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V} = \frac{m}{V}, \quad (1.8)$$

де  $m_1$  - маса ємності із сухим матеріалом, г;

$m_2$  - маса ємності, г;

$m$  - маса сухого матеріалу, г;

$V$  - об'єм, зайнятий сухим сипким матеріалом, см<sup>3</sup>.

#### 1.4 Визначення пористості

Пористість матеріалу характеризується ступенем заповнення його загального об'єму порами. Пористість визначають у частках одиниці за формулою

$$P_o = \frac{V_{пор}}{V_{заг}} = \frac{V_{заг} - V_{іст}}{V_{заг}} = 1 - \frac{\rho_{сер}}{\rho} \quad (1.9)$$

або у відсотках за формулою

$$P_o = \frac{\rho - \rho_{сер}}{\rho} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

де  $V_{пор}$  - об'єм пор у зразку матеріалу,  $см^3$ ;  
 $V_{заг}$  - загальний об'єм зразка, з урахуванням пор,  $см^3$ ;  
 $V_{іст}$  - істинний об'єм зразка, без пор,  $см^3$ ;  
 $\rho_{сер}$  - середня густина матеріалу,  $г/см^3$ ;  
 $\rho$  - істинна густина матеріалу,  $г/см^3$ .

Найважливіші властивості матеріалів - міцність, теплопровідність, водопоглинання, водонепроникність і т. д. залежать від ступеня і характеру пористості матеріалу.

Пористість різних природних кам'яних матеріалів коливається від 0,3 % (габро) до 38 % (вапняк).

*Пустотність* - характеризується ступенем заповнення загального об'єму сипких матеріалів міжзерновими пустотами. Пустотність обчислюють за формулами:

$$P_y = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_{сер}} \quad (1.11)$$

або

$$P_y = \frac{\rho_{сер} - \rho_n}{\rho_{сер}} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

де  $\rho_n$  - насипна густина матеріалу,  $г/см^3$ ;  
 $\rho_{сер}$  - середня густина матеріалу,  $г/см^3$ .

## 1.5 Визначення водопоглинання

Водопоглинання характеризується здатністю сухих матеріалів



втягувати й утримувати воду. Воно характеризується ступенем заповнення об'єму матеріалу водою (об'ємне водопоглинання).

Однак часто прийнято виражати водопоглинення стосовно маси матеріалу в сухому стані.

Для обчислення водопоглинення у відсотках за об'ємом і за масою користуються формулами:

$$B_o = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100, \quad (1.13)$$

$$B_m = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (1.14)$$

де  $m$  - маса сухого матеріалу, г;

$m_1$  - маса матеріалу, насиченого водою, г;

$V$  - об'єм матеріалу (зразка),  $см^3$ .

У даній лабораторній роботі визначається водопоглинання керамічної цегли, для чого спочатку необхідно зробити виміри по довжині, ширині, висоті зразка й обчислити його об'єм. Після чого зразок поміщають у сушильну шафу і висушують до постійної маси при температурі  $105 \div 110$  °С. Після охолодження зразка його зважують з точністю до 1 г. Зразок встановлюють вертикально у ванну, яку заповнюють водою (при температурі  $20 \pm 5$  °С) до  $1/3$  висоти цегли, і витримують 12 год. Потім рівень води підвищують до  $2/3$  висоти зразка і витримують ще 12 год, після чого він цілком покривається водою, так щоб шар води над зразком був не менш 2 см, на 24 год. Після закінчення доби зразок виймають, дають стекти воді, обтирають вологою тканиною і зважують з точністю до 1 г. Водопоглинання обчислюється за формулами (1.13) або (1.14).

## Контрольні запитання

1 Що таке істинна густина?

- 2 Що таке середня густина?
- 3 Що таке насипна густина?
- 4 Істинна густина та середня густина - величини постійні чи змінні? Поясніть чому?
- 5 Чи залежить істинна або середня густина від пористості?
- 6 Середня густина матеріалу більша чи менша його істинної густини і чому?
- 7 Що таке пористість матеріалу? Від чого вона залежить?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ**

Метою лабораторних робіт даного комплексу є поглиблення знань про будівельні властивості найбільш розповсюджених мінеральних в'язучих речовин - будівельного гіпсу і портландцементу, а також вивчення стандартних методів лабораторного визначення цих властивостей.

Мінеральними в'язучими називають порошкоподібні речовини, що при замішуванні з водою утворюють пластичне тісто, здатне в результаті фізико-хімічних процесів з часом твердішати і переходити в каменеподібний стан.

Мінеральні в'язучі речовини, переходячи з тістоподібного в каменеподібний стан, скріплюють між собою камені або зерна піску, гравію, щебеню.

За умовами твердіння і збереження міцності мінеральні в'язучі речовини підрозділяються на повітряні, гідравлічні і в'язучі автоклавного твердіння.

Повітряними в'язучими називають речовини, що мають

здатність твердіти і довгостроково зберігати міцність тільки на повітрі. До повітряних в'язучих речовин належать повітряне вапно, гіпсова в'язуча, магнезіальна в'язуча речовина і рідке скло.

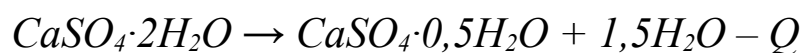
Гідравлічними в'язучими називають речовини, що твердіють і довгостроково зберігають міцність не тільки на повітрі, але й у воді. До гідравлічних в'язучих речовин належать гідравлічне вапно, романцемент, портландцемент і його різновиди.

До в'язучих автоклавного твердіння відносять речовини, здатні твердіти в автоклаві в умовах підвищених температур ( $170\div 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і тиску ( $5\div 10\text{ атм.}$ ). Це вапняно-кремнеземистий, вапняно-зольний, вапняно-шлаковий цементи.

## 2.1 Будівельний гіпс

Будівельним гіпсом (ДСТУ Б В.2.7-82:2010) називають повітряну мінеральну в'язучу речовину, отриману шляхом термічної обробки природного двуводного гіпсу ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) при температурі  $120\div 170\text{ }^{\circ}\text{C}$  до перетворення його в напівводний гіпс ( $\text{CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) зі здрібнюванням його в тонкий порошок до або після термічної обробки.

При термічній обробці природного двуводного гіпсу відбувається його дегідратація:

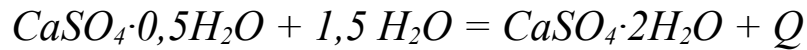


$$Q = 580 \text{ кДж на } 1 \text{ кг } \text{CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$$

До найважливіших властивостей будівельного гіпсу належать: тонина помелу, нормальна густина гіпсового тіста, терміни тужавлення, міцність при вигині і стиску гіпсового

каменю.

Гіпс твердіє в результаті гідратації, приєднуючи при цьому 1,5 молекули води, за реакцією:



$$Q = 133 \text{ кДж на } 1 \text{ кг } CaSO_4 \cdot 0,5 H_2O$$

У результаті напівводний гіпс знову переходить у гіпс двуводний.

Залежно від ступеня загущення гіпсового тіста розрізняють початок і кінець тужавлення. Початок тужавлення характеризується початком загущення тіста, а кінець тужавлення - втратою рухливості.

У зв'язку з цим при виробництві будівельних робіт необхідно знати час початку тужавлення гіпсу, щоб використовувати гіпсове тісто в покладений термін.

Будівельний гіпс характеризується коротким терміном твердіння: початок тужавлення гіпсу має наставати не раніше 4 хв, а кінець - не раніше 6 хв, але не пізніше 30 хв із моменту замішування порошку гіпсу з водою.

Застосування гіпсу як в'язучої речовини для виготовлення будівельних деталей і виробів, а також для виробництва штукатурних робіт обумовило вимоги до його міцності.

Швидкість твердіння і міцність гіпсу залежать від тонини помелу і початкової величини водозамішування: з підвищенням тонини помелу вони зростають, тому що чим більше питома поверхня, тим повніше взаємодія гіпсу з водою.

Особливо сильний вплив на міцність гіпсових виробів має величина початкового водозамішування, тобто кількість води, узята для приготування гіпсового тіста. Це пояснюється тим, що для отримання пластичного гіпсового тіста потрібно значно більше води, ніж на хімічну реакцію гідратації. Якщо ж води узято у кількості, більшій, ніж необхідно для хімічної реакції, то надлишок її після затвердіння гіпсу випаровується, залишаючи пори, що знижують міцність гіпсових виробів.

Тому для отримання порівнянних результатів при випробуванні варто готувати гіпсові зразки з тіста стандартної

пластичності, названої "нормальною густиною".

Нормальна густина гіпсового тіста виражається кількістю води в сантиметрах кубічних, що приходить на 100 г гіпсу, або кількістю води у відсотках від маси гіпсу. Звичайно нормальна густина будівельного гіпсу перебуває в межах 50÷70 %.

## 2.2 Визначення тонини помелу гіпсу

Тонина помелу гіпсу характеризується залишком на ситі із сіткою № 02 (розмір вічка в просвіті 0,2 мм), через яке просівають пробу гіпсу 50 г, попередньо висушеного в сушильній шафі протягом 1 год при температурі (50±5) °С.

Просівання вважається закінченим, якщо протягом 1 хв через сито проходить не більш 0,1 % (0,05 г) гіпсу. Контрольне просівання варто провести на папір при зняттю із сита дні. Закінчивши просівання, залишок на ситі зважують з точністю до 0,1 г (*m*) і розраховують залишок на ситі, що і характеризує тонину помелу гіпсу у відсотках за формулою:

$$T = \frac{m}{50} \cdot 100. \quad (2.1)$$

Залежно від тонини помелу гіпсові в'язучі поділяються на класи, наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Клас в'язучої речовини	Індекс тонини помелу	Максимальний залишок на ситі, %, не більше
Грубого помелу	I	23
Середнього помелу	II	14
Тонкого помелу	III	2

## 2.3 Визначення нормальної густини гіпсового тіста

Нормальну густоту гіпсового тіста визначають за допомогою приладу - віскозиметра Суттарда, що являє собою латунний циліндр висотою 100 мм із внутрішнім діаметром 50 мм (рисунок 2.1).

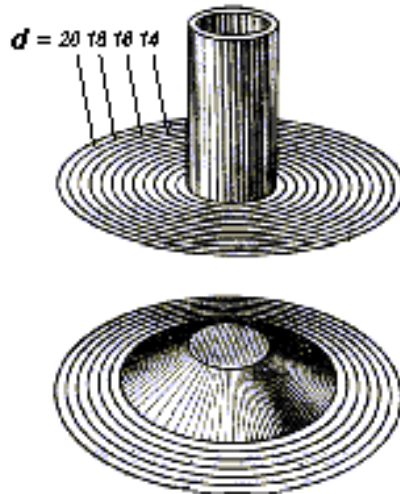


Рисунок 2.1 - Віскозиметр Суттарда

Циліндр повинний мати добре відполіровану внутрішню поверхню і місце зіткнення зі склом, на яке його встановлюють при проведенні випробувань.

На склі або папері під склом наносять ряд концентричних кіл діаметром від 150÷220 мм, причому кола діаметром від 170 до 190 мм наносять через 5 мм, а інші – через 10 мм.

Перед випробуванням циліндр і скло змочують водою. Скляну пластину кладуть строго горизонтально, а циліндр встановлюють у центрі концентричних кіл.

Для визначення нормальної густоти тіста наважку гіпсу (300 г) заливають водою, взятою в кількості приблизно 150÷200 мл. Гіпс додають до води і швидко розмішують шпателем протягом 30 с до одержання однорідної маси, почавши відлік часу від початку висипання гіпсу у воду. Після закінчення перемішування циліндр, встановлений у центрі скла, заповнюють гіпсовим тістом, надлишки якого зрізують шпателем. Через 45 с після початку висипання гіпсу у воду або через 15 с після закінчення циліндр швидким і строго вертикальним рухом піднімають нагору, при

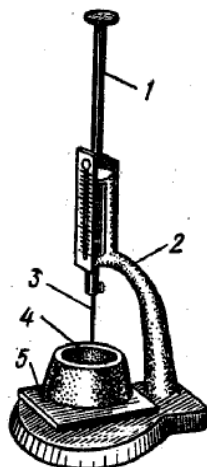
цьому тісто розливається на склі в конусоподібний корж (рисунок 2.1). Діаметр розпливу визначають за концентричними колами або вимірюють лінійкою у двох перпендикулярних напрямках з похибкою не більш 5 мм і розраховують середнє арифметичне значення.

Якщо тісто утворило корж діаметром  $180 \pm 5$  мм, значить, воно має нормальну густоту. У тому випадку, коли під час випробування діаметр коржа з гіпсового тіста буде більше  $180 \pm 5$  мм, експеримент повторюють з меншою кількістю води ( $1 \div 2$  %), якщо діаметр виявляється менше  $180 \pm 5$  мм, то експеримент повторюють з більшою кількістю води ( $1 \div 2$  %).

Нормальну густоту гіпсового тіста виражають відсотковим вмістом води від маси сухого гіпсу.

## 2.4 Визначення термінів тужавлення гіпсового тіста

Для визначення термінів тужавлення гіпсового тіста використовують прилад Віка, що складається зі станини, рухомого металевого стержня, латунного або пластмасового кільця у вигляді усіченого конуса, скляної пластинки (рисунок 2.2).



