



**Міністерство освіти і науки України**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ»**

Харків 2016



**Міністерство освіти і науки України**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ  
**«В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ»**

Затверджено на засіданні кафедри фізико-  
хімічної механіки і технології будівель-  
них матеріалів і виробів  
Протокол №24 від 22.06.2016 р.

Харків – 2016

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «В'язучі речовини» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» зі спеціального виду діяльності «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» /Укладачі: К.В. Латорець, О.В. Кабусь – Харків: ХНУБА, 2016. – 39с.

Кафедра фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів і виробів

Методичні вказівки містять в собі основні методи випробувань мінеральних в'язучих речовин в відповідності з державними стандартами України. Основна увага приділена випробуванням будівельного гіпсу, вапна та портландцементу. Лабораторні роботи з дисципліни «В'язучі речовини» дозволяють студентам глибше вивчити теоретичні розділи курсу в яких розглядаються питання властивостей в'язучих речовин, а також допомагають набути практичних навичок щодо виконання лабораторних стандартних випробувань.

Призначено для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» зі спеціального виду діяльності «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» усіх форм навчання.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедри ФХМ і ТБМВ Першина Л.О.

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «В'язучі речовини» складені відповідно до освітньо-професійної програми зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» навчального плану й робочої програми з дисципліни й призначені для студентів усіх форм навчання зі спеціального виду діяльності «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів».

В'язучі речовини – основа сучасного будівництва. Їх широко використовують при виготовленні будівельних розчинів, сухих будівельних сумішей, бетонних і залізо-бетонних виборів та конструкцій. Властивості будівельних розчинів і бетонів у процесі виготовлення, твердіння та експлуатації значною мірою залежать від виду і властивостей в'язучих речовин.

**Повітряні в'язучі речовини** можуть тверднути й набирати міцність у повітряно-сухих умовах. До них належать гіпсо-ангідритові в'язучі речовини, повітряне вапно та його різновиди, магнезіальні в'язучі речовини і розчинне скло.

**Гідравлічні в'язучі речовини** тверднуть і зберігають (або підвищують) міцність після тужавіння в повітряно-сухих умовах та наступного витримування у воді. До них належать гідравлічне вапно, романцемент, портландцемент та його різновиди, пуцолановий цемент, шлакопортландцемент, композиційний і глиноземистий цемент.

**В'язучі речовини автоклавного твердіння** здатні тверднути й утворювати міцний камінь в автоклавах (в умовах підвищених температур, тиску і вологості). До таких в'язучих речовин належать вапняно-кремнеземисті, вапняно-шлакові й вапняно-зольні.

Дані методичні вказівки призначені для більш детального ознайомлення та глибокого засвоєння теоретичних основ дисципліни, набуття навичок щодо вивчення складу та властивостей в'язучих речовин і способів їх регулювання. В методичних вказівках наведені основні методи випробувань в'язучих речовин.

Лабораторні роботи виконуються студентами після ознайомлення на лекційних заняттях з питаннями теми, самостійного вивчення теоретичного матеріалу й відповідних нормативних документів. Отримавши допуск до лабораторної роботи студент повинен уточнити мету й завдання роботи, підібрати, установити й перевірити дію, справність і точність вимірювання приладів і обладнання, підготувати до випробувань необхідні зразки. Лабораторну роботу виконують за бригадним способом. Кожна бригада студентів отримує від викладача індивідуальне завдання. Під час виконання лабораторної роботи функції виконавців у бригаді розподіляються таким чином, щоб було забезпечено управління обладнанням, ведення спостережень за зразками і вимірювальними приладами, запис їхніх показань, занесення результатів експериментів до лабораторного журналу. Кожне випробування виконується не менше двох разів, за результат приймається середньоарифметичне. Звіт про виконання лабораторної роботи має містити в собі реферат теоретичного матеріалу з теми роботи, опис лабораторного обладнання з необхідними схемами, рисунками, характеристику зразків, стислі відомості про умови експерименту, таблиці довідкових даних, вимірюваних і розрахованих величин, розрахункові формули, методику розрахунку, графічний матеріал, аналіз результатів випробувань, висновки. Звіт про виконання лабораторної роботи кожен студент оформляє та захищає індивідуально.

## СЛОВНИК

**Гіпсові в'язучі речовини** – порошкові матеріали, які отримують шляхом теплової обробки природної сировини або промислових відходів, що містить в своєму складі сульфати кальцію.

**Будівельний гіпс** – гіпсове в'язуче, що застосовується для виготовлення будівельних виробів і проведення будівельних робіт, яке складається в основному з  $\beta$ -модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

**Високоміцний гіпс** – гіпсове в'язуче, яке має підвищену нормовану міцність і складається в основному з  $\alpha$ -модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

**Вапно** – повітряне в'язуче, яке одержують шляхом випалу нижче температури спікання карбонатних гірських порід – крейди, вапняка, доломіта. В залежності від сировини буває кальцієвим, магнезіальним, доломітовим, гідратним і підрозділяється на:

- **негашене грудкове вапно** – суміш грудок випалених при температурі  $1000-1100^\circ\text{C}$  природної сировини, що містить карбонат кальцію і не більше 6% глинистих домішок;

- **негашене мелене вапно («кипілка»)** – порошкоподібний продукт помелу грудкового вапна. Його називають також «кипілкою», враховуючи, що при його гашенні підвищення температури може викликати кипіння води;

- **гашене гідратне вапно («пушонка»)** – порошкоподібний продукт взаємодії грудкового або меленого негашеного вапна з водою в такій кількості, яка забезпечує перехід  $\text{CaO} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ ;

- **вапняне тісто** – пластична пастоподібна маса, що утворюється при наданні надлишку води порівняно з отриманням вапна-«пушонки»;

- **вапняне молоко** – суспензія, що утворюється при наданні надлишку води до вапняного тіста або негашеного вапна.

**Клінкер** – продукт випалювання до спікання ( $1300 - 1450^\circ\text{C}$ ) сировинної суміші, яка вміщує карбонатну (вапняки) та алюмосилікатну (глини, мергелі) природну сировину з добавками природного або техногенного походження, що забезпечує утворення в ньому силікатів, алюмінатів та алюмоферитів кальцію.

**Портландцемент** – гідралічна в'язуча речовина у вигляді порошкового продукту сумісного помелу портландцементного клінкеру з природним дво-водним гіпсом. Різновиди цементу обумовлені нормуванням хіміко-мінералогічного складу клінкеру та додаванням при помелі мінеральних і органічних добавок різного походження.

**Шлакопортландцемент** – гідралічна в'язуча речовина, що отримується шляхом тонкого помелу портландцементного клінкеру з гранульованим доменним шлаком (36...95%) і гіпсовим каменем.

**Композиційний цемент** – крім клінкеру, містить не менше двох основних компонентів, серед яких обов'язковим є доменний гранульований шлак. Різна активність таких добавок в цементній системі дозволяє регулювати процес тверднення цементів для забезпечення необхідних властивостей. Традиційною композицією для такого цементу є «клінкер – гіпс – шлак – пуцолана (трепел, зола, мікрокремнезем)».

## Лабораторна робота №1

### ВАРІННЯ ПРИРОДНОГО ГІПСУ

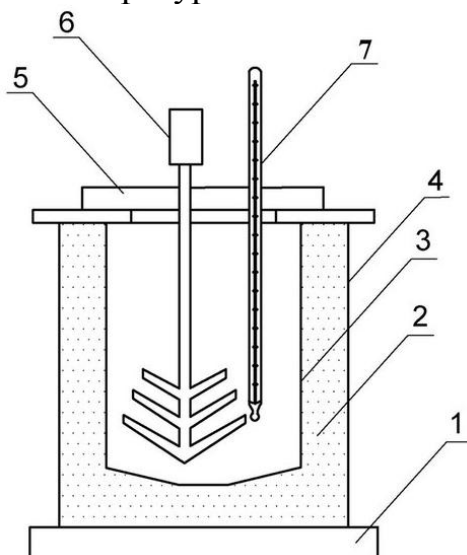
**Ціль роботи:** ознайомитися з технологічним режимом варіння гіпсу у гіпсоварильному казані, накреслити та проаналізувати графік термообробки.

#### Устаткування та матеріали:

- гіпсоварильний казан з мішалкою;
- термометр (до температури  $250^{\circ}\text{C}$ );
- термостат;
- ваги лабораторні;
- двоводний гіпс (1,5 кг).

#### Проведення випробувань

Гіпсовий камінь заздалегідь здрібнюють у лабораторному млині до залишку на ситі №02 не більше 15%. Теоретично в природному двоводному гіпсі має бути 20,93% гідратної води. Практично в природному двоводному гіпсі її менше, оскільки в ньому завжди присутні добавки. Наважку здрібненого природного гіпсу (0,5 кг) поміщають у лабораторний гіпсоварильний казан (рис. 1.1) і нагрівають у термостаті за таким режимом: підйом температури – 15-30 хв; витримка при відносно постійній температурі – не менше 30 хв; природне охолодження до кімнатної температури.



1 – нагрівальний прилад; 2 – пісок; 3 – казан; 4 – кожух; 5 – кришка;  
6 – мішалка; 7 – термометр

Рисунок 1.1 – Лабораторний гіпсоварильний казан

Перемішування гіпсу в казані проводиться без зупинки. За допомогою термометра, розташованого в гіпсовому порошку, спостерігається і фіксується підйом температури через кожні 15 хв.

За отриманими даними варіння гіпсу необхідно накреслити температурну криву і зробити аналіз усього процесу (рис. 1.2).