1 - рухливий стержень; 2 - станина; 3 - голка;  
4 - латунне кільце; 5 - скляна пластинка

Рисунок 2.2 - Прилад Віка

Перед початком випробування перевіряють вільне переміщення металевого стержня з голкою (маса якого 300 г); положення стрілки, що має бути на нулі, якщо голка упирається в пластинку; чистоту голки.

Для визначення термінів тужавлення відважують 200 г гіпсу, рівномірно всипають його в гумову грушу з водою, кількість якої відповідає нормальній густоті гіпсового тіста, і перемішують протягом 30 с.

Приготовлене тісто вливають у кільце приладу, встановлене на склі. Потім кільце поміщають під голку приладу, яку приводять до зіткнення з поверхнею тіста в центрі кільця, і закріплюють стержень затискним гвинтом. Голку через кожні 30 с опускають у гіпсове тісто так, щоб щоразу вона занурювалася в новому місці. Після кожного занурення голку витирають тканиною, а кільце пересувають.

Глибину занурення голки в гіпсове тісто фіксують за показанням стрілки, розташованої на рухливому стержні.

За отриманим значенням визначають два моменти: початок і кінець тужавлення. Початком тужавлення вважають проміжок часу від моменту замішування гіпсового тіста (висипання гіпсу у воду) до моменту, коли голка після занурення у тісто перший раз не доходить до поверхні пластинки.

Кінцем тужавлення вважають проміжок часу від моменту замішування гіпсового тіста до моменту занурення голки в тісто не більше ніж на 1 мм.

Час від початку і кінця тужавлення виражають у хвилинах.

Терміни тужавлення гіпсових в'язучих залежно від групи мають відповідати значенням, поданими у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Група в'язучої речовини	Індекс терміну тверднення	Термін тужавлення, хв	
		початок,	кінець,



		не раніше	не пізніше
Швидкого тверднення	А	2	15
Нормального тверднення	Б	6	30
Повільного тверднення	В	20	Не нормується

## 2.5 Визначення міцності гіпсового каменю

Для оцінки якості і сорту гіпсу його пробу випробовують у лабораторії, де визначають границю міцності при вигині і стиску зразків-балочок розміром  $40 \times 40 \times 160$  мм, виготовлених з гіпсового тіста.

Для виготовлення трьох балочок відважують 1 кг гіпсу і відміряють кількість води, що відповідає нормальній густоті тіста.

Після приготування гіпсового тіста у сферичній чаші, його заливають у металеві форми для виготовлення зразків (рисунок 2.3).

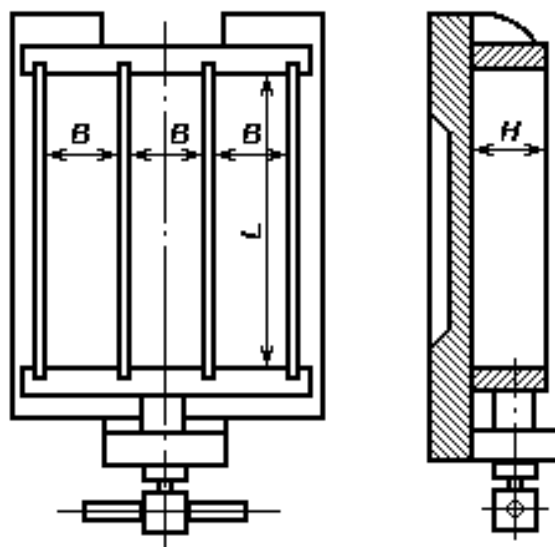


Рисунок 2.3 - Форма для виготовлення зразків-балочок:  
 $H$  - 40 мм,  $B$  - 40 мм,  $L$  - 160 мм

Після наповнення форм поверхню загладжують шпателем.

Через 1 год від початку замішування гіпсового тіста зразки виймають з форм, і через 2 год після замішування тіста зразки випробовують на вигин.

Границю міцності при вигині розраховують за формулою (2.2), або (2.3) як середнє результатів випробувань трьох зразків.

$$\sigma_{виг} = \frac{3PL}{2bh^2}, \quad (2.2)$$

де  $P$  - руйнівне навантаження, кгс;

$L$  - випробувальна база,  $l = 10$  см);

$b$  - ширина зразка, см;

$h$  - висота зразка, см.

$$R_{виг} = 0,0234 \cdot F \text{ МПа } (0,234 \cdot F \text{ кгс/см}^2), \quad (2.3)$$

де  $F$  - руйнівне навантаження, МПа або кгс/см<sup>2</sup>.

Схема випробувань наведена на рисунку 2.4.

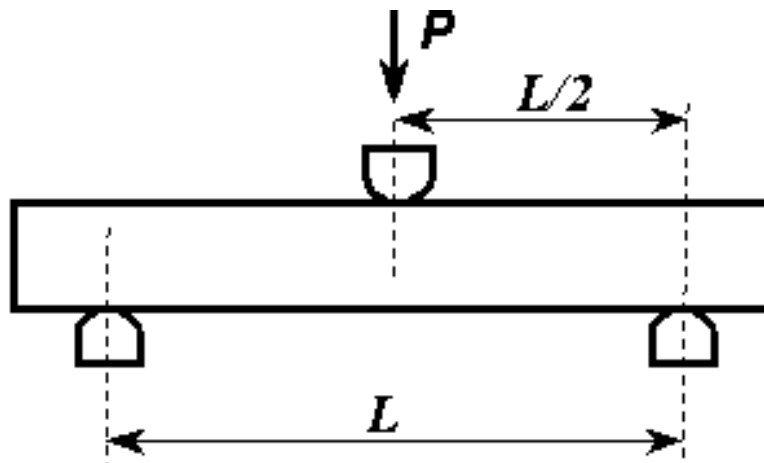


Рисунок 2.4 - Схема випробування зразків-балочок на вигин

Границю міцності при стиску визначають шляхом випробування шести половинок балочок, отриманих при випробуванні на вигин на гідравлічному пресі. Для передачі навантаження на половинки балочок користуються сталевими

пластинами розміром  $40 \times 62,5$  мм (площа  $25 \text{ см}^2$ ) (рисунок 2.5).

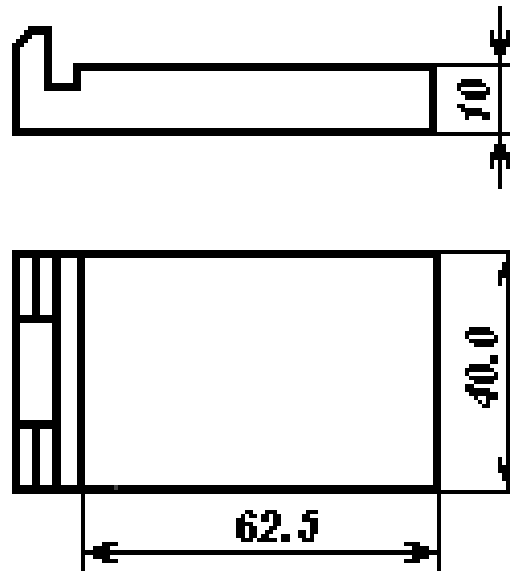
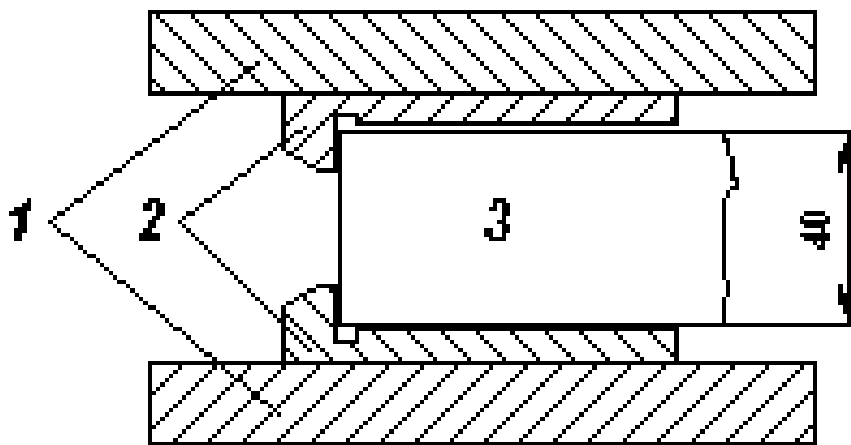


Рисунок 2.5 - Пластини для передачі навантаження при випробуванні на стиск половинок балочок розміром  $40 \times 40 \times 160$  мм

Схема випробування половинок балочок на стиск наведена на рисунку 2.6.



1 - плити преса; 2 – пластини; 3 - половина балочки

Рисунок 2.6 - Схема випробування половинок балочок на стиск

Границю міцності при стиску обчислюють за формулою (2.4):

$$R_{cm} = \frac{P}{S}, \quad (2.4)$$

де  $P$  - руйнівне навантаження, кгс;

$S$  - робоча площа пластинки,  $S = 25 \text{ см}^2$ .

За остаточний результат приймають середній з чотирьох результатів випробування шести зразків-половинок. Найбільше і найменше значення відкидають.

За результатами випробувань визначають марку гіпсу.

Марка гіпсу характеризується границею міцності на стиск у *мегапаскалях* стандартного зразка у віці 2 год.

Показники границі міцності при стиску і вигині для кожної марки гіпсового в'язучого мають відповідати значенням, наведеним у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Марка в'язучого	Границя міцності зразків-балочок розмірами 40×40×160 мм у віці 2 год, не менше	
	при стиску	при вигині
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-8	8	3,85
Г-9	9	4,2
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Приклад умовного позначення гіпсового в'язучого марки 5, швидкого тверднення, грубого помелу:  
ГВ Г-5-А-І ДСТУ Б В.2.7-82:2010.

### **Контрольні запитання**

- 1 Які матеріали мають назву неорганічних в'язучих?
- 2 На які види підрозділяють неорганічні в'язучі речовини?
- 3 Основні властивості та галузь застосування повітряних в'язучих речовин.
- 4 Виробництво будівельного гіпсу, його властивості та використання.
- 5 Пояснити методику визначення тонини помелу, строків тужавлення, нормальної густини будівельного гіпсу.
- 6 За якими показниками визначають якість гіпсу?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЦЕМЕНТ**

Серед мінеральних в'язучих речовин найбільше застосування в будівництві мають портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий цемент і композиційний цемент (ДСТУ Б В.2.7-46:2010).

Портландцемент являє собою мінеральну гідравлічну в'язучу речовину - продукт тонкого помелу цементного клінкера з невеликою добавкою (3÷5 %) природного гіпсу. Цементний клінкер одержують у результаті випалу до спікання при температурі 1400÷1450 °С сировинної суміші з вапняку (70÷76 %) і глини (22÷30 %). Природний гіпс додається для уповільнення термінів тужавлення цементу.

### **3.1 Визначення тонкості помелу цементу**

Тонкість помелу цементу впливає на властивості цементу: швидкість тужавлення і твердіння, а також міцність затверділого цементного каменю. Чим тонше здрібнений цементний клінкер, тим швидше і повніше протікає взаємодія цементу з водою і тим вище буде його міцність. Визначення тонкості помелу роблять ситовим аналізом, а також за питомою поверхнею (ДСТУ Б В.2.7-188:2009).

### ***3.1.1 Визначення тонкості помелу цементу ситовим аналізом***

Ситовий аналіз здійснюється просіванням цементу через сито № 008 (розмір сторони вічка у просвіті 0,08 мм).

З відібраної проби, попередньо висушеної в сушильній шафі при температурі  $105 \div 110$  °С протягом 2 год, відважують 50 г цементу з точністю до 0,05 г, поміщають у сито, закривають кришкою і просівають, струшуючи сито в похилому положенні і поступово повертаючи навколо вертикальної осі. Просівання вважається закінченим тоді, коли протягом однієї хвилини контрольного просівання на аркуш паперу через сито проходить не більш 0,05 г цементу.

Тонкість помелу характеризується кількістю цементу, що залишився на ситі № 008 у відсотках до первісної маси проби, що просівається. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-46:2010 залишок на ситі не повинен перевищувати 15 %. За відсутності приладу для механічного просівання, наважку просівають вручну.

### **3.2 Визначення нормальної густоти цементного тіста**

Нормальну густоту цементного тіста визначають згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-185:2009 за допомогою приладу Віка (рисунок 2.2), що застосовувався для визначення термінів тужавлення гіпсу. Але в даному випадку голка приладу замінюється товкачиком Тетмайєра - металевим стержнем діаметром 10 мм і довжиною 50 мм.

Маса рухомого стержня приладу складає 300 г.

Для визначення нормальної густоти цементного тіста зважують 400 г цементу. Поміщають у сферичну чашу діаметром 400 мм і висотою 200 мм. У цементному порошку роблять заглиблення, у яке за один прийом вливають воду, що відміряна з точністю до 0,5 мл. Після заливання води поглиблення заповнюють цементним порошком і через 30 с. починають перемішувати, а потім енергійно розтирати тісто лопаткою. Розтирання слід вести поперемінно у взаємно перпендикулярних напрямках. Тривалість перемішування - 5 хв з моменту додавання води.

Приготовлене цементне тісто переносять у кільце приладу, встановленого на металевій пластині. Кільце, заповнене цементним тістом, струшують три-чотири рази, постукуючи об стіл металевою пластиною піддона.

Перевіривши справність приладу, кільце з цементним тістом установлюють під металевий стержень, який доводять до зіткнення з тістом. Рухливий стержень звільняють (поворотом гвинта), і він вільно занурюється в тісто. Через 30 с відраховують глибину занурення стержня по шкалі приладу.

Нормальна густота характеризується відсотковим вмістом води від маси цементу, при консистенції цементного тіста, коли стержень не доходить до дна (металевої пластини) на  $5 \div 7$  мм.

Якщо консистенція цементного тіста не відповідає нормальній густоті, змінюють кількість води і знову замішують тісто.

Нормальна густота цементного тіста з портландцементу звичайно перебуває в межах  $22 \div 28$  %. Для першого досліду слід застосовувати середнє значення.

### **3.3 Визначення термінів тужавлення цементного тіста**

Початок і кінець тужавлення цементного тіста визначають згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-185:2009 за допомогою приладу Віка (рисунок 2.2) на цементному тісті нормальної густоти, але замість товкачика Тетмайєра в рухому частину приладу закріплюють голку діаметром 1 мм і довжиною 50 мм.

Перед визначенням термінів тужавлення стержень з голкою необхідно встановити на металеву пластину, а стрілку приладу звести з нулем. Після цього кільце заповнюють цементним тістом нормальної густини так само, як і при визначенні нормальної густини.

Голку зі стержнем підводять до поверхні цементного тіста і закріплюють гвинтом, після чого швидко звільняють фіксуючий гвинт і дають можливість голці вільно опускатися в цементне тісто. Дослід повторюють через кожні 10 хв, при цьому голку витирають і опускають у нове місце шляхом зсуву кільця з пластиною щодо голки.

За початок тужавлення приймають час (у годинах або хвилинах), що пройшов від початку замішування тіста до моменту, коли голка не дійде до дна на  $2 \div 4$  мм. За кінець тужавлення приймають час від початку замішування до моменту, коли голка буде опускатися в тісто не більше ніж на  $1 \div 2$  мм.

Нормативний початок тужавлення для всіх цементів настає не раніше, ніж через 45 хв, а кінець тужавлення - не пізніше 10 год від початку замішування.

### **Контрольні запитання**

- 1 Що таке портландцемент?
- 2 Що є сировиною для виробництва портландцементу?
- 3 Технологія виробництва цементу за мокрим та сухим методом.
- 4 Основні властивості цементу.
- 5 Методика визначення тонкості помелу цементу,



нормальної густоти і термінів тужавлення цементного тіста.

#### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ВИПРОБУВАННЯ ЦЕМЕНТУ. ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ЦЕМЕНТУ**

Марку цементу встановлюють за показниками границі міцності при стиску половинок зразків-балочок розміром  $40 \times 40 \times 160$  мм з урахуванням їх границі міцності при вигині (ДСТУ Б В.2.7-187:2009). Зразки виготовляють з цементно-піщаного розчину нормальної консистенції складу 1:3, одна частина (за масою) цементу і три частини піску, при водоцементному відношенні не менш 0,4 і консистенції розчину, що характеризується розпливанням конуса на струшувальному столику в межах  $106 \div 115$  мм. Використовують стандартний (нормальний) пісок за ДСТУ Б В.2.7-189:2009, крупність зерен від 0,08 до 2,0 мм.

##### **4.1 Визначення нормальної консистенції цементно-**

## піщаного розчину

Для визначення нормальної консистенції цементно-піщаного розчину з водоцементним відношенням -  $V/C$  - 0,4 відважують 1500 г піску і 500 г цементу, висипають у сферичну чашу і перемішують суху суміш протягом 1 хв. Потім у центрі суміші роблять лунку і вливають у неї 200 мл води. Суміш вручну перемішують протягом 1 хв і переносять у механічну мішалку, у якій остаточно перемішують протягом 2,5 хв.

Механічна мішалка являє собою чашу, що обертається зі швидкістю 8 об/хв. Мішалка обладнана напрямним лопатками і валком для змішування компонентів розчину (цемент, вода, пісок). Перемішування розчину продовжується протягом 20 обертів чаші (рисунок 4.1).

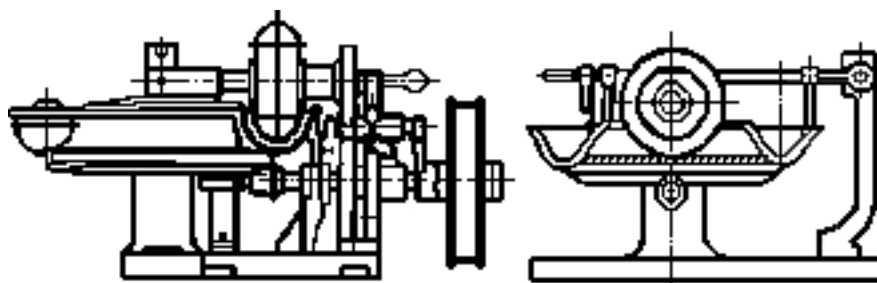


Рисунок 4.1 - Механічна мішалка для приготування цементно-піщаного розчину

Консистенцію цементного розчину визначають за допомогою струшувального столика і форми-конуса.

Столик являє собою чавунну станину 1 (рисунок 4.2, а). У горизонтальних підшипниках розташований вал 2 з кулачком 3, що при обертанні вала рукояткою піднімає вертикальну вісь 4 з розташованим на ній горизонтальним диском 5. За допомогою

кулачка вісь разом з укріпленим диском здобуває одне струшування за 1 оборот вала. На диск поміщають скло, під склом розташовано лист паперу, на який нанесені концентричні кола. Конус з насадкою діаметром основи 70 і 100 мм і висотою 60 мм (рисунок 4.2, б) встановлюється в центрі скла.

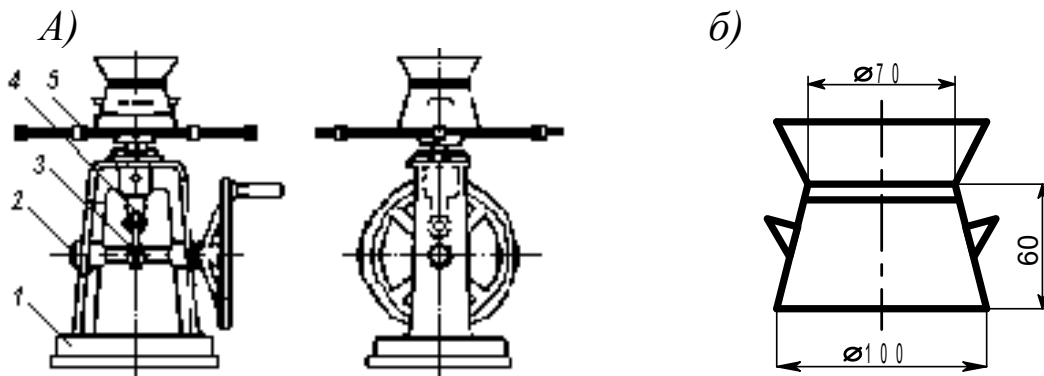


Рисунок 4.2 - Струшувальний столик (а) і форма-конус (б)

Консистенцію цементного розчину на струшувальному столику визначають у такий спосіб. Після закінчення перемішування цементного розчину заповнюють ним форму-конус у два прийоми шарами однакової товщини, ущільнюючи розчин кожного шару спеціальною штиківкою (рисунок 4.3).

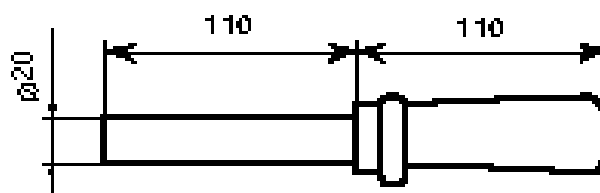


Рисунок 4.3 - Штиківка для ущільнення цементно-піщаного розчину

Нижній шар штикують 15 разів, верхній шар - 10 разів. Перед укладанням розчину форму-конус і скло зволожують. Після ущільнення цементного розчину надлишок розчину зрізують ножом і форму обережно знімають вертикально вгору.

При струшуванні конус розчинної суміші починає

розтікатися в корж. Через 30 струшувань (1 об/с) вимірюють розпливання конуса (діаметр коржа) у двох взаємно перпендикулярних напрямках вимірювальним інструментом.

Консистенція розчину вважається нормальною, якщо розпливання конуса перебуває в межах 106÷115 мм. Якщо він буде складати менш 106 мм, варто збільшити кількість води в розчині. Мінімальна кількість води має бути 40 % від маси цементу.

## **4.2 Виготовлення зразків-балочок**

Перед виготовленням зразків для випробування на вигин внутрішню поверхню стінок форми і піддона (рисунок 2.3) змазують машинним мастилом і закріплюють на вібромайданчику з амплітудою коливань  $0,35 \pm 0,03$  мм і частотою коливань 2800÷3000 кол./хв.

Усі три гнізда форми заповнюють розчином, спочатку приблизно на 1 см по висоті і включають вібромайданчик, потім протягом 2 хв вібрації всі три гнізда форми рівномірно невеликими порціями остаточно заповнюють розчином.

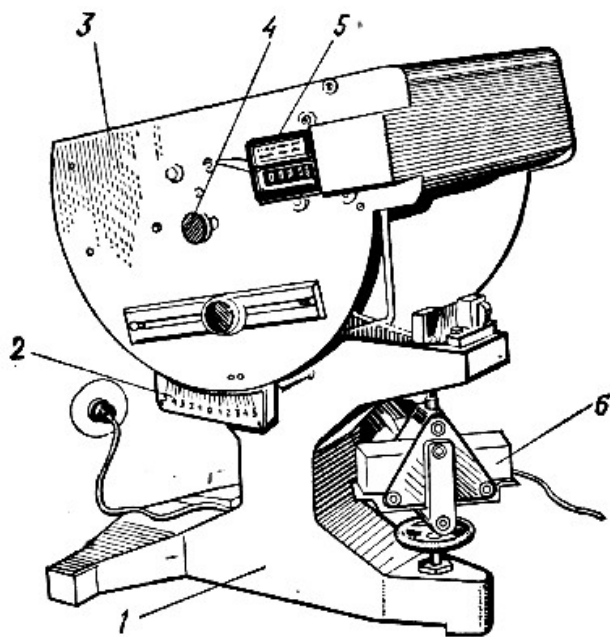
Через 3 хв, від початку вібрації вібромайданчик виключають, знімають з нього форму, зрізують надлишок розчину змоченим ножем, поверхню зразків зачищають урівень із краями форми, маркірують і поміщають у ванну з гідравлічним затвором.

Через  $24 \pm 2$  год після виготовлення форми обережно розкривають, зразки в горизонтальному положенні занурюють на 27 діб у ванну з водою ( $t = 20 \pm 2$  °C) так, щоб вони не торкалися один одного.

Після закінчення терміну збереження зразки витягають з води, насухо витирають і не пізніше ніж через 10 хв випробовують.

## **4.3 Визначення границі міцності зразків на вигин та тиск**

Міцність зразків при вигині можна визначити на приладі МП-100 (рисунок 4.4) або за методикою випробування, що викладена в розділі 2.5 "Визначення міцності гіпсового каменю".



1 - станина; 2 - шкала; 3 - коромисло; 4 - рукоятка тумблера;  
5 - лічильник; 6 - випробовуваний зразок

Рисунок 4.4 - Випробувальна машина *МІІ-100* для визначення границі міцності при вигині

Границя міцності при вигині визначається як середнє арифметичне значення двох найбільших результатів випробувань трьох зразків.

Отримані після випробувань на вигин у результаті зламу шість половинок балочок відразу ж випробовують на стиск.

Випробування на стиск проводяться за тією самою методикою, що й випробування половинок балочок гіпсових зразків (розділ 2.5).

Отриману в такий спосіб величину називають активністю цементу.

Марка цементу характеризується границею міцності на стиск,  $\text{кг/см}^2$ , стандартного зразка у віці 28 діб (для цементів, що швидко твердіють, - 3 доби), що тверділи в нормальних умовах.

Марку цементу знаходять за результатами визначення границь міцності цементу при стиску й вигині, порівнюючи ці результати з вимогами ДСТУ на відповідний цемент. Для кожної марки портландцементу і його різновидів границі міцності при

вигині й при стиску зразків не повинні бути нижче значень, що наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вимоги до марок портландцементу та його різновидів

Найменування цементу	Марка цементу	Границя міцності у віці 28 діб, МПа ( <i>кгс/см<sup>2</sup></i> )	
		при вигині	при стиску
Портландцемент, портландцемент з мінеральними добавками, шлакопортландцемент	300	4,4 (45)	29,4 (300)
	400	5,4 (55)	39,2 (400)
	500	5,9 (60)	49 (500)
	550	6,1 (62)	53,9 (550)
	600	6,4 (65)	58,8 (600)

### Контрольні запитання

- 1 Марка цементу - що це таке?
- 2 Яка методика визначення марки цементу?
- 3 У яких умовах зберігаються зразки для визначення марки цементу?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. БЕТОНИ

### 5.1 Загальні положення

Бетоном називається штучний кам'яний матеріал, отриманий у результаті затвердіння раціонально підбраної й ущільненої бетонної суміші, що складається з в'язучої речовини, води, заповнювачів (піску, щебеню або гравію) і в необхідних випадках спеціальних добавок.

Суміш цих матеріалів до затвердіння називається бетонною сумішшю.