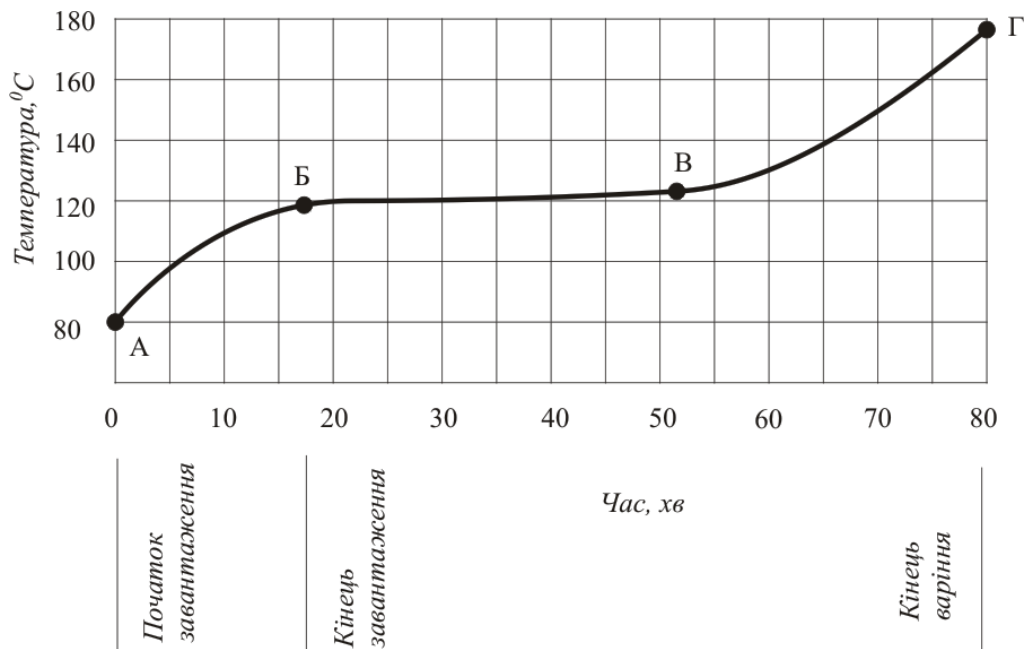


Рисунок 1.2 – Температурна крива варіння гіпсу

### Питання для самоконтролю

1. Написати реакцію дегідратації гіпсу, що відбувається при варінні.
2. Пояснити причину уповільнення підйому температури в окремі проміжки часу (ділянка кривої Б-В).
3. Відзначити температуру, при якій гіпсовий порошок стає легко рухливим.
4. Пояснити причину «кипіння» та «осідання» маси.
5. Зважити гіпс після варіння. Пояснити причину розбіжності фактичної маси з теоретичним виходом гіпсу (теоретичний коефіцієнт виходу напівводного гіпсу дорівнює  $K = 1 - (15,76:100) = 0,0842$ ).

### Лабораторна робота №2

#### ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНОЇ КОНСИСТЕНЦІЇ ГІПСОВОГО ТІСТА

**Ціль роботи:** встановлення за допомогою приладу Суттарда стандартної консистенції (нормальної густоти) гіпсового тіста, що характеризується кількістю води зачинення необхідної для досягнення заданого розпливу.

#### Устаткування та матеріали:

- чашка із корозійностійкого матеріалу місткістю понад 500 см<sup>3</sup>;
- ручна мішалка, що має більше ніж три петлі (рисунок 2.1);
- скло діаметром понад 240 мм, на яке нанесено ряд концентричних кіл діаметром 150-220 мм через кожні 10 мм, а кола діаметром від 170 до 190 мм - через кожні 5 мм. Кола можна нанести на аркуш білого паперу і розмістити його між двома скляними пластинами;



- циліндр із нержавіючого металу з полірованою внутрішньою поверхнею (рисунок 2.2);
- лінійка завдовжки 250 мм з ціною поділки 1 мм;
- ваги лабораторні з похибкою зважування не більше 1 г;
- секундомір;
- мірний циліндр місткістю 250 мл;
- будівельний гіпс, питна вода.

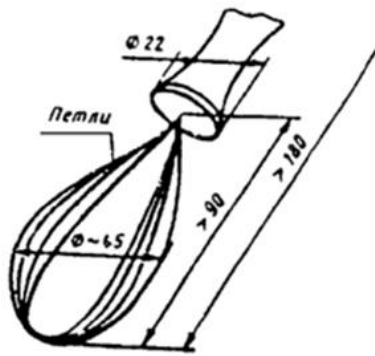


Рисунок 2.1 – Ручна мішалка

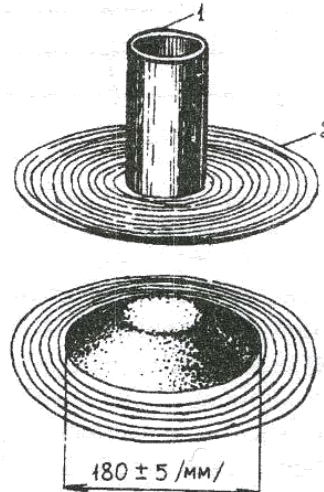


Рисунок 2.2 – Прилад Суттарда

### Проведення випробувань

Стандартна консистенція (нормальна густота) характеризується діаметром розпливу гіпсовою тіста, що витікає із циліндра при його піднятті на висоту не менше ніж 100 мм. Діаметр розпливу повинен бути рівним  $(180 \pm 5)$  мм. Кількість води є основним критерієм для визначення властивостей гіпсового в'язучого: часу тужавлення, границі міцності, об'ємного розширення та водопоглинання. Кількість води виражається у відсотках, як відношення маси води, необхідної для отримання гіпсової суміші стандартної консистенції, до маси гіпсового в'язучого в грамах.

У чисту чашку, попередньо протерту тканиною, вливають воду, кількість якої залежить від властивостей гіпсового в'язучого. Після цього у воду протягом 2-5 с засипають від 300 до 350 г гіпсового в'язучого. Масу перемішують ручною мішалкою протягом 30 с, починаючи відлік часу від початку засипання гіпсового в'язучого у воду. Після закінчення перемішування циліндр, встановлений у центрі скла, заповнюють гіпсовим тістом, надлишок якого зрізають лінійкою. Циліндр і скло попередньо протирають тканиною. Через 45 с, рахуючи від початку засипання гіпсового в'язучого у воду, або через 15 с після закінчення перемішування циліндр дуже швидко піднімають вертикально на висоту не менше 100 мм і відводять у сторону. Діаметр розпливу вимірюють безпосередньо після підняття циліндра лінійкою у двох перпендикулярних напрямках з похибкою не більше 5 мм і вираховують середнє арифметичне значення. Якщо діаметр розпливу тіста не відповідає  $(180 \pm 5)$  мм, випробування повторюють з іншою кількістю води.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке гіпс і які його різновиди існують?
2. Що таке нормальна густина гіпсового тіста?
3. Що робити, якщо при випробуванні діаметр розпливу тіста не відповідає  $(180 \pm 5)$  мм?
4. На що впливає велика водопотреба гіпсового тіста?

### **Лабораторна робота №3**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ТУЖАВЛЕННЯ ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО**

**Ціль роботи:** встановлення за допомогою приладу Віка початку та кінця тужавлення гіпсового в'язучого.

#### **Устаткування та матеріали:**

- гіпсове тісто стандартної консистенції;
- секундомір;
- конічне кільце із корозійностійкого матеріалу;
- прилад Віка з масою рухомої частини  $(300 \pm 2)$  г. Голка повинна бути виготовлена із твердого нержавіючого сталевого дроту з полірованою поверхнею і не повинна мати викривлень;
- поліровану пластинку із корозійностійкого матеріалу розміром не менше  $100 \times 100$  мм.

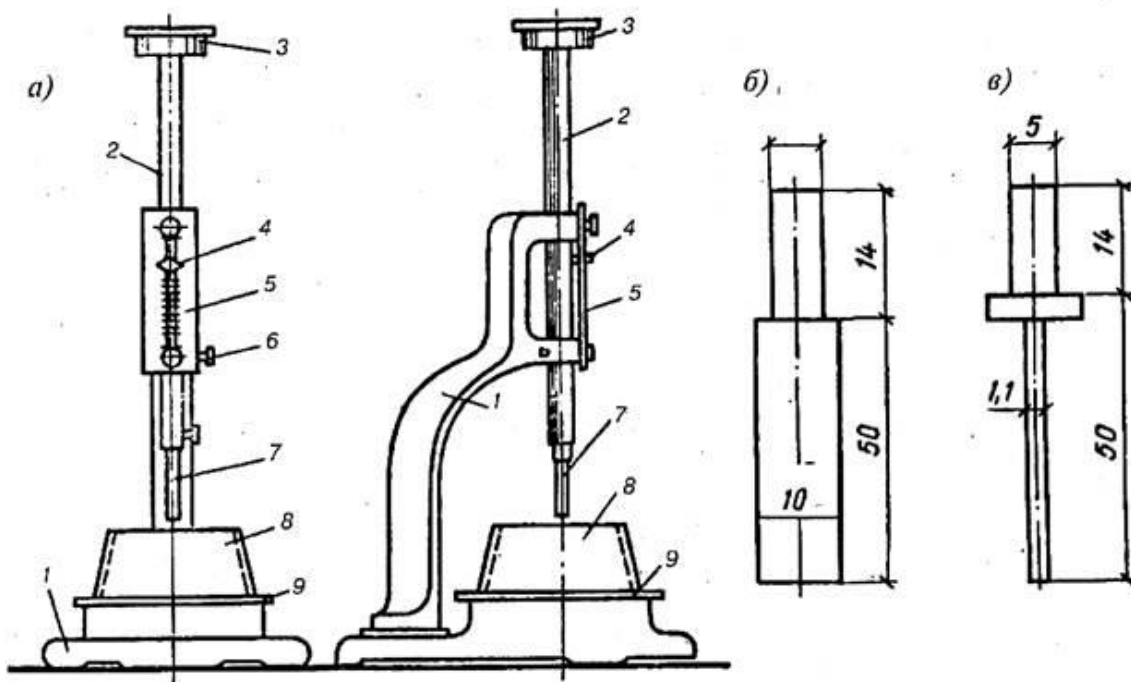
#### **Проведення випробувань**

Суть методу полягає у визначенні часу від початку контакту гіпсового в'язучого з водою до початку та кінця тужавлення тіста.

Перед початком випробувань перевіряють, чи вільно опускається стержень приладу Віка, а також нульове положення рухомої його частини.