Зерна піску і щебеню складають кам'яний каркас у бетоні. Цементне тісто, що утворюється після замішування бетонної суміші з водою, вкриває зерна піску і щебеню, заповнює проміжки між ними і відіграє на початку роль змащення заповнювачів, що забезпечує рухливість (текучість) бетонної суміші, а згодом,

тверднучи, зв'язує зерна заповнювачів, утворюючи штучний камінь - бетон. Бетон у сполученні зі сталевією арматурою називається залізобетоном. Заповнювачі, утворюючи твердий каркас бетону, зменшують його усадку при твердінні цементного каменю.

Бетони класифікують за рядом їхніх властивостей: за середньою густиною, міцністю, за призначенням і за видом в'язучої речовини.

1 За середньою густиною бетони підрозділяються:

- на особливо важкий ( $\rho_{\text{сер}} \geq 2500 \text{ кг/м}^3$ ; заповнювач - барит, метал);
- важкий ( $\rho_{\text{сер}} = 2200 \div 2500 \text{ кг/м}^3$ ; заповнювач - щебінь з гірської породи або гравій, кварц, пісок кварцовий);
- полегшений ( $\rho_{\text{сер}} = 1800 \div 2200 \text{ кг/м}^3$ );
- легкий ( $\rho_{\text{сер}} = 500 \div 1800 \text{ кг/м}^3$ );
- особливо легкий ( $\rho_{\text{сер}} \leq 500 \text{ кг/м}^3$ ).

2 За границею міцності при стиску зразків розміром  $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$  бетони підрозділяються на марки і класи. Клас бетону - міцність, гарантована з визначеною забезпеченістю 0,95 (тобто це означає, що встановлена класом міцність забезпечується не менш ніж у 95 випадках із 100).

3 За призначенням бетони бувають таких видів:

- звичайний бетон (для несучих елементів споруд і конструкцій, що сприймають механічні навантаження);
- транспортний бетон, у тому числі і дорожній (для конструкцій і елементів конструкцій, що працюють у нестабільних умовах впливу середовища і навантажень: дорожні й аеродромні покриття, підрейкові основи, мости, труби). Цей бетон має високу морозостійкість, динамічну й втомну міцність;
- гідротехнічний бетон (для експлуатації в умовах безперервної зміни вологості, заморожування і відтавання, а також можливості сольової корозії);

- облицювальний і оздоблювальний бетон;
- спеціальні бетони (для захисту навколишнього середовища і людей від радіоактивного випромінювання), кислотостійкий, жаростійкий, теплоізоляційний тощо.

4 За видом в'язучої речовини розрізняють:

а) бетони на мінеральних в'язучих:

- цементний;
- силікатний (з вапняним в'язучим);
- з гіпсовим в'язучим;
- зі змішаним в'язучим;

б) бетони на органічних в'язучих:

- асфальтовий;
- полімербетон (ПЦБ - полімерцементний бетон, ПСБ - полімерсилікатний бетон, БП - бетонополімер, ПБ - полімербетон).

## **5.2 Заповнювачі для бетону**

Залежно від призначення й умов експлуатації бетону в споруді заповнювачі повинні мати певні властивості і задовольняти вимоги ДСТУ Б В.2.7-43-96.

### **5.2.1 Пісок, зерновий склад і модуль крупності**

До піску належить вся маса корисної копалини з розміром зерен від 0,14 до 5,0 мм. У піску не допускаються зерна розміром більш 10 мм, а зерен розміром від 5 до 10 мм має бути не більше 10 % за масою. Кількість зерен, що проходять через сито з розміром вічок сітки 0,14 мм, не повинна перевищувати 10 % за масою.

На якість бетону впливає зерновий (гранулометричний) склад піску і кількісний вміст у ньому різних домішок: пилоподібних,



мулистих, глинистих і органічних. Вміст їх визначається відмулюванням і кількісно не має перевищувати 3 % у природному піску і 5 % - у дробленому, у тому числі не більше 0,15 % глини. Найбільш шкідливою в піску є домішка глини, що вкриває шаром окремі зерна піску і перешкоджає зчепленню їх з цементним каменем, знижуючи міцність бетону.

Зерновий (гранулометричний) склад піску має особливе значення для отримання якісного бетону. Пісок має складатися із зерен різної величини в межах 0,14÷5 мм і тоді об'єм пустот у ньому буде мінімальним.

Зерновий склад піску визначають відповідно до ДСТУ Б В.2.7-232:2010 просіванням сухого піску через стандартний набір сит з отворами розміром 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм.

Висушену до постійної маси пробу піску просівають крізь сита з круглими вічками діаметром 10 і 5 мм. Залишки на цих ситах зважують і розраховують з точністю до 0,1 % відсотковий вміст у піску зерен розмірами 5÷10 мм і вище 10 мм.

З проби піску, що пройшов через зазначені сита, відважують 1000 г ( $m$ ) піску і просівають послідовно через набір сит з вічками розмірами 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Залишки на кожному ситі зважують ( $m_i$ ) і розраховують:

1) частковий залишок  $a_i$  на кожному ситі - як відношення маси залишку на даному ситі до маси наважки, що просівається, %:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (5.1)$$

де  $m_i$  - маса залишку на даному ситі, г;

$m$  - загальна маса наважки, що просівається, г;

2) повний залишок  $A_i$  на кожному ситі - як суму часткових

залишків на всіх ситах з більшим розміром вічок плюс залишок на даному ситі, %:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (5.2)$$

де  $a_{2,5} \div a_i$  - часткові залишки на ситах з більшим розміром вічок, починаючи із сита з розміром вічок 2,5 мм, %;  
 $a_i$  - частковий залишок на даному ситі в %;

3) модуль крупності піску  $M_k$  - як окреме від поділу на 100 суми повних залишків на всіх ситах, починаючи із сита з розміром вічок 2,5 мм і закінчуючи ситом з розміром вічок 0,14 мм:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}, \quad (5.3)$$

де  $A_{2,5} (1,25; 0,63; 0,315; 0,14)$  - повні залишки на ситах, %.

Зерновий склад піску в бетоні має відповідати кривій просівання, обраної при проектуванні складу бетону відповідно до графіка (рисунок 5.1).

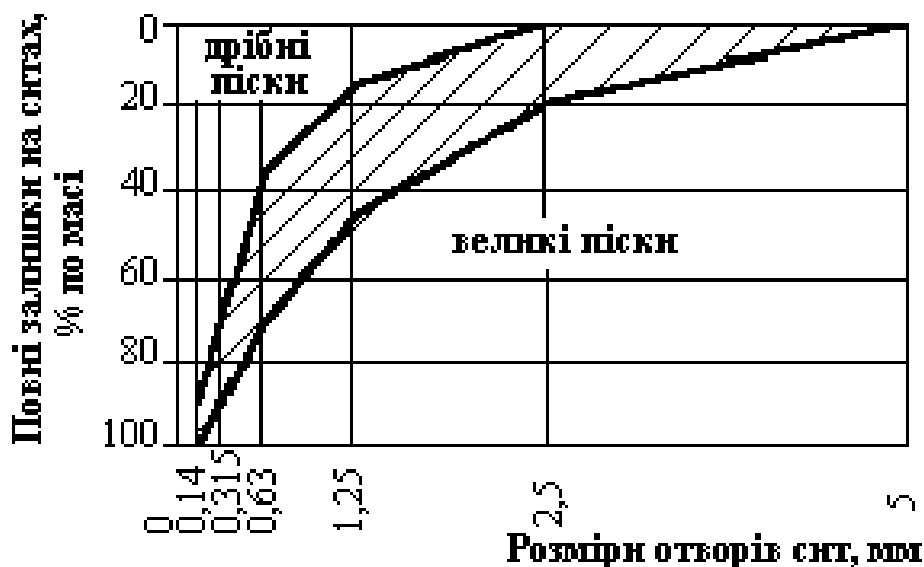


Рисунок 5.1 - Зерновий склад піску

За модулем крупності і повним залишком на ситі № 063 визначають групу піску за крупністю таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Група піску	Повний залишок на ситі № 063, % за масою	Модуль крупності $M_k$
Підвищеної крупності	65÷75	3÷3,5
Крупний	45÷65	2,5÷3
Середній	30÷45	2÷2,5
Дрібний	10÷30	1,5÷2
Дуже дрібний	менш 10	1÷1,5

Для бетону рекомендується модуль крупності ( $M_k$ ) в межах 2÷3, тобто піски крупні і середні.

### **5.2.2 Крупний заповнювач, зерновий склад**

Як крупний заповнювач для важкого бетону застосовується гравій або щебінь з гірських порід (ДСТУ Б В.2.7-75-98), а також штучні матеріали.

Гравієм називається скупчення зерен розміром 5÷70 мм, що утворилися в результаті природного руйнування гірських порід.

Зерно гравію має обкатану форму і гладку поверхню.

Щебінь отримують шляхом подрібнення масивних гірських порід на частки розміром 5÷70 мм.

Граничний розмір зерен щебеню не повинен перевищувати одну чверть мінімального розміру перерізу конструкції, а також перевищувати відстань між окремими елементами арматури в залізобетонній конструкції. Наприклад, для залізобетонної балки шириною 20 см допускається щебінь із граничною величиною зерен  $200:4=50$  мм. Для плит і підлог допускається до половини товщини шару.

Крупний заповнювач поставляють фракціями: 5÷10; 10÷20; 20÷40; 40÷70. У деяких випадках допускається випускати і поставляти суміш фракцій, а також щебінь фракцій 70÷120 та

120÷150 мм.

Зерновий склад безпосередньо впливає на пустотність заповнювача, від якої залежить витрата в'язучої речовини. Чим більша пустотність, тим більша витрата в'язучої речовини і навпаки. При заповненні пустот крупного заповнювача зернами дрібної фракції пустотність суміші буде зменшуватися. На рисунку 5.2 подано залежність об'єму пустот суміші фракцій від вмісту дрібного і крупного заповнювача.

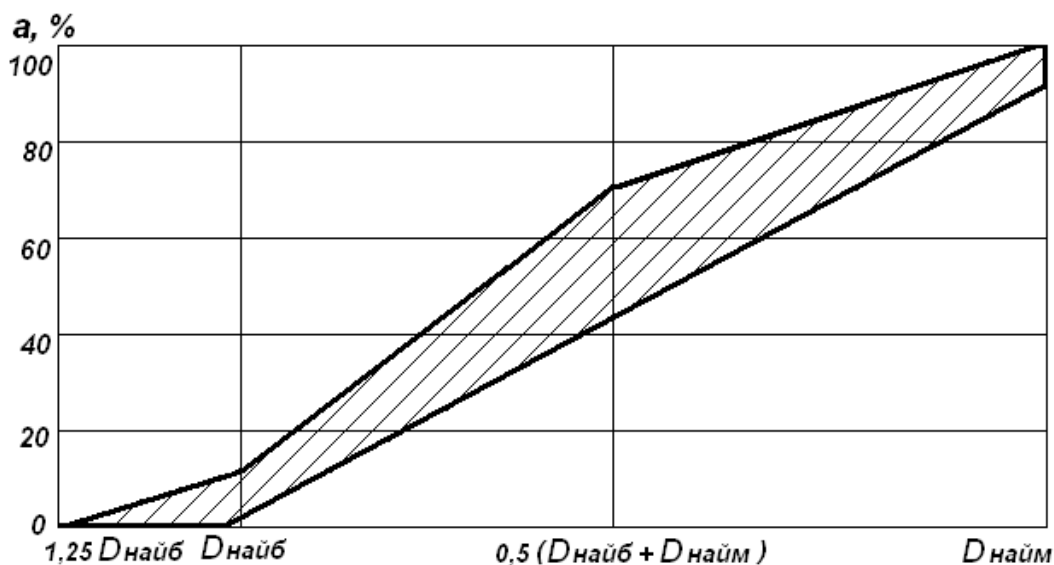


Рисунок 5.2 - Зерновий склад гравію (бетону)

Для визначення зернового складу крупного заповнювача використовують стандартний набір сит з вічками діаметром 3; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60 і 70 мм.

Маса проб приймається залежно від розміру зерен 5; 10; 30 і 50 кг. Пробу заповнювача просівають через стандартний набір сит, складених у стовпчик.

Залишки матеріалу на кожному із сит висушують до постійної маси, зважують і визначають у відсотках часткові залишки (відношення маси залишку на кожному ситі до маси наважки, що просівається,) і повні залишки (сума часткових залишків на всіх ситах з більш великим розміром вічок плюс залишок на даному ситі).

Найбільшу крупність зерен ( $D_{\text{max}}$ ) встановлюють за розміром вічка першого із сит, повний залишок на якому не перевищує 5 % від наважки, що просівається.

Найменшу крупність зерен ( $D_{\min}$ ) щебеню встановлюють за розміром вічка першого із сит, повний залишок на якому складає 95 %.

За отриманими даними зернового складу щебеню будують криву розсіву на графіку (рисунок 5.2) та дають висновок щодо умов використання.

### **Контрольні запитання**

- 1 Що називають бетоном?
- 2 Який принцип класифікації бетонів?
- 3 Які бувають види заповнювачів?
- 4 Як визначається модуль крупності піску?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. ПРИНЦИПИ ПІДБОРУ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ**

Підбір складу важкого (звичайного) бетону полягає у встановленні найбільш раціонального співвідношення між складовими матеріалами бетону (цементом, водою, піском, щебенем або гравієм) і виконується відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-215:2009.