Кільце, попередньо протерте, змазане мінеральним маслом і встановлене на поліровану пластинку, заповнюють тістом. Для видалення повітря, що попало у тісто, кільце з пластинкою 4-5 разів струшують шляхом піднімання і опускання однієї із сторін пластинки приблизно на 10 мм. Після цього надлишки тіста зрізають лінійкою та заповнену форму на пластинці встановлюють на основу приладу Віка (рисунок 3.1).

Рухому частину приладу з голкою встановлюють у таке положення, при якому кінець голки торкається поверхні гіпсового тіста, після цього голку вільно опускають у кільце з тістом. Занурення роблять один раз через кожні 30 с, починаючи з цілого числа хвилин. Після кожного занурення голку старанно витирають, а пластинку разом з кільцем переміщують так, щоб голка при новому занурюванні попадала в інше місце поверхні тіста.



а) вид збоку – з прямо встановленим кільцем Віка; б) товкач для визначення нормальної густоти; в) голка для визначення строків тужавлення;  
 1 – станина; 2 – стрижень; 3 – привантажувач; 4 – вказівник; 5 – шкала;  
 6 – гвинт; 7 – товкач; 8 – кільце; 9 – пластина

Рисунок 3.1 – Типовий прилад Віка для визначення нормальної густоти та строків тужавлення

Початок тужавлення визначають числом хвилин, що пройшли від моменту добавлення в'язучого у воду до моменту, коли вільно опущена голка після занурення у тісто перший раз не доходить до поверхні пластинки, а кінець тужавлення – коли вільно опущена голка занурюється на глибину не більше 1 мм. Час від початку і кінця тужавлення виражають у хвилинах.

### Питання для самоконтролю

1. На якому приладі визначають строки тужавлення гіпсових в'язучих?
2. Як визначається початок тужавлення гіпсового в'язучого?
3. Навіщо знати терміни тужавлення гіпсового в'язучого?
4. Визначити за додаток Б (таблиця Б.2) до якої групи за швидкістю тужавлення відноситься випробуваний гіпс.

## Лабораторна робота №4

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ МІЦНОСТІ ПРИ ВИГІНІ Й СТИСКУ ЗРАЗКІВ З ГІПСУ

**Ціль роботи:** визначити межі міцності при вигині й стиску стандартних зразків з гіпсу для встановлення його марки.

**Устаткування та матеріали:**

- будівельний гіпс, питна вода;
- ваги лабораторні;
- прес ПГ-10;
- машина МП-100.

#### Проведення випробувань

Міцнісні характеристики гіпсових в'язучих визначають випробуванням зразків-балочок розмірами 40×40×160 мм з гіпсового тіста стандартної консистенції через 2 години після виготовлення. Для виготовлення трьох зразків-балочок зважують 1 кг гіпсу і додають до води в кількості, що відповідає нормальній густині гіпсового тіста. Тісто перемішують 60 с до однорідної консистенції і заливають у форму. Для усунення бульбашок повітря форму струшують 5 разів. Після початку тужавіння залишки гіпсового тіста зрізають лінійкою. Через 15 хв після закінчення тужавіння зразки виймають з форми і оглядають. Грані зразків-балочок повинні бути паралельні й мати відхилення не більше 0,5 мм. Через 2 години після виготовлення зразки-балочки випробують на вигин на машині МП-100. Межу міцності при вигині зразків підраховують як середнє арифметичне двох найбільших результатів випробувань трьох зразків.

Показник лічильника відповідає межі міцності при вигині (кг/см<sup>2</sup>). Межу міцності при стиску визначають шляхом випробування шести половинок балочок, отриманих при випробуванні на вигин, на пресі ПГ-10. Для того, щоб передати навантаження на половинки балочок, використовують сталеві шліфовані пластини розміром 4,0 × 6,25 см (площа 25 см<sup>2</sup>). Кожну половинку балочки розташовують між двома пластинами так, щоб бокові грані, які при виготовленні торкалися форми, співпадали з робочими поверхнями, а упор пластинок щільно торкався торцевої стінки зразка. Межу міцності при стиску розраховують за формулою:

$$R = P/S, \quad (4.1)$$

де P – руйнуюче зусилля, кг (Н);

S – площа робочої поверхні пластин, рівна 25 см<sup>2</sup> (м<sup>2</sup>).

Границю міцності при стиску вираховують, як середнє арифметичне результатів випробувань усіх зразків, без найбільшого і найменшого результатів:

$$R_{\text{сєр.стис}} = \frac{R_{\text{істис.}} + \dots + R_{\text{пстис.}}}{n} \quad (4.2)$$

де R<sub>і стис.</sub>, ..., R<sub>п стис.</sub> – результати визначення границі міцності при стиску окремих зразків в МПа або кгс/см<sup>2</sup>;

n – кількість зразків, результати визначення границі міцності яких враховані при обчисленні.

Границю міцності при вигині вираховують як середнє арифметичне результатів трьох випробувань.

Результати експерименту порівнюють з даними додатку Б, таблиця Б.1 і роблять висновок, до якої марки за міцністю належить випробуваний гіпс.

Передбачено 12 марок гіпсових в'язучих – від Г-2 до Г-25, де цифра означає нормовану межу міцності при стиску в МПа. Межа міцності при згині змінюється відповідно від 1,2 до 8 МПа. Висушування гіпсових зразків до сталої маси збільшує їхню міцність майже у два рази.

### **Питання для самоконтролю**

1. Наведіть методику визначення міцнісних характеристик гіпсу.
2. Як встановити марку гіпсу за міцністю при стиску?
3. Як впливають умови витримки зразків на міцність гіпсових в'язучих?

### **Лабораторна робота №5**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ТОНІНИ ПОМЕЛУ ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО**

**Ціль роботи:** визначити тонину помелу гіпсового в'язучого за залишком на ситі з отворами розміром 0,2 мм.

#### **Устаткування та матеріали:**

- сушильна шафа;
- ваги лабораторні з похибкою вимірювання не більше 0,05 г;
- сито з розмірами вічок у просвіті 0,2 мм за ГОСТ 6613;
- термометр із шкалою до 100 °С;
- установка для механічного просіювання;
- будівельний гіпс.

#### **Проведення випробувань**

Суть методу полягає у визначенні маси гіпсового в'язучого, що залишилась після просіювання на ситі з отворами розміром 0,2 мм.

Пробу гіпсового в'язучого масою 50 г, зважену з похибкою не більше 0,1 г, попередньо висушену у сушильній шафі протягом 1 год при температурі  $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ , висипають на сито і просіюють ручним або механічним способом.

Просіювання вважається закінченим, якщо через сито протягом 1 хв при ручному просіюванні проходить не більше 0,05 г гіпсового в'язучого.

Тонина помелу окремої проби визначають у відсотках з похибкою не більше 0,1 %, як відношення маси гіпсового в'язучого, що залишилося на ситі, до маси початкової проби. За величину тонини помелу приймають середнє арифметичне результатів двох випробувань.

### Питання для самоконтролю

1. Як визначають тонину помелу гіпсу ?
2. На що впливає тонина помелу гіпсу ?
3. За додатком Б (таблиця Б.3) визначити до якого класу за тониною помелу відноситься в'язуче.

### Лабораторна робота №6

#### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЧАСУ ГАШЕННЯ ВАПНА

**Ціль роботи:** визначити вид вапна за температурою та часом його гашення в посудині Дьюара.

#### Устаткування та матеріали:

- посудина Дьюара (побутовий термос місткістю 500 мл);
- термометр (до температури 100<sup>0</sup>С);
- ваги лабораторні;
- дерев'яна відполірована паличка;
- вапно негашене, питна вода.

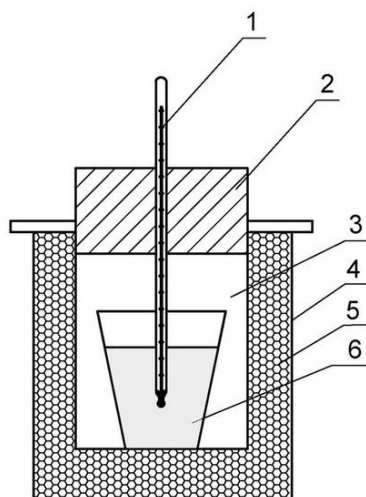
#### Проведення випробувань

Спочатку за формулою в грамах розраховують масу наважки G:

$$G = \frac{1000}{A} \quad (6.1),$$

де A – вміст активних оксидів кальцію і магнію у вапні, %.

Далі її висипають у термос, вливають туди 25 мл води з температурою 20<sup>0</sup>С і швидко перемішують дерев'яною відполірованою паличкою. Термос закривають корком із щільно встановленим в ньому термометром на 100<sup>0</sup>С з поділкою 1<sup>0</sup>С і залишають у спокої. Ртутна кулька термометра повинна бути повністю занурена у суміш, що реагує. Відлік температури суміші проводять через кожну хвилину, починаючи з моменту добавлення води. Визначення вважається закінченим, коли протягом 4 хвилин температура підвищується не більше ніж на 1<sup>0</sup>С. Допускається при проведенні випробувань замість термосу застосовувати термоізолювану скляну ємкість, яка забезпечує дотримання передбачених цим стандартом умов випробування.



1 – термометр; 2 – кришка; 3 – термос; 4 – корпус; 5 – теплоізоляція;  
6 – ємність з вапном

Рисунок 6.1 – Посудина Дьюара (побутовий термос)

За час гашення приймають час з моменту добавлення води до початку періоду, коли збільшення температури не перевищує  $0,25^{\circ}\text{C}$  за хвилину.

#### Питання для самоконтролю

1. Який матеріал називають повітряним будівельним вапном?
2. Назвіть види будівельного вапна.
3. Наведіть методику визначення температури й часу гашення вапна.

#### Лабораторна робота №7

### ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО ВМІСТУ АКТИВНИХ ОКСИДІВ КАЛЬЦІЮ І МАГНІЮ У КАЛЬЦІЄВОМУ ВАПНІ

**Ціль роботи:** встановити сумарний вміст активних оксидів кальцію і магнію у кальцієвому вапні необхідних для оцінки його сорту.