Склад бетону виражається витратою всіх складових матеріалів за масою на  $1 \text{ м}^3$  покладеної і ущільненої бетонної суміші.

Розрізняють два склади бетону: номінальний (лабораторний) і виробничий (польовий) - для матеріалів у природно-вологодому стані.

## 6.1 Розрахунок орієнтовного складу бетону

Для розрахунку складу важкого бетону необхідно мати такі дані:

- задану марку бетону -  $R_b$ ;
- необхідну легкоукладальність бетонної суміші, обумовлену осіданням конуса -  $OK$ ,  $cm$ , або жорсткістю  $Ж$  -  $c$ ;
- активність, або марку цементу -  $R_u$ ;
- насипну густину складових -  $\rho_{nc}, \rho_{np}, \rho_{nc}$ ;
- істинну густину складових -  $\rho_u, \rho_n, \rho_{uc}$ ;
- пустотність щебеню -  $V_{n.uc}$ ;
- найбільшу крупність щебеню -  $D_{max}$ ;
- вологість заповнювачів -  $W_n, W_{uc}$ ;
- коефіцієнт розсунення зерен щебеню  $\alpha = 1,1 \div 1,56$ .

Склад бетону для спробних замісів розраховують у такій послідовності: розраховують водоцементне відношення, витрату води, витрату цементу, після чого визначають витрати крупного і дрібного заповнювача на  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші.

1 Водоцементне відношення  $B/C$  розраховують шляхом перетворення формули основного закону міцності бетону (6.1), виходячи з необхідної марки бетону, активності цементу і з урахуванням виду і якості складових за формулами (6.2) і (6.3):

$$R_b = A \cdot R_u (C / B \pm 0,5), \quad (6.1)$$

для бетонів з  $B/C \geq 0,4$

$$B/C = \frac{A \cdot R_u}{R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u}, \quad (6.2)$$

для бетонів з  $B/C < 0,4$

$$B/C = \frac{A_1 \cdot R_u}{R_b - 0,5 \cdot A_1 \cdot R_u}, \quad (6.3)$$

де  $R_b$  - марочна міцність бетону,  $кгс/см^2$ , (МПа);

$R_u$  - активність цементу,  $кгс/см^2$ , (МПа);

$A, A_1$  - коефіцієнт, що враховує якість матеріалів (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 - Залежність значення коефіцієнтів  $A$  і  $A_1$  від якості заповнювачів

Характеристика заповнювачів	$A$	$A_1$
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Зниженої якості	0,55	0,37

2 Витрату води визначають, орієнтовно виходячи з заданої легкоукладальності бетонної суміші і крупності зерен заповнювача за графіком професора Миронова або за табличними даними (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 - Орієнтовні витрати води на  $1 м^3$  бетонної суміші на щільних заповнювачах

Показник	Жорсткість, $c$	Осідання конуса, $см$	Витрата води, $л/м^3$ , при крупності, $мм$							
			гравію				Щебеню			
			10	20	40	70	10	20	40	70
V0	$\geq 31$	-	150	135	125	120	160	150	135	130
V1	$30 \div 21$	-	160	145	130	125	170	160	145	140
V2	$20 \div 11$	-	165	150	135	130	175	165	150	155
V3	$10 \div 6$	-	175	160	145	140	185	175	160	155
S1(V4)	$5 \div 3$	$< 4$	190	175	160	155	200	190	175	170
S2	-	$5 \div 9$	200	185	170	165	210	200	185	180
S3	-	$10 \div 15$	215	205	190	180	225	215	200	190
S4	-	$16 \div 21$	225	220	205	195	235	230	215	205

3 Витрату цементу визначають на  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші за водоцементним відношенням  $B/C$  і водопотребою (витрата води)  $B$  бетонній суміші

$$C = \frac{B}{B/C}. \quad (6.4)$$

4 Витрата заповнювачів (піску, щебеню) у кілограмах на  $1 \text{ м}^3$  бетону розраховують, виходячи з двох умов:

а) сума абсолютних об'ємів усіх компонентів бетону дорівнює  $1 \text{ м}^3$  ( $1000 \text{ дм}^3$ ) ущільненої бетонної суміші

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_b} + \frac{P}{\rho_n} + \frac{Ш}{\rho_{шц}} = 1000; \quad (6.5)$$

б) цементно-піщаний розчин заповнює порожнечу у великому заповнювачі з деяким розсуненням зерен

$$\frac{C}{\rho_c} + B + \frac{P}{\rho_n} = V_{n.ш} \frac{Ш}{\rho_{шц}} \cdot \alpha. \quad (6.6)$$

Розв'язуючи спільно ці два рівняння, знаходять формулу для визначення витрати щебеню в кілограмах на  $1 \text{ м}^3$  бетону:

$$Ш = \frac{1000}{\frac{V_{n.ш} \cdot \alpha}{\rho_{шц}} + \frac{1}{\rho_c}}. \quad (6.7)$$

Після визначення витрати щебеню розраховують витрату піску,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , як різницю між проектним об'ємом бетонної суміші і сумою абсолютних об'ємів цементу, води і великого заповнювача

$$P = \left[ 1000 - \left( \frac{C}{\rho_c} + B + \frac{Ш}{\rho_{шц}} \right) \right] \cdot \rho_n. \quad (6.8)$$

5 Визначають розрахункову густину бетонної суміші,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

$$\rho_{б.сум} = C + B + P + Ш. \quad (6.9)$$



6 Визначають коефіцієнт виходу бетонної суміші:

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}} = \frac{1000}{\frac{Ц}{\rho_{нц}} + \frac{П}{\rho_{нп}} + \frac{Щ}{\rho_{нщ}}} \quad (6.10)$$

де  $V_{ц}$ ;  $V_{п}$ ;  $V_{щ}$  - насипний об'єм відповідно цементу, піску і щебеню.

Значення коефіцієнта перебуває в межах  $0,55 \div 0,75$ .

## 6.2 Приклад розрахунку складу важкого бетону

$$R_{\sigma} = 300 \text{ кгс/см}^2;$$

$$OK = 3 \text{ см};$$

$$R_{ц} = 460 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\rho_{нц} = 1200 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{ц} = 3100 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{нп} = 1500 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{п} = 2600 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{нщ} = 1600 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{щ} = 2700 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{нщ} = 0,41;$$

$$D_{\max} = 40 \text{ мм};$$

$$W_{п} = 4\%;$$

$$W_{щ} = 1\%.$$

1 Розрахунок водоцементного відношення:

$$R_{\sigma} = A \cdot R_{ц} (Ц / B - 0,5)$$

після перетворення відносно  $B/Ц$ .

$$B/Ц = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{\sigma} + 0,5 \cdot A \cdot R_{ц}} = \frac{0,65 \cdot 460}{300 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 460} = 0,67.$$

2 Витрата води при  $OK = 3 \text{ см}$  і  $D_{\max} = 40 \text{ см}$ :

$$B = 175 \text{ л.}$$

3 Витрата цементу:

$$Ц = \frac{B}{B / Ц} = \frac{175}{0,67} = 261 \text{ кг.}$$

4 Витрата щебеню в сухому стані на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші:

$$Ш = \frac{1000}{\frac{V_{ш} \cdot \alpha}{\rho_{ш}} + \frac{1}{\rho_{ц}}} = \frac{1000}{\frac{0,41 \cdot 1,3}{1600} + \frac{1}{2700}} = 1422 \text{ кг.}$$

5 Витрата піску в сухому стані на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші:

$$П = \left[ 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} \right) \right] \cdot \rho_n = \left[ 1000 - \left( \frac{261}{3100} + \frac{175}{1000} + \frac{1422}{2700} \right) \right] \cdot 2600 = 556 \text{ кг.}$$

$$Ц = 261 \text{ кг; } В = 175 \text{ кг; } П = 556 \text{ кг; } Ш = 1422 \text{ кг; } \rho_{б.сум} = 2414 \text{ кг/м}^3.$$

6 Коефіцієнт виходу бетонної суміші

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_n + V_{ш}} = \frac{1000}{\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}}} = \frac{1000}{\frac{261}{1200} + \frac{556}{1500} + \frac{1422}{1600}} = 0,67.$$

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. БЕТОННА СУМІШ

### 7.1 Випробування бетонної суміші

Після виконання розрахунку складу бетону готують спробний заміс бетонної суміші об'ємом 8÷10 л і визначають її рухливість або жорсткість відповідно до ДСТУ Б В.2.7-114-2002.

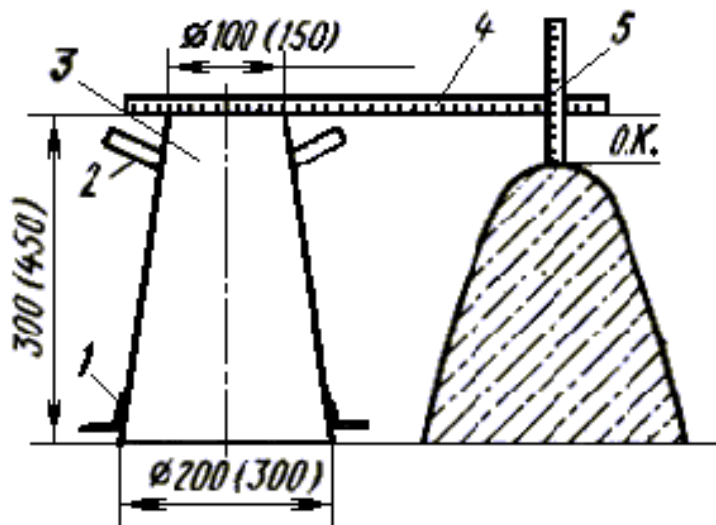
На вагах зважують необхідну кількість вихідних матеріалів, відміряють мірним циліндром воду і на металевому піддоні у вигляді корита глибиною 200 мм і розміром у плані 1500×500 мм готують бетонну суміш. Для цього в кориті спочатку перемішують пісок з цементом, потім додають щебінь і знову перемішують доти, поки щебінь не буде рівномірно розподілений у сухій суміші; у середині перемішаної суміші роблять заглиблення, куди вливають половину виміряної води, обережно перемішавши, додають іншу частину води. Після цього енергійно перемішують бетонну суміш до однорідності, тривалість перемішування (від моменту додавання води) має складати при

об'ємі замісу до 30 л - 5 хвилин, до 50 л - 10 хвилин.

При механічному перемішуванні матеріали в бетонозмішувач завантажують у такій послідовності: пісок, цемент, великий заповнювач, вода. Тривалість перемішування має складати 2 хв з моменту закінчення завантаження всіх матеріалів.

На спробних замісах перевіряють рухливість або жорсткість бетонної суміші, а також експериментально визначають її середню густину.

*Рухливість* бетонної суміші (Р) визначають за методикою ДСТУ Б В.2.7-114-2002 і характеризують розміром осідання конуса ОК (см), відформованого з випробовуваної бетонної суміші. При діаметрі зерен заповнювача до 70 мм висота стандартного конуса дорівнює 300 мм, нижній діаметр - 200 мм і верхній - 100 мм. При діаметрі зерен заповнювача понад 70 мм висота конуса - 450 мм, нижній діаметр - 300 мм і верхній - 150 мм (рисунок 7.1).



1 - упори; 2 - ручки; 3 - конус; 4, 5 - лінійки (у дужках наведені розміри збільшеного конуса)

Рисунок 7.1 - Визначення рухливості бетонної суміші стандартним конусом

Перед випробуванням внутрішню поверхню конуса і всі інші

прилади злегка змочують водою. Конус встановлюють на гладкий металевий лист розміром не менш 700×700 мм і заповнюють бетонною сумішшю через лійку в три шари однакової висоти. Кожен шар ущільнюють штикуванням (25 разів) металевим стержнем діаметром 16 мм і довжиною 650 мм. При штикуванні конус щільно притискають до листа. Після ущільнення лійку знімають, а надлишок суміші зрізують сталевую лінійкою урівень із краями конуса.

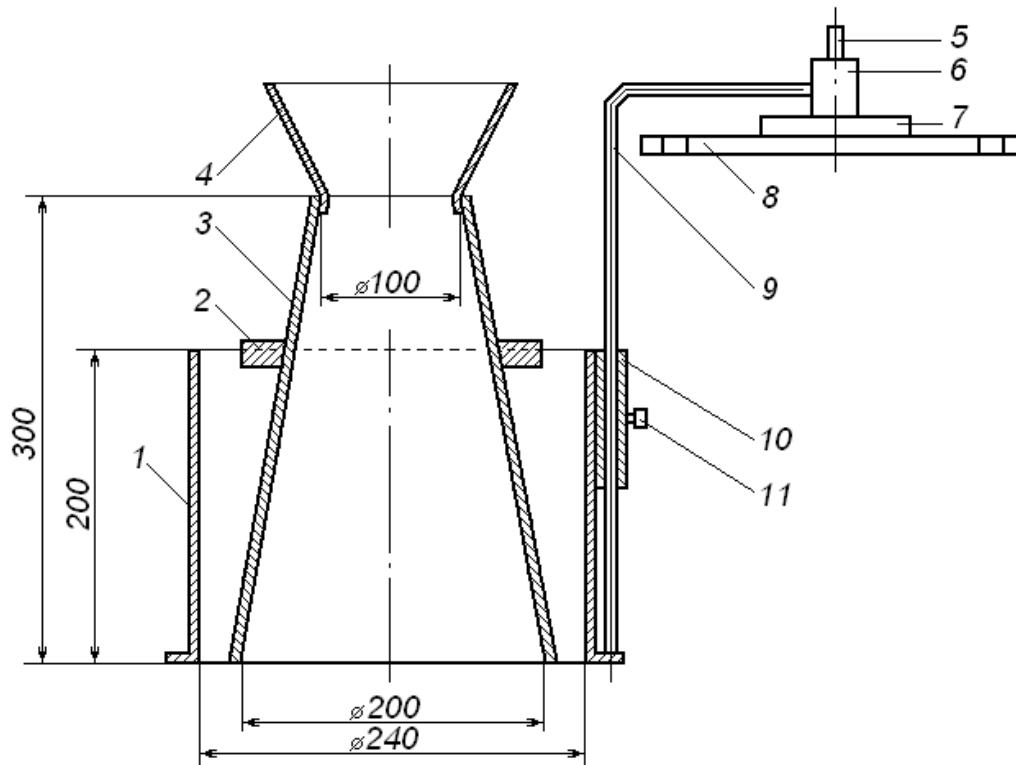
Потім конус обережно піднімають вертикально вгору і ставлять поруч з відформованою сумішшю. Осідання конуса бетонної суміші *OK* визначають, встановлюючи металеву лінійку ребром на верх конуса і вимірюючи відстань від нижньої грані лінійки до верху бетонної суміші з похибкою не більш 0,5 см.

Осідання перевіряють два рази і беруть середнє арифметичне значення двох результатів.

Якщо рухливість бетонної суміші виявиться меншою, ніж потрібно, у розрахунок складу бетону вносять виправлення - збільшують кількість цементу і води без зміни водоцементного відношення. Якщо рухливість більше заданої, додають невеликими порціями (по 10 %) пісок і крупний заповнювач, домагаючись заданої рухливості.

Склад бетонної суміші коректують доти, поки не отримують суміш із заданим осіданням конуса.

*Жорсткість* бетонної суміші (*Ж*) характеризується часом вібрації в секундах, потрібним для вирівнювання і ущільнення попередньо сформованого конуса бетонної суміші з використанням приладу для визначення жорсткості (рисунок 7.2). Загальна маса диска, шайби і штанги приладу має бути  $2750 \pm 50$  г. Диск має отвори діаметром 10 мм. Прилад встановлюють і жорстко закріплюють на лабораторному вібростолі, який створює вертикально направлені коливання з частотою  $2900 \pm 100$  коливань за хвилину і амплітудою  $0,50 \pm 0,001$  мм. Фланець циліндричного кільця приладу має щільно прилягати до поверхні вібростолу, щоб не витікало цементне тісто.



1 - форма; 2 - упори; 3 - конус; 4 – лійка; 5 - штанга; 6 - напрямна втулка; 7 - втулка диска; 8 - металевий диск з шістьма отворами; 9 - штатив; 10 - втулка штатива; 11 - затискач штатива

Рисунок 7.2 - Прилад для визначення жорсткості бетонної суміші

Випробування виконують у такій послідовності. Встановлюють і жорстко закріплюють за фланці циліндричне кільце 1 приладу на вібростолі. В кільце вставляють конус 3 і закріплюють його ручками 2, заводячи їх у пази кільця, після чого встановлюють лійку 4. Заповнення конуса приладу бетонною сумішшю, ущільнення її і знімання конуса із сформованої суміші виконують так, як і при визначенні рухливості бетонної суміші. Потім звільняють штангу 5, поворотом штатива 9 диск 8 встановлюють над сформованим конусом бетонної суміші і плавно опускають його на поверхню конуса. Штатив закріплюють у втулці 10 затискним гвинтом 11 і вмикають одночасно вібростіл і секундомір, спостерігаючи за вирівнюванням і ущільненням бетонної суміші під диском, що опускається. Вібрування продовжується доти, поки не почнеться виділення цементного тіста із будь-яких отворів диска. У цей момент вимикають вібростіл і секундомір. Тривалість вібрування

в секундах і характеризує жорсткість бетонної суміші.

Випробування проводять двічі. Жорсткість бетонної суміші визначають з округленням до 1 с як середнє арифметичне двох визначень з однієї проби суміші, які різняться між собою не більш ніж на 20 %. При більшій розбіжності результатів випробування повторюють на іншій пробі бетонної суміші.

Залежно від консистенції бетонну суміш за ДСТУ Б В.2.7-176:2008 поділяють на марки (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 - Марки бетонної суміші за консистенцією

Марки бетонної суміші за осіданням конуса	
Марка	Осадання конуса, мм
S1	Від 10 до 40
S2	Від 50 до 90
S3	Від 100 до 150
S4	Від 160 до 210
S5	$\geq 220$

Продовження таблиці 7.1

Марки бетонної суміші за жорсткістю (метод Vebe)	
Марка	Час, с
V0	$\geq 31$
V1	Від 30 до 21
V2	Від 20 до 11
V3	Від 10 до 6
V4	Від 5 до 3
Марки бетонної суміші за розпливанням конуса	
Марка	Діаметр розпливання конуса, мм
F1	$\leq 340$
F2	Від 350 до 410
F3	Від 420 до 480
F4	Від 490 до 550
F5	Від 560 до 620
F6	$\geq 630$

## 7.2 Виготовлення контрольних зразків важкого бетону

Виготовлення та контроль міцності бетону за контрольними зразками виконується відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

Розміри зразків залежно від найбільшого номінального розміру заповнювача в пробі бетонної суміші мають відповідати зазначеним у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Найбільший номінальний розмір зерна заповнювача, мм	Найменший розмір зразка (ребра куба, сторони поперечного перерізу призми або вісімки, діаметра і висоти циліндра), мм
20 і менше	100
40	150
70	200
100	300

Для виготовлення зразків застосовують металеві рознімні форми. Перед використанням форм їх внутрішні поверхні мають бути покриті тонким шаром змащення, що не залишає плям на поверхні зразків і не впливає на властивості поверхневого шару бетону.

Укладання й ущільнення бетонної суміші слід робити не пізніше ніж через 20 хв послі відбору проби.

Форму заповнюють бетонною сумішшю з деяким надлишком, встановлюють на вібромайданчик і включають вібратор.

Вібрування продовжують до повного припинення осідання бетонної суміші, вирівнювання її поверхні і появи на її поверхні цементного молока.

Зразки, що призначені для твердіння в нормальних умовах, після виготовлення до розпалублення зберігають у формах, покритих вологою тканиною або іншим матеріалом, що виключають можливість випару з них вологи, у приміщенні з

температурою повітря  $(20\pm 5)$  °C.

Після розпалублення зразки потрібно помістити в камеру, що забезпечує у поверхні зразків нормальні умови, тобто температуру  $(20\pm 3)$  °C і відносну вологість повітря  $(95\pm 5)$  %. Зразки укладають на підкладки так, щоб відстань між зразками, а також між зразками та стінками камери була не менше 5 мм. Площа контакту зразка з підкладками, на яких його встановлено, не потрібно складати більше 30 % площі опорної грані зразка. Зразки в камері нормального твердіння не повинні безпосередньо орошати водою. Припускається зберігання зразків під шаром вологих піску, тирси або інших гігроскопічних матеріалів, що систематично зволожуються.

### **Контрольні запитання**

- 1 Що називається бетонною сумішшю і бетоном?
- 2 Для яких цілей використовуються бетони? Їх класифікація.
- 3 Як виконується розрахунок складу бетону? Принцип розрахунку, розрахункові формули.
- 4 Як визначають рухливість та жорсткість бетонної суміші?
- 5 Які вимоги висуваються нормативами при виготовленні контрольних зразків бетону?

### **ЛАБОРАТОРНА ТРОБОТА 8.**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ**

Визначення міцності бетону полягає у вимірюванні мінімальних зусиль, що руйнують спеціально виготовлені контрольні зразки бетону при їхньому статичному навантаженні з постійною швидкістю збільшення навантаження й наступним розрахунком напруг при цих зусиллях у припущенні пружної роботи матеріалу.

#### **8.1 Підготовка зразків до випробування та умови їх проведення**

У приміщенні для випробування зразків слід підтримувати температуру повітря в межах  $(20\pm 5)$  °C и відносну вологість



повітря не менш 55 %. У цих умовах зразки мають бути витримані до випробування в розпалубленому вигляді протягом не менш 24 год, якщо вони тверділи у воді, і протягом не менш 4 год, якщо вони тверділи у повітряно-вологісних умовах або в умовах теплової обробки.

Перед випробуванням зразки піддають візуальному огляду, встановлюючи наявність дефектів у вигляді відколів ребер, раковин і сторонніх включень. Зразки, що мають тріщини, відколи ребер глибиною більш 10 мм, раковини діаметром більш 10 мм і глибиною більш 5 мм, а також сліди розшарування й недоущільнення бетонної суміші, випробуванню не підлягають. Напливи бетону на ребрах опорних граней зразків мають бути видалені.

Опорні грані відформованих зразків-кубів, призначених для випробування на стиск, вибирають так, щоб стискна сила при випробуванні була спрямована паралельно шарам укладання бетонної суміші у форми.

Лінійні розміри зразків вимірюють із похибкою не більш 1 %.

Перед випробуванням зразки зважують із метою визначення їх середньої щільності.

## **8.2 Проведення випробувань і обробка результатів**

Міцність бетону на стиск та розтяг за контрольними зразками визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009, ДСТУ Б В.2.7-224:2009, ДСТУ Б В.2.7-223:2009.

Усі зразки однієї серії мають бути випробувані в розрахунковому віці протягом не більш 1 год.

Перед встановленням зразка на прес або випробувальну машину видаляють частки бетону, що залишилися від попереднього випробування на опорних плитах преса.

Шкалу вимірника сили випробувальної машини, преса або випробувальної установки вибирають із умови, що очікуване значення руйнівного навантаження має бути в інтервалі 20÷80 % максимального навантаження, що допускається обраною шкалою.

Навантаження зразків виконують безупинно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункової напруги в зразку до

його повного руйнування в межах  $(0,6 \pm 0,4)$  МПа/с при випробуваннях на стиск. Час навантаження одного зразка має бути не менш 30 с.

Максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, приймають за руйнівне навантаження

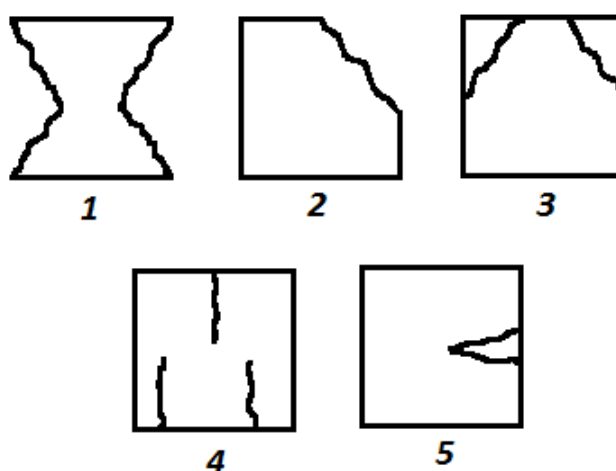
Зруйнований зразок необхідно піддати візуальному огляду й зазначити: характер руйнування; наявність великих (об'ємом більш  $1 \text{ см}^3$ ) раковин і каверн усередині зразка; наявність зерен заповнювача розміром більш  $1,5 d_{max}$ , грудок глини, слідів розшарування.

Результати випробувань зразків, що мають вищезначені дефекти структури й характер руйнування, ураховувати не слід.

При випробуванні на стиск зразки-куби й циліндри встановлюють однією з обраних граней на нижню опорну плиту преса (або випробувальної машини), центруючи щодо його поздовжньої осі, використовуючи риски, що нанесені на плиту преса.

Після встановлення зразка на опорні плити преса з'єднують верхню плиту преса з верхньою опорною гранню зразка так, щоб їх площини повністю прилягали одна до одної. Далі починають навантаження.

У разі руйнування зразка за однією з дефектних схем (рисунок 8.1) при визначенні середньої міцності серії цей результат не враховують.



1 - нормальне руйнування; 2÷5 - дефектні руйнування

Рисунок 8.1 - Схема характеру руйнування зразків при випробуваннях на стиск

Міцність бетону при випробуваннях на стиск, МПа ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), слід розраховувати з точністю до 0,1 МПа ( $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ) для кожного зразка за формулою:

$$R_{cm} = \alpha \frac{P}{S}, \quad (8.1)$$

де  $P$  - руйнівне навантаження,  $\text{кгс}$ ;

$S$  - площа робочого перерізу зразка,  $\text{см}^2$ ;

$\alpha$  - масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базових розміру й форми (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 - Значення масштабного коефіцієнта  $\alpha$  залежно від розміру зразків

Форма зразка	Куби					Циліндри			
Розмір зразка, (ребро або діаметр), $\text{см}$	7	10	15	20	30	10×20	15×30	20×40	30×60
$\alpha$	0,85	0,95	1,0	1,05	1,1	1,16	1,2	1,24	1,28

Міцність бетону (крім ніздрюватого) у серії зразків визначають як середнє арифметичне значення в серії із трьох зразків - за двома найбільшими за міцністю зразками.

При відбракуванні дефектних зразків міцність бетону в серії зразків визначають за всіма зразками, що залишилися, якщо їх не менш двох. Результати випробування серії із двох зразків при відбракуванні одного зразка не враховують.