#### Устаткування та матеріали:

- ступки порцелянові – 4 шт.;
- ваги лабораторні;
- електроплитки;
- мірні циліндри;
- соляна кислота за ГОСТ 3118;
- дистильована вода;
- конічні колби місткістю 250 мл – 4 шт.;
- скляні лійки – 4 шт.;
- фенолфталеїн (1%) – 2-3 краплі за ТУ 6 09-5360-87;
- вапно негашене  $\text{CaO}$ ;
- вапно гідратне  $\text{Ca(OH)}_2$ .

## Проведення випробувань

Спочатку підготовляють хімічні розчини, необхідні для проведення випробувань. 1 Н розчин готують таким чином: 85 мл соляної кислоти густиною 1,19 розводять дистильованою водою до 1 л і старанно перемішують.

Титр 1 Н розчину соляної кислоти встановлюють по вуглекислому безводному натрію згідно з ГОСТ 83, попередньо висушеним при температурі 250-270 °С до постійної маси протягом 1-1,5 год.

Наважку вуглекислого нагрію в 1 г поміщають у конічну колбу місткістю 250 мл і розчиняють дистильованою водою до 80-100 мл. Отриманий розчин титрують установленим 1 Н розчином соляної кислоти, титр якого визначається в присутності метилового оранжевого індикатора за ТУ 6-09-51 71-84 (0,1%-вий розчин) до переходу жовтого забарвлення розчину у оранжево-рожеве.

Титр 1 Н розчину соляної кислоти  $T$ , виражений у грамах СаО, вираховують за формулою:

$$T_{CaO} = \frac{0,02804 \cdot Q}{0,053 \cdot V}, \quad (7.1)$$

де 0,02804 – кількість оксиду кальцію, що відповідає 1 мл точно 1Н розчину соляної кислоти, г;

0,053 – кількість вуглекислого натрію, що відповідає 1мл точно 1Н розчину соляної кислоти, г;

$Q$  – маса наважки вуглекислого натрію, г;

$V$  – об'єм 1 Н розчину соляної кислоти, що витрачений на титрування, мл.

Наважку вапна масою 1 г поміщають в конічну колбу місткістю 250 мл, наливають 150 мл дистильованої води, добавляють 3-5 скляних бус або оплавлених скляних паличок завдовжки 5-7 мм, закривають склянню воронкою або годинниковим склом і нагрівають 5-7 хв до температури кипіння. Розчин охолоджують до температури 20-30 °С, промивають стінки колби і склянню воронку (або годинникове скло) кип'яченою дистильованою водою, добавляють 2-3 краплі 1%-вого спиртового розчину фенолфталеїну і титрують при постійному збовтуванні 1 Н розчином соляної кислоти до повного знебарвлення розчину. Титрування вважають закінченим, якщо протягом 8 хв при періодичному збовтуванні розчин залишиться безбарвним. Титрування необхідно проводити повільно, добавляючи кислоту краплями.

Вміст активних оксидів кальцію і магнію  $A$  у відсотках для негашеного вапна вираховують за формулою:

$$A = \frac{V \cdot T_{CaO}}{m} \cdot 100, \quad (7.2)$$

де  $V$  – об'єм розчину 1 Н соляної кислоти, який витрачений на титрування, мл;

$T_{CaO}$  – титр 1 Н розчину соляної кислоти, виражений у грамах СаО;

$m$  – маса наважки вапна, г.

Вміст активних оксидів кальцію і магнію  $A$  у відсотках для гідратного вапна вираховують за формулою:



$$A = \frac{V \cdot T_{CaO}}{Q \cdot (100 - W)} \cdot 100, \quad (7.3)$$

де  $W$  – вологість гідратного вапна, %.

Результати визначення вмісту в вапні активних  $CaO$  і  $MgO$  заносять в журнал для лабораторних робіт.

### Питання для самоконтролю

1. Як визначається кількість активних оксидів у вапні?
2. За додатком В визначити по кількості активних  $CaO+MgO$  до якого сорту відноситься вапно.

## Лабораторна робота №8

### ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НЕПОГАШЕНИХ ЗЕРЕН У ВАПНІ

**Ціль роботи:** встановити вміст непогашених зерен у вапні.

#### Устаткування та матеріали:

- металева посудина циліндричної форми місткістю 8-10 л;
- грудкове вапно, вода;
- сито з сіткою № 063.

#### Проведення випробувань

У металеву посудину циліндричної форми місткістю 8-10 л наливають 3,5-4 л води, нагрітої до температури  $85-90^{\circ}C$ , і всипають 1 кг вапна при безперервному перемішуванні до закінчення інтенсивного виділення пари (кипіння). Посудину з тістом закривають кришкою і витримують 2 год, потім тісто розбавляють холодною водою до консистенції вапняного молока і промивають на ситі з сіткою № 063, легенько розтираючи м'які кусочки плоским кінцем скляної палички. Залишок на ситі висушують при температурі  $140-150^{\circ}C$  до постійної маси. Вміст непогашених зерен (Н.З.) у відсотках вираховують за формулою:

$$Н.З. = \frac{m}{1000} \cdot 100, \quad (8.1)$$

де  $m$  – залишок на ситі після висушування, г;  
1000 – маса наважки вапна, г.

### Питання для самоконтролю

1. Наведіть методику визначення вмісту непогашених зерен.
2. Як визначити сорт вапна?

## Лабораторна робота №9

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЧАТКОВИХ СТАДІЙ ГІДРАТАЦІЇ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

**Ціль роботи:** оцінити швидкість початкової гідратації будівельного гіпсу, будівельного вапна та портландцементу по температурним даним їх твердіння.

#### Устаткування та матеріали:

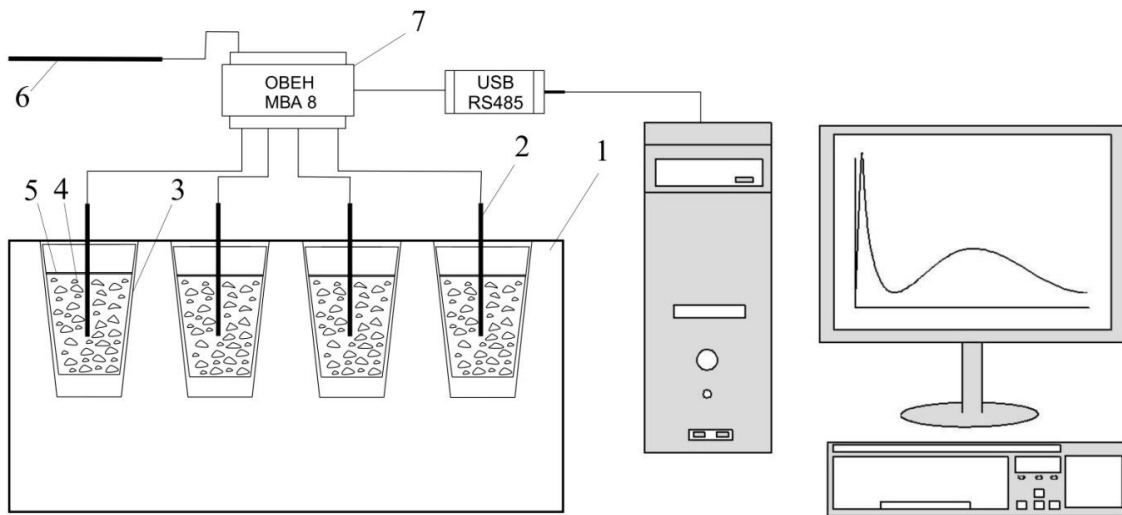
- ваги лабораторні;
- чаші для зважування та зачинення гіпсу, вапна та цементу;
- прилад для вимірювання та фіксування температури;
- термос;
- будівельний гіпс, будівельне вапно, портландцемент, добавки, вода.

#### Проведення випробувань

Для проведення вимірювань застосовується багатоканальний термосний (полуадіабатичний) калориметр (рис. 9.1). Він складається з теплоізолюючого корпусу 1 з вимірювальними комірками 3. В них розміщуються випробувальні зразки 4 з вставленими в них температурними датчиками. Для запобігання випаровування води зразки щільно закриваються кришкою 5. Коливання температури навколишнього середовища вимірюється датчиком 6. Фіксація і передача даних на комп'ютер здійснюється за допомогою багатоканального модуля вимірювання температури 7. Метод вимірювання температури твердіння в'язучих речовин дозволяє оцінити початкову кінетику їх гідратації та впливу на неї різноманітних добавок. Він являється одним з найдоступніших для оцінки кінетики гідратації в'язучих і може застосовуватися для направленої її регулювання згідно технологічних вимог.

Спочатку зважується 20...100 г в'язучого, потім в пластикових стаканах зважується 10...50 г води, при необхідності в воду додається задана кількість добавки. На комп'ютері запускається програма вимірювання температури з інтервалом опитування 10...30 с.

Потім одночасно усі в'язучі засипається в воду та протягом 30...60 с проводиться змішування компонентів, при цьому треба максимально зменшити нагрівання проб руками. Після закінчення змішування в проби встановлюються попередньо обмотані плівкою датчики температур, зразки закривають ізоляційними кришками та встановлюють в комірки згідно нумерації датчиків. По закінченню необхідного часу вимірювань програма зупиняється, і на комп'ютері зберігаються температурні графіки залежності  $t = f(\tau)$  для кожного зразка. Робиться аналіз температурних залежностей з виділенням характерних періодів та температурних максимумів.



1 – теплоізоляція; 2 – датчик температури зразка; 3 – вимірювальна комірка; 4 – зразок; 5 – ізолююча кришка; 6 – датчик зовнішньої температури; 7 – багатоканальний модуль вимірювання температури.

Рис 9.1 – Схема вимірювання температури твердіння в'язучих речовин

### Питання для самоконтролю

1. Навести вплив добавки на швидкість початкової гідrataції будівельного гіпсу по температурним даним їх твердіння.
2. Оцінити швидкість початкової гідrataції будівельного вапна та портландцементу по температурним даним їх твердіння.

### Лабораторна робота №10

#### РОЗРАХУНОК МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ КЛІНКЕРУ

**Ціль роботи:** за даними хімічного складу зробити розрахунок мінерального складу портландцементного клінкера різних заводів, підрахувати числові значення модулів та коефіцієнту насичення.