За отриманими результатами випробувань визначають марку

і клас бетону відповідно до табл. 8.2.

Таблиця 8.2 - Класи міцності важкого бетону на стиск

Клас міцності бетону на стиск	Міцність, визначена на зразках-циліндрах, $f_{ck.cyl}$ , МПа	Міцність, визначена на зразках-кубах, $f_{ck.cube}$ , МПа
C8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/35	30	35
C 32/40	32	40
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Клас бетону - показник якості бетону за міцністю на стиск і на осьовий розтяг, який визначають за гарантованою міцністю бетону, МПа, із забезпеченістю 0,95. Клас бетону відображає змінність результатів випробування міцності бетону з нормативним коефіцієнтом варіації 13,5 %.

### **8.3 Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю**

Неруйнівними методами визначають міцність бетону згідно з ДСТУ Б В.2.7-226:2009, ДСТУ Б В.2.7-220:2009.

#### ***Загальні положення***

Міцність бетону визначають за попередньо встановленими

градуированими залежностями між міцністю бетонних зразків за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 і непрямими характеристиками міцності.

Залежно від застосовуваного методу непрямими характеристиками міцності є:

- значення відскоку бойка від поверхні бетону (або притиснутого до неї ударника);
- параметр ударного імпульсу (енергія удару);
- розміри відбитків на бетоні (діаметр, глибина тощо) або співвідношення діаметрів відбитків на бетоні й стандартному зразку при ударі індентора або його вдавненні в поверхню бетону;
- значення напруги, необхідної для місцевого руйнування бетону при відриві приклеєного до нього металевого диска, рівного зусиллю відриву, діленому на площу проекції поверхні відриву бетону на площину диска;
- значення зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції;
- значення зусилля місцевого руйнування бетону при вириванні з нього анкерного обладнання.

Механічні методи неруйнівного контролю застосовують для визначення міцності бетону всіх видів нормованої міцності, що контролюються за ДСТУ Б В.2.7-224:2009, а також для визначення міцності бетону при обстеженні й відбракуванні конструкцій.

Метод визначення міцності бетону слід вибирати за таблицею 8.3.

Таблиця 8.3

Метод	Граничні значення міцності бетону, МПа
Пружного відскоку і пластичної деформації	5÷50
Ударного імпульсу	10÷70
Відриву	5÷60

Відриву зі сколюванням	5÷100
Сколювання ребра	5÷70

Випробування проводять при додатній температурі бетону. Допускається при обстеженні конструкцій визначати міцність при від'ємній температурі, але не нижче мінус 10 °С за умови, що до моменту заморожування конструкція перебувала не менш одного тижня при додатній температурі й відносній вологості повітря не більш 75 %.

Міцність бетону визначають за допомогою приладів, призначених для визначення непрямих характеристик, що пройшли метрологічну атестацію. Типи приладів, що рекомендовані, наведені в таблиці 8.4.

Для визначення міцності бетону в конструкціях попередньо встановлюють градуйовану залежність між міцністю бетону й непрямою характеристикою міцності (у вигляді графіка, таблиці або формули).

Таблиця 8.4

Тип приладу	Енергія удару, Дж	Розміри, мм		Маса, кг
		діаметр	довжина	
прилад для випробування методом відскоку				
КМ	2,2	54	390 455 (з ручкою)	1,75
прилади для випробування методами ударного імпульсу і пластичної деформації				
ВСМ	0,1	25	200	0,5
ПМ-2	-	40	100	1,0

Ц-22 Київоргбуду	0,8-8,0	54	320	1,0
А-1	2,0-4,0	33	270	0,9
Молоток	Довільна	-	300	0,9
Кашкарова				

### ***Підготовка до випробувань***

Для випробування методом пружного відскоку, пластичної деформації, ударного імпульсу й відриву градуйовані залежності встановлюють конкретно для кожного виду міцності із зазначених у таблиці 8.3, для випробування методами відриву зі сколюванням і сколювання ребра допускається встановлювати єдину градуйовану залежність незалежно від виду міцності.

Градуйовану залежність встановлюють заново при зміні виду крупного заповнювача, технології виробництва бетону, при введенні добавок, а для випробування методами пружного відскоку, ударного імпульсу й пластичної деформації - також при зміні виду цементу, внесенні кількісних змін до номінального складу бетону, що перевищують за витратою цементу  $\pm 20\%$ , крупного заповнювача  $\pm 10\%$ .

Градуйовану залежність для методів пружного відскоку, ударного імпульсу, пластичної деформації, відриву й сколювання ребра встановлюють на основі результатів випробувань зразків-кубів спочатку неруйнівним методом, а потім за ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

Для методів відскоку й пластичної деформації при ударі число вимірів на кожному зразку має бути не менш п'яти, а відстань між місцями ударів не менш 30 мм. Для методу ударного імпульсу число вимірів - не менш десяти, а відстань між місцями ударів - не менш 15 мм. Для методу пластичної деформації при вдавненні число випробувань на одній грані - не менше двох, а відстань між місцями випробувань - не менше двох діаметрів відбитків.

За одиничне значення непрямого показника міцності при встановленні градуйованої залежності приймають середнє

арифметичне значення цієї величини в серії зразків (або зразка), що використані при визначенні одиничного значення міцності.

### **Випробування**

Випробування проводять на ділянці конструкції площею від 100 до 600 см<sup>2</sup>.

Міцність бетону в контрольованій ділянці конструкції визначають за градуйованою залежністю, за умови, що отримані значення непрямого показника при вимірюванні перебувають у межах між найменшим і найбільшим значеннями непрямого показника в зразках, випробуваних при побудові градуйованої залежності.

Кількість випробувань на одній ділянці, відстань між місцями випробувань на ділянці й від краю конструкції, товщина конструкції на ділянці випробування мають бути не менше значень, наведених у таблиці 8.5.

Таблиця 8.5

Метод	Кількість випробувань на ділянці	Відстань		Товщина конструкції
		між місцями випробувань	від краю конструкції до місця випробувань	
Пружного відскоку	5	30	50	100
Пластичної деформації	5	30	50	70
Ударного імпульсу	10	15	50	50
Відриву	1	2 діаметра диска	50	50
Відриву зі сколюванням	1	5 глибин відриву	150	Подвійна глибина установлення анкера
Сколювання	2	200	-	170



ребра				
-------	--	--	--	--

### ***Метод пружного відскоку й ударного імпульсу***

При випробуванні методом пружного відскоку відстань від місць проведення випробування до арматури має бути не менш 50 мм.

Випробування проводять у такій послідовності:

- прилад розташовують так, щоб зусилля прикладалося перпендикулярно до випробовуваної поверхні відповідно до інструкції з експлуатації приладу;
- фіксують значення непрямої характеристики відповідно до інструкції з експлуатації приладу;
- обчислюють середнє значення непрямої характеристики на ділянці конструкції.

### ***Метод пластичної деформації***

При випробуванні методом пластичної деформації відстань від місць проведення випробування до арматури має бути не менш 50 мм.

Випробування проводять у такій послідовності:

- прилад розташовують так, щоб зусилля прикладалося перпендикулярно до випробовуваної поверхні відповідно до інструкції з експлуатації приладу; при сферичному інденторі випробування допускається проводити для полегшення вимірів діаметрів відбитків, через аркуші копіювального або білого паперу;
- фіксують значення непрямої характеристики відповідно до інструкції з експлуатації приладу;
- обчислюють середнє значення непрямої характеристики на ділянці конструкції.

*Стандартний молоток Кашкарова.* Прилад призначений для визначення міцності бетону в конструкціях методом ударного імпульсу за розміром відбитка за ДСТУ Б В.2.7-220:2009.

Принцип дії. У молоток Кашкарова вставляється металевий стержень із відомою твердістю. Потім молотком ударяють по поверхні бетону. За допомогою кутового масштабу або вимірювальної лупи заміряють розмір відбитків, що утворилися на бетоні й стержні. Знаючи марку сталі, з якої зроблений стержень (а отже, і її твердість), зі співвідношення діаметрів відбитків можна обчислити міцність бетону. Стандартний молоток Кашкарова складається з індентора (кульки), стакана, пружини, корпусу з ручкою, голівки й змінного еталонного стержня.

*Склерометр електронний ОНІКС-2.3.* Прилад ОНІКС-2.3 (рисунок 8.2) призначений для визначення міцності бетону на стиск неруйнівним ударно-імпульсним методом (за ДСТУ Б В.2.7-220:2009 і ДСТУ Б В.2.7-224:2009) при технологічному контролі якості, обстеженні будинків, споруд і конструкцій. Заснований на методиці імпульсної перехідної функції сигналу датчика зі статичною обробкою й відбракуванням імпульсів. Застосовується для визначення твердості, однорідності, щільності, пластичності різних матеріалів (цегла, мармур, композити, кольорові метали і т. д.).



Рисунок 8.2 - Склерометр електронний ОНІКС-2.3

#### **8.4 Ультразвуковий метод визначення міцності**

## *Загальні положення*

Ультразвуковий метод застосовують для визначення міцності бетону: відпускної, передатної, у встановленому нормативно-технічною й проектною документацією проміжному й проектному віках, у процесі твердіння, а також при експертному контролі відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-226:2009.

Ультразвуковий метод заснований на зв'язку між швидкістю поширення ультразвукових коливань і міцністю бетону.

Ультразвукові вимірювання в бетоні проводять способами наскрізного або поверхневого прозвучування.

Міцність бетону в конструкціях визначають за експериментально встановленими градуированими залежностями: "швидкість поширення ультразвуку - міцність бетону" (далі: швидкість - міцність) або "час поширення ультразвуку - міцність бетону" (далі: час - міцність) залежно від способу прозвучування.

Міцність бетону визначають на ділянках конструкцій, що не мають видимих ушкоджень (відшарування захисного шару, тріщин, каверн і ін.).

Ультразвукові випробування проводять при додатній температурі бетону. Допускається проведення ультразвукових випробувань конструкцій при від'ємній температурі бетону не нижче мінус 10 °С за умови, що в процесі їх зберігання відносна вологість повітря не перевищувала 70 %.

Ультразвукові виміри проводять приладами, призначеними для вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні й атестованими у встановленому порядку.

Типи ультразвукових приладів і їх технічні характеристики наведені в таблиці 8.6.

Між бетоном і робочими поверхнями ультразвукових перетворювачів необхідно забезпечити надійний акустичний контакт, для чого застосовують в'язкі контактні матеріали (солідол, технічний вазелін і ін.).

Допускається застосування перехідних обладнань або прокладок, що забезпечують сухий спосіб акустичного контакту.

Спосіб контакту має бути однаковим при контролі бетону в конструкції й встановленні градуйованої залежності.

### ***Підготовка до випробувань***

Підготовка до випробування включає перевірку приладів відповідно до інструкцій з експлуатації й встановлення градуйованих залежностей відповідно до обраного способу прозвучування.

Градуйовану залежність "швидкість - міцність" встановлюють при випробуванні конструкцій способом наскрізного прозвучання. Градуйовочну залежність "час - міцність" встановлюють при випробуванні конструкцій способом поверхневого прозвучання.

Градуйовочну залежність встановлюють за результатами ультразвукових вимірювань у бетонних зразках-кубах і механічних випробувань тих самих зразків.