#### Порядок виконання роботи

За наведеними нижче формулами розрахувати мінеральний склад цементного клінкера за даними хімічного аналізу клінкерів різних заводів (таблиці 10.1, за В.А. Кіндом) та визначити числові значення модулів ОМ, СМ, ГМ. Перевірити значення коефіцієнту насичення КН.

Хімічний склад клінкеру коливається в широких межах, %: CaO – 61...67; SiO<sub>2</sub> – 20...24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3...8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,5...6; MgO – 0,5...6; (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) – 0,4...1,5; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,1...0,3; SO<sub>3</sub> – 0,3...1.

У клінкері звичайного складу головні оксиди утворюють силікати (C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S), алюмінати (C<sub>3</sub>A) і алюмоферити кальцію (C<sub>4</sub>AF) у вигляді мінералів кристалічної структури, частина їх входить у з'єднання склоподібної фази.

Вміст цих складових у клінкері можна визначити експериментальними методами (петрографічним, термографічним, рентгенографічним та ін.), а та-

кож розрахувати за даними хімічного аналізу за формулами (10.1–10.6), запропонованими В.А. Кіндом, %:

$$C_3S = 4,07 \cdot CaO_{зв'яз} - 7,6 \cdot SiO_{2зв'яз} - 6,7 \cdot Al_2O_3 - 1,42 \cdot Fe_2O_3 \quad (10.1)$$

$$C_2S = 8,6 \cdot SiO_{2зв'яз} + 5,07 \cdot Al_2O_3 + 1,07 \cdot Fe_2O_3 - 3,07 \cdot CaO \quad (10.2)$$

Вміст мінералів планів обчислюють у залежності від глиноземного модуля (ГМ) за формулами (10.3–10.6), %:

$$\text{Якщо } ГМ > 0,64 \quad C_4AF = 3,04 \cdot Fe_2O_3 \quad (10.3)$$

$$C_3A = 2,65 \cdot (Al_2O_3 - 0,64 \cdot Fe_2O_3) \quad (10.4)$$

$$\text{Якщо } ГМ \leq 0,64 \quad C_4AF = 4,77 \cdot Al_2O_3 \quad (10.5)$$

$$C_3A = 1,7 \cdot (Fe_2O_3 - 1,57 \cdot Al_2O_3) \quad (10.6)$$

Вміст сульфату кальцію визначають за формулою (9.7), %:

$$CaSO_4 = 1,7 \cdot SO_3 \quad (10.7)$$

Характеристика клінкеру за числовими значеннями модулів здійснюється на основі даних про процентний вміст головних оксидів у складі клінкеру.

Співвідношення між основним оксидом (CaO) та кислими і амфотерними (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) визначає ступінь гідралічності клінкера і вважається гідралічним (основним) модулем. Основний модуль (ОМ) обчислюється за формулою (10.8):

$$ОМ = \frac{CaO_{заг} - CaO_{вілн}}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (10.8)$$

ОМ у клінкері заводського виготовлення коливається у межах 1,7...2,6. При максимальному показнику ОМ цемент є більш активним.

Але при випалюванні кремнезем витрачається не тільки на утворення силікатів. Про співвідношення між реакційноздатним кремнеземом і сумарним вмістом глинозема і оксиду заліза свідчить силікатний (кремнеземистий) модуль (СМ) обчислюється за формулою (10.9):

$$СМ = \frac{SiO_{2заг} - SiO_{2вілн}}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (10.9)$$

СМ у клінкері заводського виготовлення коливається у межах 1,7...3,5. Більші значення СМ характеризують цемент, що здатний інтенсивно підвищувати міцність в часі.

Співвідношення між оксидами алюмінію і заліза характеризує глиноземистий (алюмінатний) модуль (ГМ) обчислюється за формулою (10.10):

$$ГМ = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (10.10)$$

ГМ у клінкері заводського виготовлення коливається у межах 1,0...2,5. Фактично він показує, в якому відношенні знаходяться алюмінат та алюмоферит кальцію в клінкері.

Інформація про модулі передбачає певні характеристики клінкеру і відповідно цементу на його основі. Очевидно, що високий гідралічний модуль свідчить про високу основність системи, що забезпечує високу міцність, в тому числі ранню.

Для оцінки співвідношення між головними оксидами цементного клінкеру користуються коефіцієнт насичення (КН), що показує відношення кількості оксиду кальцію в клінкері, фактично зв'язаного з кремнеземом, до теоретично необхідної кількості, для повного зв'язування  $\text{SiO}_2$  в  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ :

$$KH = \frac{CaO_{заг} - CaO_{вільн} - 1,65 \cdot Al_2O_3 - 0,35 \cdot Fe_2O_3 - 0,7 \cdot SO_3}{2,8 \cdot (SiO_{2заг} - SiO_{2вільн})} \quad (10.11)$$

Таблиця 10.1 – Хімічний склад клінкерів різних заводів

№ п/п	Найменування заводів	Основні оксиди, %					
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO <sub>вільн</sub>	КН
1	Белгородський	66,92	22,78	4,6	4,39	0,43	0,903
2	Більшовик	65,57	21,85	5,15	5,65	0,27	0,893
3	Здолбуновський	67,03	22,44	5,14	4,32	1,42	0,904
4	Кричевський	66,55	22,38	5,76	4,18	0,52	0,883
5	Амвросієвський	66,74	23,9	4,19	3,47	0,25	0,867
6	Балаклеївський	66,5	22,77	4,54	4,31	-	0,901
7	Ніколаєвський	66,32	21,06	6,53	3,68	0,23	0,916

### Питання для самоконтролю

1. Назвати основні оксиди портландцементного клінкеру.
2. Назвати основні мінерали портландцементного клінкеру. Як їх розраховують?
3. На що впливають модулі ОМ, СМ, ГМ та коефіцієнт КН ?

### Лабораторна робота №11

#### ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАЛЬНОЇ ГУСТОТИ ЦЕМЕНТНОГО ТІСТА

**Ціль роботи:** встановити на приборі Віка необхідну кількість води для отримання цементного тіста нормальної густоти.

#### Устаткування та матеріали:

- прилад Віка з товкачиком і голкою;
- кільце до приладу Віка;
- мішалка для приготування цементного тіста (наприклад, МТЗ - мішалка конструкції В.Т. Задираки) або змішувач згідно з ДСТУ EN 196-3;
- ваги лабораторні;
- портландцемент;
- питна вода.

#### Проведення випробувань

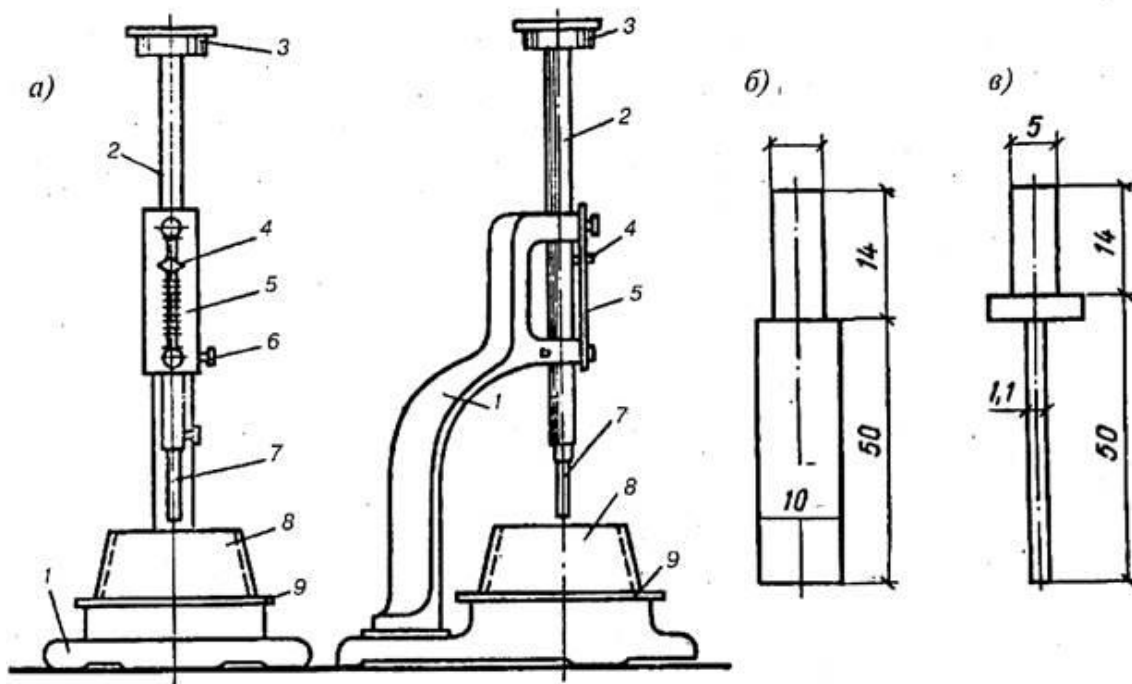
Нормальну густоту визначають вимірюванням відстані занурення стандартного товкачика приладу Віка в цементне тісто певної консистенції. Конси-

стенцію цементного тіста змінюють шляхом змінення кількості води при його приготуванні.

Прилад Віка (рисунок 11.1) має циліндричний металевий стрижень 2, що може вільно вертикально переміщуватися в обоймі станини 1. Для закріплення стрижня на потрібній висоті використовують стопорний гвинт 6. Стрижень обладнаний показчиком 4 для відліку переміщення його відносно шкали 5, прикріпленої до станини. Шкала має поділку 1 мм.

При визначенні нормальної густоти цементного тіста у нижню частину стрижня установлюють металевий циліндр-товкачик 7. Товкачик має бути виготовлений із корозієстійкого металу з полірованою поверхнею. Голка повинна бути виготовлена із корозієстійкого сталевого жорсткого дроту з полірованою поверхнею і не повинна мати скривлень (рисунок 11.1, в). Поверхня товкачика та голки повинна бути чистою.

Загальна маса рухомих деталей приладу, що закріплені на стрижні, має складати  $(300 \pm 2)$  г, вони повинні рухатись точно вертикально без відчутного тертя. Масу рухомої частини приладу зберігають, здійснюючи взаємну перестановку товкачика та голки.



а) вид збоку – з прямо встановленим кільцем Віка; б) товкач для визначення нормальної густоти; в) голка для визначення строків тужавлення;  
1 – станина; 2 – стрижень; 3 – привантажувач; 4 – вказівник; 5 – шкала;  
6 – гвинт; 7 – товкач; 8 – кільце; 9 – пластинка

Рисунок 11.1 – Типовий прилад Віка для визначення нормальної густоти та строків тужавлення цементного тіста

Кільце до приладу Віка і пластинка, на яку встановлюють кільце, повинні бути виготовлені з корозієстійкого матеріалу, що не вбирає вологу (сталі, син-

тетичних та інших матеріалів). Розмір пластинки має бути більше нижнього діаметра кільця, а товщина – не менше ніж 2,5 мм. Форма та розміри кільця повинні відповідати значенням, що вказані на рисунку 11.2.

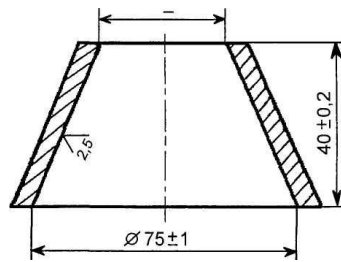


Рисунок 11.2 – Кільце до приладу Віка

Приготування цементного тіста може проводитись вручну або із застосуванням мішалки. Для приготування цементного тіста зважують  $(400 \pm 1)$  г цементу, а також певну кількість води, наприклад,  $(100 \pm 1)$  г. Після зважування цемент рівномірно розподіляють по дну мішалки, яка попередньо протирається вологою тканиною. Горизонтальну вісь із піднятими лопатями насаджують на вертикальну вісь мішалки, на шар цементу рівномірно наливають воду і одразу після цього включають мішалку.

Перші 30 с цемент перемішують із водою ножами мішалки. Через (30 - 35) с опускають лопаті і продовжують змішування. Безперервний цикл змішування повинен тривати  $(5 \pm 0,5)$  хв.

При використанні змішувача згідно з 4.4 ДСТУ EN 196-1 приготування цементного тіста виконують відповідно до 5.2.1 ДСТУ EN 196-3.

Перед початком визначення нормальної густоти на приладі Віка перевіряють, чи вільно переміщується стрижень із товкачиком і покажчиком, а також нульову позначку приладу, тобто, чи встановлюється покажчик на нульову відмітку на шкалі при торканні до упору товкачиком пластинки, на якій встановлене кільце. При відхиленні покажчика від нуля шкалу приладу відповідним чином пересувають, потім піднімають стрижень із товкачиком у вихідне положення. Кільце до приладу Віка та пластинку перед початком випробувань змащують тонким шаром машинного масла.

Після закінчення змішування кільце до приладу Віка, що встановлене на пластинці, швидко заповнюють за один прийом цементним тістом і 5-6 разів струшують його, стукаючи пластинкою по твердій поверхні. Поверхню тіста вирівнюють із краями кільця, зрізуючи надлишок тіста ножем, який попередньо протирають вологою тканиною. Заповнене тістом кільце поміщають до приладу Віка так, щоб товкачик знаходився по центру кільця. Відразу після цього стрижень із товкачиком опускають до торкання з поверхнею цементного тіста у центрі кільця та закріплюють стрижень стопорним пристроєм, потім швидко звільняють його і дають змогу товкачику вільно занурюватися в тісто. Через 30 с від початку звільнення стрижня проводять відлік його занурення за шкалою. Кільце з цементним тістом при випробуванні не повинно зазнавати товчків.

За нормальну густоту цементного тіста (НГТ) приймають таку його консистенцію, при якій товкачик приладу Віка, занурений у кільце до цього приладу, заповнене тістом, не доходить на відстань від 5 мм до 7 мм до пластинки, на якій встановлене кільце.

За умови отримання невідповідної консистенції цементного тіста змінюють кількість води і знову замішують тісто, доки не буде досягнуто занурення товкачика на потрібну глибину – на відстань  $(6 \pm 1)$  мм від поверхні пластинки, що підкладають під кільце.

Нормальну густоту цементного тіста характеризують вмістом води, що потрібна для замішування і отримання консистенції цементного тіста. НГТ виражають у відсотках маси води від маси цементу і визначають з точністю до 0,25 %.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке нормальна густота цементного тіста? Як вона визначається ?
2. Який отриманий вміст води в цементному тісті, виражений у % по відношенню до маси цементу при визначенні нормальної густоти ?
3. Які цементи мають порівняно більшу нормальну густоту ?

### **Лабораторна робота №12**

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКІВ ТУЖАВЛЕННЯ ЦЕМЕНТУ**

**Ціль роботи:** встановлення на приборі Віка часу початку та кінця тужавлення цементного тіста.

### **Устаткування та матеріали:**

- прилад Віка з товкачиком і голкою;
- кільце до приладу Віка;
- мішалка для приготування цементного тіста (наприклад, МТЗ - мішалка конструкції В.Т. Задираки) або змішувач згідно з ДСТУ EN 196-3;
- ваги лабораторні;
- портландцемент, питна вода.

### **Проведення випробувань**

Строки тужавлення цементу визначають вимірюванням проміжків часу, за який стандартна голка проникає на визначену глибину в цементне тісто нормальної густоти.

Початок тужавлення всіх типів цементу марок 300, 400 і 500 повинен наставати не раніше 60 хв, марок 550 і 600 – не раніше 45 хв, а кінець – не пізніше 10 год від початку замішування.

Перед початком випробування на приладі Віка замінюють товкачик на голку, перевіряють, чи вільно опускається стрижень, а також нульову позначку приладу при торканні до упору голкою пластинки, на якій встановлене кільце. При відхиленні покажчика від нуля шкалу відповідним чином пересувають.



Потім піднімають стрижень із голкою у вихідне положення. Перевіряють чистоту поверхні та відсутність скривлень голки.

Для визначення строків тужавлення готують цементне тісто нормальної густоти, визначають його консистенцію.

Голкою приладу торкаються поверхні цементного тіста нормальної густоти, в цьому положенні закріплюють стрижень стопорним пристроєм, потім звільняють стрижень і дають змогу голці вільно занурюватися в тісто. На початку випробувань, коли цементне тісто знаходиться у пластичному стані, щоб запобігти сильному удару голки по пластинці дозволено злегка її затримувати при зануренні у тісто. Як тільки тісто почне гуснути і небезпеку пошкодження голки буде уникнуто, голці надають змогу вільно занурюватися.

Голку занурюють у цементне тісто через кожні 10 хв, пересуваючи кільце після кожного занурення, щоб запобігти опусканню голки на те ж саме місце. Голку обтирають після кожного занурення. Під час випробувань прилад повинен знаходитись у затемненому місці, де немає протягу, і не повинен піддаватися струсам.

Початком строку тужавлення цементного тіста нормальної густоти визначають строк, який минув від початку замішування тіста (часу додавання води) до того часу, коли голка при зануренні в тісто не доходить до пластинки на відстань від 2 мм до 4 мм.

Кінцем строку тужавлення цементного тіста нормальної густоти вважають строк від початку замішування тіста до часу, коли голка занурюється у тісто не більше ніж на відстань від 1 мм до 2 мм.

Строки тужавлення цементного тіста на приладі з автоматичним записом цих показань визначають згідно з інструкцією, що додається до приладу.

### **Питання для самоконтролю**

1. Яке тісто виготовляють для визначення строків тужавлення цементного тіста ?
2. Як визначають початок строків тужавлення цементного тіста ?
3. Як визначають кінець строків тужавлення цементного тіста ?

### **Лабораторна робота №13**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ НА ЗГИН І СТИСК ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ**

**Ціль роботи:** встановлення марки цементу за показником його активності, яка визначається за міцністю на згин і стиск зразків-балочок у віці 28 діб.

#### **Устаткування та матеріали:**

- змішувач цементного розчину;
- струшувальний столик і форма-конус;
- штиковка;
- форми для зразків-балочок;

- насадка до форм;
- вібраційна площадка;
- прилад для випробувань міцності на згин;
- машина для випробувань міцності на стиск згідно з ГОСТ 28840;
- натискні пластинки;
- камера для пропарювання зразків;
- ваги лабораторні з похибкою зважування не більше ніж  $\pm 0,1$  г;
- пісок стандартний для випробувань цементів згідно з ДСТУ Б В.2.7-189;
- питна вода.

### **Проведення випробувань**

Метод включає визначення міцності на згин і стиск зразків-балочок розмірами 40 мм x 40 мм x 160 мм.

Для приготування цементного розчину зважують (1500  $\pm$  5) г стандартного піску, (500  $\pm$  1) г цементу і (195  $\pm$  1) г води (В/Ц = 0,39). Складники завантажують у чашу лопатевого змішувача у наступній послідовності: пісок, вода, цемент. Чашу встановлюють на змішувач і перемішують складники протягом (120  $\pm$  10) с.

Форму-конус з центруючим пристроєм встановлюють на диск струшувального столика. Внутрішню поверхню конуса і диск столика перед випробуванням протирають вологою тканиною. Після закінчення змішування заповнюють розчином форму-конус наполовину висоти і ущільнюють 15 штикуваннями. Потім заповнюють конус розчином із невеликим надлишком і штикують 10 разів. Після ущільнення поверхневого шару надлишок розчину видаляють ножом, який розташовують під невеликим кутом до торцевої поверхні конуса, розгладжують з натиском розчин рівно з краями конуса та знімають конус, підіймаючи у вертикальному напрямку.

Розчин протягом (30  $\pm$  5) с струшують на столику 30 разів, після чого штангенциркулем вимірюють діаметр конуса за нижньою основою у двох взаємно перпендикулярних напрямках і беруть середнє значення. Розплив конуса з В/Ц = 0,39 має бути не менше ніж 106 мм. Якщо розплив конусу виявиться менше ніж 106 мм, кількість води збільшують для одержання розпливу конуса не менше ніж 106 мм.