Таблиця 8.6

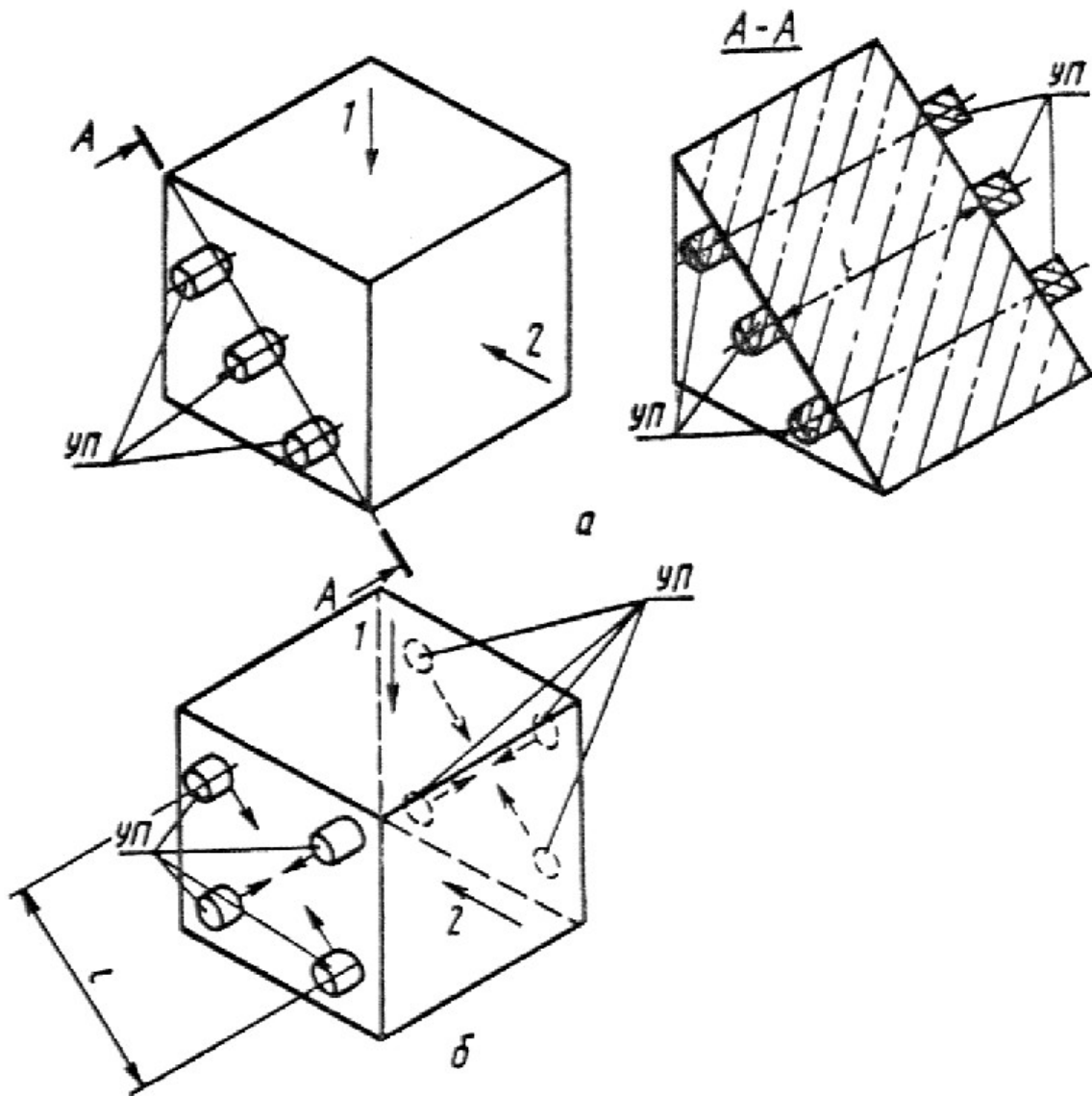
Характеристика	Тип приладу			
	Бетон-12	УК-14П*	УК-10ПМ*	УФ-10П*
Діапазон вимірювання часу поширення ультразвукових коливань, мкс	20÷999,9	20÷9000	8÷8500 - в ручному режимі, до 9999 - в автоматичному режимі	20÷999,9
Режим вимірювання	Автоматичний		Автоматичний, ручний	Автоматичний
Індикація	Цифрова		Цифрова	
Електричне живлення	Автономне	Універсальне		Від мережі
Наявність ЕЛТ	-	-	Так	Так
Число каналів вимірювання	1	1	1	12
Наявність	-	-	-	Так

мікропроцесора				
Конструктивне виконання	Портативний		Переносний	Стаціонарний
Маса, кг	2,6	1,5	10,0	28,0
Підприємство - Виробник	ВНІІ- залізо- бетон, м. Москва	"Электроточприбор", м. Кишинів		

Час поширення ультразвуку в зразках при встановленні градуїрованої залежності "швидкість - міцність" вимірюють способом наскрізного прозвучування відповідно до рисунка 8.3.

У зоні контакту ультразвукових перетворювачів з поверхнею бетону не має бути раковин і повітряних пор глибиною більш 3 мм і діаметром більш 6 мм, а також виступів більш 0,5 мм. Поверхня бетону має бути очищена від пилу.

Кількість вимірювань часу поширення ультразвуку в кожному зразку має бути при наскрізному прозвучуванні 3, при поверхневому - 4.



УП - ультразвукові перетворювачі; 1 - напрям формування;  
 2 - напрям випробування при стиску;  $l$  - база прозвучування

Рисунок 8.3 - Схеми випробування зразків-кубів: способом наскрізного прозвучування (а); способом поверхневого прозвучування (б);

## ***Проведення випробувань і визначення міцності бетону в конструкціях***

Вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні конструкцій слід проводити в напрямку, перпендикулярному ущільненню бетону. Відстань від краю конструкції до місця установлення ультразвукових перетворювачів має бути не менш 30 мм.

Вимір часу поширення ультразвуку в бетоні конструкцій слід проводити в напрямку, перпендикулярному напрямку робочої арматури. Концентрація арматури уздовж обраної лінії прозвучування не повинна перевищувати 5 %.

Міцність бетону контрольованої ділянки конструкції визначають за градуйованою залежністю, за умови, що вимірюване значення швидкості (часу) ультразвуку перебуває в межах між найменшим і найбільшим значеннями швидкості (часу) ультразвуку в зразках, випробуваних при побудові градуйованої залежності.

### **Контрольні запитання**

- 1 Що називається маркою бетону?
- 2 Що називається класом бетону?
- 3 Як проводять випробування для визначення марки бетону?
- 4 У яких умовах зберігаються зразки для визначення марки бетону?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9. СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ**

### **9.1 Агрегатно-поточкова та стендова технологія виробництва залізобетонних виробів**

При *агрегатно-поточковому способі виробництва* вироби формують на спеціально обладнаних установках-агрегатах, що складаються із формувальної машини (звичайно вібромайданчика), машини для розподілу бетонної суміші по формі (бетоноукладача), машини для укладання форми на формувальний пост (формоукладача). Потім відформовані вироби у формах мостовим краном переміщують у камери твердіння для теплової обробки бетону. Завершальною стадією виробництва є видача виробів з камери і їх розпалублення на спеціальному пості; після приймання готових виробів ВТК їх направляють на склад, а форми, що звільнилися, підготовляють до наступного технологічного циклу й повертають на формувальний пост.

Технологічний процес виконують на шести робочих постах:

- розпалублення й огляду виробу, складання форми;
- підготовки форми до бетонування;
- укладання арматурного каркаса (або попередньої напруги арматури);
- заповнення форми бетонною сумішшю й ущільнення її на формувальному пості;
- загладжування верхньої поверхні виробу або декоративної обробки по вологому бетону;
- укладання виробів у камери теплової обробки й вивантаження їх з камер.

Деякі операції технологічного процесу виконують паралельно; так, операції з розпалублення, огляду виробів і підготовки форм суміщують за часом з формуванням.

Продуктивність агрегатно-поточної технологічної лінії визначається тривалістю циклу формування виробів.



Агрегатно-поточковий спосіб широко використовується, оскільки що найбільше відповідає умовам серійного виробництва, не вимагає великих капітальних витрат і припускає виготовлення широкої номенклатури виробів. Гнучкість агрегатно-поточкового способу виробництва дозволяє шляхом зміни й переналагодження встаткування здійснювати перехід від випуску одного типу виробів до іншого.

До агрегатно-поточкового способу виробництва належить також формування виробів на різних спеціалізованих формувальних агрегатах, наприклад, на центрифугах, формувальній установці з вібровкладишами й ін.

При *стендовому способі виробництва* вироби виготовляють у нерухливих формах або на обладнаних для цього робочих місцях - стендах. У процесі формування й до набуття бетоном необхідної міцності вироби залишаються на місці, у той час як технологічне устаткування й обслуговуючі його робочі ланки переміщуються від однієї форми на стенді до іншої.

Для формування плоских і великорозмірних тонкостінних елементів (стінових панелей, шатрових і ребристих панелей перекриттів, оболонок і тощо) застосовують стаціонарні металеві форми й залізобетонні форми-матриці. Їх розташовують в одну або кілька ліній, залишаючи проходи для обслуговування.

Для формування великорозмірних елементів у формах без дна, зі звичайним армуванням і з напруженою арматурою застосовують бетонні стенди із гладкою, шліфованою поверхнею.

Попередньо напружені балки, ребристі плити, шпали, палі виготовляють у металевих і залізобетонних, розбірних або нерозбірних, групових формах-стендах, зібраних у пакети значної довжини.

Стендовий спосіб виробництва забезпечує випуск виробів широкої номенклатури при порівняно нескладному переналагодженні встаткування. Для збільшення оборотності формувальних площ застосовують швидкотверднучі цементні високі марок і різні прискорювачі твердіння бетону. При необхідності теплової обробки виробів стендові лінії влаштовують у неглибоких ямних камерах або в термоформах.

Стендовий спосіб виробництва хоча й призводить до більш низького використання виробничої площі в порівнянні з

агрегатно-потокowym, але має ряд переваг, особливо при виготовленні попередньо напружених конструкцій.

Тривалість технологічного циклу в стендовім виробництві залежить головним чином, від часу витримування виробу на стенді для набуття ним необхідної міцності й становить звичайно  $1\div 2$  доби. Якщо число стендових ліній забезпечує безперервне переміщення спеціалізованих робочих ланок з однієї формувальної лінії на іншу через рівні проміжки часу, можлива потокова організація виробництва.

Довгі стенди (пакетні й протяжні) застосовують при виготовленні декількох виробів по довжині стенда одночасно.

На пакетних стендах арматурні пакети із затискачами на кінцях збирають на окремій установці, а потім переносять і укладають у захвати стендів або форм.

На протяжних стендах арматурний дріт змотують із бухт, встановлених в одному кінці стенда, і протягають по всій довжині стенда до іншого упору безпосередньо на лінії формування.

На пакетних стендах виготовляють вироби з порівняно невеликими поперечними розмірами й компактним розташуванням арматури по перерізу (шпали, палі, опори, балки й тощо). Натяг пакета, що складається з певного числа дротів, здійснюється гідравлічним домкратом.

Короткі стенди призначені для виготовлення одного виробу по довжині стенда й одного-двох виробів по ширині стенда в горизонтальному положенні (ферм, двосхилих балок і ін.). Різновидом коротких стендів є переносні металеві силові форми.

Натяг арматури (дротової, стержневої, канатної) здійснюється гідравлічним домкратом на упори стенда або електротермічним способом.

Різновидом стендового способу виробництва є *касєтний і касєтно-конвеєрний* способи виробництва, відмінною рисою яких є вертикальне формування виробів, що дозволяє суттєво заощаджувати виробничі площі. Формування виробів здійснюється у вертикальних формах-касєтах, у яких формувальні відсіки перемежуються з паровими. Після закінчення укладання й ущільнення бетонної суміші в парові відсіки подається технологічна пара, що й забезпечує тепловологісну обробку.

## 9.2 Конвеєрний та неперервний способи виробництва залізобетонних виробів

*Конвеєрний* спосіб виробництва являє собою більш досконалу агрегатно-потокową технологію й дозволяє максимально механізувати й автоматизувати основні технологічні операції. При цьому способі технологічна лінія працює за принципом замкненого пульсуючого конвеєра, коли виріб, розміщуючись на спеціальному піддоні, переміщається від поста до поста з певним інтервалом часу, що відповідає найбільш тривалій операції. При конвеєрному способі застосовують піддони-вагонетки розміром  $7,5 \times 5,5$  м, що дозволяють виготовляти вироби до 7 м довжиною й 5 м шириною. Вагонетки-піддони, на яких складається форма, за допомогою спеціального штовхача через певні проміжки часу (близько 15 хв) переміщаються по конвеєрній лінії для виробничих операцій: очищення й змащення форм, укладання арматур і бетонної суміші, ущільнення суміші, тепловологісної обробки в пропарювальних камерах безперервної дії й розпалублення. Конвеєрний спосіб виробництва економічно доцільний при виробництві однотипних виробів на заводах великої потужності.

Подальшим удосконалюванням конвеєрної технології є виготовлення залізобетонних виробів для збірного будівництва на спеціальних вібропрокатних станах.

Розглянуті технологічні схеми виробництва залізобетонних виробів мають свої переваги й недоліки. Стендовий спосіб відрізняється низькою механізацією й автоматизацією технологічного процесу й високою трудомісткістю, однак дозволяє випускати великогабаритні вироби. Конвеєрний спосіб виробництва більш механізований, у той же час істотним його недоліком є високі капітальні витрати, труднощі переходу на випуск нової номенклатури й виду продукції. Виготовлення виробів на вібропрокатних станах є найбільш продуктивним. Однак така технологія дозволяє випускати вузьку номенклатуру виробів і вимагає високої витрати цементу для бетонних сумішей. Агрегатно-потоківий спосіб за техніко-економічними показниками є основним в організації технологічних ліній більшості залізобетонних заводів.

## Контрольні запитання

Розповісти про кожен спосіб виробництва залізобетонних виробів. Перелічити переваги та недоліки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Берлин В.И, Мчедлов-Петросян О.П., Шубников А.К. Транспортное материаловедение.- М.: Транспорт, 1972.

2 Воробьев В.А., Комар А.Г. Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1976.

3 Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы.- М.: Стройиздат, 1986.

4 Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. - К.: КНУБА, 2004.

5 Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высшая школа, 1976.

6 Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Будівельне матеріалознавство. - К: ТОВ УАВК « Екс Об», 2004. - 704с.

7 Попов Л.Н., Попов Н.Л. Лабораторные работы по дисциплине "Строительные материалы и изделия". – М.: ИНФРА-М, 2003.

8 Чехов А.П., Глущенко В.М. Методы испытания строительных материалов.- М.: Стройиздат, 1981.

9 ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови.

10 ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

11 ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.

12 ДСТУ Б В.2.7-82:2010 Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови.

13 ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань.

14 ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.

15 ДСТУ Б В.2.7-185:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.

16 ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск.

17 ДСТУ Б В.2.7-188:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу.

18 ДСТУ Б В.2.7-189:2009 Будівельні матеріали. Пісок стандартний для випробувань цементів. Технічні умови.

19 ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

20 ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу.

21 ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.

22 ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій.

23 ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності.

24 ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності.

25 ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.

26 Положення щодо організації підготовки, проведення та захисту лабораторних робіт в Українській державній академії залізничного транспорту. - Харків: УкрДАЗТ, 2007.