Безпосередньо перед виготовленням зразків-балочок внутрішню поверхню стінок форм і піддону трохи змащують машинним мастилом. Стики зовнішніх стінок один з одним та з піддоном форми змащують тонким шаром солідолу або іншим густим мастилом.

Для кожного строку випробувань, що встановлений згідно з вимогами стандартів на різні види, типи і марки цементів або програмою випробувань, виготовляють по три зразки-балочки (одна форма).

Для ущільнення розчину форму для зразків-балочок із насадкою, закріплюють у центрі віброплощадки, щільно притискаючи її до плити. Форму за висотою наповнюють приблизно на 1 см розчином і вмикають вібраційну площадку. Протягом перших 2 хв вібрації усі три гнізда форми рівномірно невеликими порціями заповнюють розчином. Через 3 хв від початку вібрації вібропло-

щадку зупиняють. Форму знімають із віброплощадки і надлишок розчину видаляють ножем, який розташовують під невеликим кутом до поверхні укладання розчину, розгладжуючи з натиском розчин урівень із краями форми.

Після виготовлення зразки-балочки в формах зберігають  $(24 \pm 1)$  год у посудині з гідравлічним затвором або в шафі, що забезпечує температуру повітря  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  і відносну вологість не менше ніж 90 %.

Після закінчення строку зберігання зразки-балочки обережно розформовують, відповідним чином маркують, наприклад, водостійким чорнилом або крейдою для подальшої ідентифікації і розміщують у посудинах із питною водою в горизонтальному або вертикальному положенні на відстані один від одного, щоб вода мала вільний доступ до всіх шести поверхонь зразки-балочки. Шар води повинен покривати зразки-балочки не менше ніж на 2 см. Воду замінюють кожні 14 діб. Температура води при зберіганні зразків та при її заміні повинна становити  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Дозволено одночасно замінювати не більше ніж 50 % води.

Зразки-балочки, що мають через  $(24 \pm 1)$  год міцність, недостатню для їх розформування без ушкоджень, можна виймати з форм через  $(48 \pm 2)$  год, зазначаючи цей термін у робочому журналі.

Після закінчення строку зберігання зразки-балочки виймають з води і не пізніше за 30 хв випробовують. Безпосередньо перед випробуванням зразки-балочки протирають тканиною, залишаючи зразки напівсухими.

*Визначення міцності на згин.* Зразок-балочку встановлюють на опорні елементи приладу так, щоб його горизонтальні при виготовленні грані знаходились у вертикальному положенні. Схема розміщення зразка-балочки на опорних елементах наведена на рисунку 13.1. Для визначення міцності на згин використовують три зразки-балочки, які випробовують відповідно до інструкції, що надана до приладу.

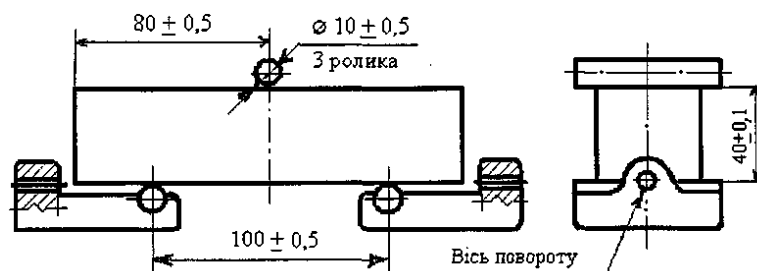
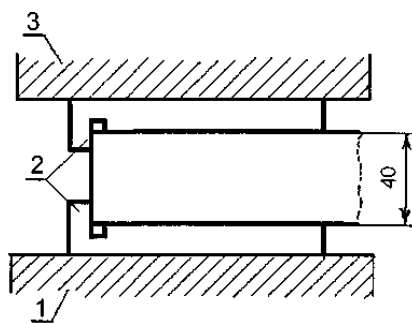


Рисунок 13.1 – Схема розташування зразка на опорних елементах

Результат випробування міцності на згин обчислюють як середнє арифметичне значення трьох одиничних результатів, отриманих при випробуванні трьох зразків-балочок. Кожен результат має бути наведений із точністю не менше ніж 0,1 МПа. Середнє арифметичне значення наводять із точністю не менше ніж 0,1 МПа.

*Визначення міцності на стиск.* Шість половинок зразків-балочок, які отримані після випробувань на згин, одразу випробовують на стиск. Половинку зразка-балочки розміщують між двома пластинками так, щоб бокові грані, що

при виготовленні примикали до стінок форми, знаходилися на площині пластинок, а упори пластинок щільно примикали до торцевої гладкої площини зразка-балочки (рисунок 13.2).



1 – нижня плита преса; 2 – пластинки; 3 – верхня плита преса

Рисунок 13.2 – Розташування зразка-балочки між натискними пластинками

Зразок-балочку разом із пластинками центрують на опорній плиті машини для випробувань. Середня швидкість збільшення навантаження при випробуванні повинна бути  $(2400 \pm 200)$  Н/с або  $(2,4 \pm 0,2)$  кН/с. Рекомендовано використовувати пристрій, який автоматично підтримує стандартну швидкість навантаження зразка-балочки.

Міцність на стиск окремого зразка обчислюють як частку від ділення величини руйнівного навантаження (в Н) на робочу площу пластинки ( $\text{мм}^2$ ), тобто на  $2500 \text{ мм}^2$  ( $25 \text{ см}^2$ ).

Результат випробування міцності на стиск обчислюють як середнє арифметичне значення шістьох одиничних результатів, отриманих при випробуванні трьох зразків-балочок. Кожен результат наводять із точністю не менше ніж 0,1 МПа.

Якщо одиничне значення з шести результатів відрізняється від середньоарифметичного більше ніж на  $\pm 10\%$ , його відкидають, а середнє арифметичне значення вираховують із п'яти результатів, які залишились. Якщо одиничне значення з п'яти результатів відрізняється від середньоарифметичного більше ніж на  $\pm 10\%$ , всі результати випробувань відкидають і визначення міцності повторюють.

Середнє арифметичне значення наводять із точністю не менше ніж 0,1 МПа. У звіті про випробування мають бути наведені всі одиничні результати. Окрім того, слід навести обчислене середнє арифметичне значення та вказати, чи не відкидався будь-який з одиничних результатів випробування.

### Питання для самоконтролю

1. Яка суміш готується для визначення міцності зразків?
2. Як витримуються і в якому віці випробуються зразки?
3. До якої марки згідно додатку Г відноситься цемент?

## Лабораторна робота №14

### ВИЗНАЧЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ОБ'ЄМУ ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ

**Ціль роботи:** встановлення зміни об'єму цементу методом візуального огляду коржиків цементного тіста нормальної густоти.

Рівномірність зміни об'єму цементу визначають одним з двох методів:

а) методом Ле-Шательє, згідно з яким вимірюють зміну об'єму цементного тіста нормальної густоти за показниками зміни відстані між двома індикаторними стрілками кільця Ле-Шательє;

б) методом візуального огляду коржиків з цементного тіста нормальної густоти після їх повітряно-вологого зберігання та кип'ятіння в воді.

**Устаткування та матеріали** для методу б:

- прилад Віка з товкачиком і голкою;
- кільце до приладу Віка;
- мішалка для виготовлення цементного тіста;
- ваги лабораторні з похибкою зважування не більше 0,1 г;
- питна вода;
- водяна баня з нагрівачем.

#### Проведення випробувань

Для випробування на рівномірність зміни об'єму готують цементне тісто нормальної густоти згідно з лабораторною роботою №11.

Дві наважки цементного тіста масою 75 г кожна, виготовлених у вигляді кульок, розташовують на скляній пластинці, злегка змащеній машинним маслом. Стукають пластинкою по твердій поверхні до утворення з кульок коржиків діаметром від 7 см до 8 см та товщиною у центрі близько 1 см. Поверхню коржиків вирівнюють ножем, що протертий вологою тканиною, від зовнішнього краю до центра до утворення гострих країв і гладкої закругленої поверхні. Відразу після цього коржики поміщають у ванну з гідравлічним затвором або шафу для повітряно-вологого зберігання зразків для витримування коржиків протягом  $(24 \pm 2)$  год.

Для зберігання коржиків застосовують ванну з гідравлічним затвором (рисунок 14.1) або шафу для повітряно-вологого зберігання зразків достатніх розмірів, в яких слід підтримувати температуру  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  та відносну вологість повітря не менше ніж 90 %. Ванну з гідравлічним затвором виготовляють із корозієстійкого матеріалу (наприклад, оцинкованої сталі). У ванні встановлюють решітки для розміщення на них зразків. Під решіткою завжди повинна бути вода.

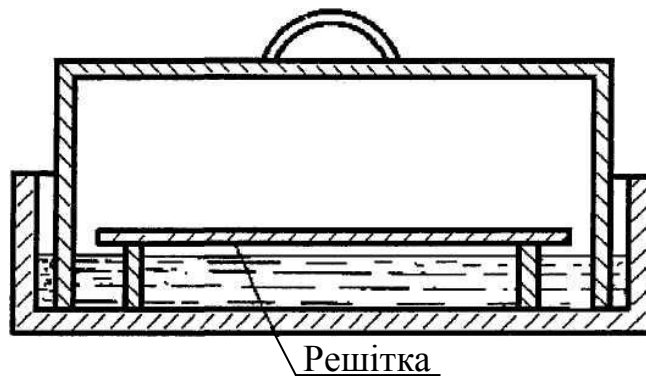


Рисунок 14.1 – Ванна з гідравлічним затвором

Після закінчення часу зберігання два цементних коржиків виймають з ванни, знімають із пластинок і розміщують на ґратчастій полиці у водяній бані.

Водяна баня з нагрівачем, в якій розміщують коржиків під водою, повинна забезпечувати протягом  $(30 \pm 5)$  хв підвищення температури води від  $(20 \pm 2)$  °С до температури кипіння. У середині водяної бані розміщують ґратчасту полицю для коржиків, яка знаходиться на відстані не менше ніж 5 см від дна ємності бані. Рівень води у водяній бані повинен перекирвати коржиків на 4-6 см протягом усього часу кип'ятіння.

У водяній бані зразки нагрівають протягом  $(30 \pm 5)$  хв до температури кипіння води ( $100$  °С) і витримують протягом 3 год за цієї температури, після чого припиняють нагрівання, дають коржиків охолонути в ємності бані до температури повітря в приміщенні лабораторії, і проводять їх зовнішній огляд відразу після витягання з води.

Цемент відповідає вимогам стандарту щодо рівномірності зміни об'єму, якщо на лицьовій стороні коржиків відсутні радіальні, що доходять до країв, тріщини або сітки дрібних тріщин, які видно неозброєним оком або під лупою, а також яких-небудь скривлень і збільшення об'єму коржиків. Скривлення виявляють за допомогою лінійки, яку прикладають до плоскої поверхні коржика, при цьому виявлені скривлення не повинні бути більше ніж 2 мм на краю або в центрі коржика. Допустима у першу добу після випробувань поява тріщин усихання, що не доходять до країв коржиків, за умови зберігання дзвінкого звуку при постукуванні коржиків один по одному.

Зразки коржиків, які витримали або не витримали випробування на рівномірність зміни об'єму, наведені на рисунках 14.2 і 14.3.

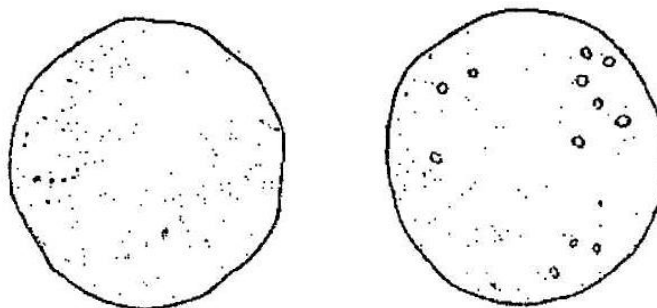
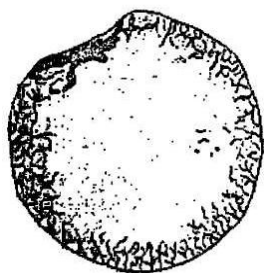
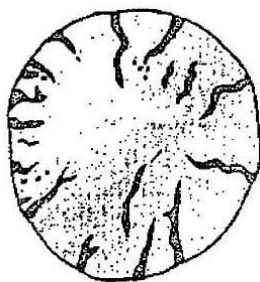


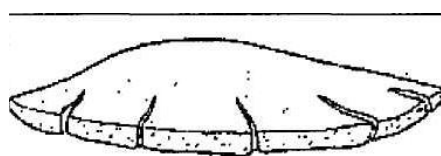
Рисунок 14.2 – Коржиків, що витримали випробування на рівномірність зміни об'єму



зруйнування



радіальні тріщини



скривлення

Рисунок 14.3 – Коржик, що не витримали випробувань на рівномірність зміни об'єму

Результати випробувань рівномірності зміни об'єму цементу наводять у звіті з випробувань та у документі про якість цементу.

### Питання для самоконтролю

1. В чому полягає процедура визначення нерівномірності зміни об'єму ?
2. З чим пов'язана можлива нерівномірність зміни об'єму цементного тіста ?
3. На що може впливати нерівномірність зміни об'єму ?

## Список джерел інформації

1. Рунова Р.Ф., Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Носовський Ю.Л. В'язучі речовини: Підручник. – К.: Основа, 2012. – 448 с.
2. Штарк Й., Вихт Б. Цемент и известь / под ред. П.В. Кривенко. Киев, 2008. – 496 с.
3. Ушеров-Маршак О.В., Латорець К.В. Бетони та сухі будівельні суміші. Тлумачний словник: Навчальний посібник. – Х.: Колорит, 2010. – 104 с.
4. Технология и оптимизация производства цемента: Краткий курс лекций: Учеб. Пособие / В.К.Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.
5. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний цементов. Второе издание. Харьков, Издательство «Юнисофт», 2015.
6. ДСТУ Б В.2.7-104:2000. Камінь і щебінь гіпсові і гіпсоангідритові для виробництва в'язучих матеріалів. Технічні умови. (ГОСТ 4013-82)
7. ДСТУ Б А.1.1 – 36-94. Гіпс та інші місцеві в'язучі. Гіпс сиромолотий. Терміни та визначення.
8. ДСТУ Б В.2.7-82-2010. Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови (на заміну ДСТУ Б В.2.7-82-99).
9. ДСТУ Б В.2.7-90-2011. Будівельні матеріали. Вапно будівельне. Технічні умови. (на зміну ДСТУ Б В.2.7-90-99).
10. ДСТУ Б В.2.7-46-2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
11. ДСТУ Б В.2.7-266:2011. Цемент гіпсоглиноземистий розширюваний. Технічні умови. (на зміну ГОСТ 11052).
12. ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Цементи. Загальні технічні умови.



## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Класи в'язучих за умовами тверднення

Індекс класу	Характеристика класів за умовами тверднення	Характеристика умов тверднення	Характерні представники класу
А	Автоклавні	Регламентовані умови автоклавної обробки	Вапняно-кремнеземисті в'язучі
Г	Гідравлічні	Регламентовані повітряно-сухі і наступні водні умови тверднення	Портландцемент, глиноземистий цемент, шлаколужні в'язучі
П	Повітряні	Регламентовані повітряно-сухі умови тверднення і набору міцності	Гіпсо-ангідритові, вапно, розчинне скло, каустичний магнезит

**Примітка.** Регламентування умов тверднення відображене в нормативних документах на відповідні види в'язучих.

Таблиця А.2 – Класи в'язучих за механізмом тверднення

Індекс класу	Характеристика класів за механізмом тверднення	Характеристика механізму тверднення	Характерні представники класу
I	Гідратаційні	Утворення міцного каменеподібного тіла при додаванні до порошку води, водного розчину або золя за рахунок зміни складу в'язучого від безводного або частково зневодненого до гідратного	Вапно, портландцемент, гіпсоангідритові в'язучі, шлаколужні в'язучі
II	Контактно-конденсаційні	Утворення міцного каменеподібного тіла при додаванні до порошку води, водного розчину або золя за рахунок зміни складу в'язучого від безводного або частково зневодненого до гідратного	Гідросилікатні в'язучі, металосилікатні в'язучі
III	Коагуляційні	Утворення маломіцного каменеподібного тіла при додаванні до порошку води за рахунок формування висококонцентрованого колоїду в умовах видалення вільної води	Глини
IV	Поліконденсаційні	Утворення міцного каменеподібного тіла при додаванні до порошку розчинів за рахунок конденсації молекул і утворення гелю чи за рахунок охолодження високотемпературного розплаву	Кислотостійкий цемент, фосфатні в'язучі, сірчані цемент

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Вимоги до міцності будівельного гіпсу

Марка гіпсу	Межа міцності зразків-балочок розміром 40×40×160 мм у віці 2 години, не менше, МПа	
	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

Таблиця Б.2 – Терміни тужавлення гіпсових в'язучих

Група в'язучого	Індекс терміну тверднення	Термін тужавлення, хв	
		початок, не раніше	кінець, не пізніше
Швидкого тверднення	А	2	15
Нормального тверднення	Б	6	30
Повільного тверднення	В	20	не нормується

Таблиця Б.3 – Індекс тонини помелу гіпсових в'язучих

Клас в'язучого	Індекс тонини помелу	Максимальний залишок на ситі з розмірами вічка в просвіті 0,2 мм, %, не більше
Грубого помелу	І	23
Середнього помелу	ІІ	14
Тонкого помелу	ІІІ	2

Приклад умовного позначення гіпсу марки Г-2, нормального тверднення, середнього помелу

*Г-2 В ІІ*

## ДОДАТОК В

В залежності від складу і якості вапно поділяється на сорти, що наводяться у таблиці Б.1.

Таблиця В.1 – Види вапна.

Вид вапна	Сорт
Вапно негашене без добавок	1,2 і 3
Вапно негашене порошкоподібне з добавками	1 і 2
Вапно гідратне (гашене) з добавками і без добавок	1 і 2

Таблиця В.2 – Види вапна в залежності від тривалості гашення

Вид вапна	Індекс часу гашення	Тривалість гашення, хв.
Швидкого гашення	А	до 8
Середнього гашення	Б	до 25
Повільного гашення	В	понад 25

Таблиця В.3 – Вимоги до повітряного вапна, у % за масою

Найменування показників	Негашене вапно						Гідратне вапно сортів	
	Кальцієве вапно сортів			магnezіальне та доломітове вапно сортів				
	1	2	3	1	2	3	1	2
Активні СаО+MgO, не менше: без добавок	90	80	70	85	75	65	67	60
з добавками	65	55	-	60	50	-	50	40
Активний MgO, не більше:	5	5	5	20(40)	20(40)	20(40)	-	-
СО <sub>2</sub> , не більше: без добавок	3	5	7	5	8	11	3	5
з добавками	4	6	-	6	9	-	2	4
Непогашені зерна, не більше:	7	11	14	10	15	20	-	-
<b>Примітка 1.</b> У дужках наведені показники для доломітового вапна.								
<b>Примітка 2.</b> Мінеральні добавки вводяться у вапно у таких кількостях, щоб дотримувались вимоги до вмісту активних СаО+MgO.								
<b>Примітка 3.</b> Для кальцієвого вапна 3 сорту, що використовується для технологічних цілей, допускається вміст непогашених зерен до 20%								
<b>Примітка 4.</b> СО <sub>2</sub> у вапні з добавками визначають газооб'ємним способом								

Умовне позначення вапна при замовленні повинно складатися з літерного позначення виду вапна в залежності від умов тверднення, індексу гашення вапна, сорту вапна та позначення даного стандарту.

Приклад умовного позначення вапна повітряного, швидкого гашення, першого сорту:

*ВП-А-1 ДСТУ Б В.2.7-90-99*

## ДОДАТОК Г

### Таблиця Г.1 – Типи і склад цементів

Тип цементу	Найменування цементу	Позначення цементу	У відсотках (по масі) <sup>1)</sup>						Додаткові компоненти
			Основні компоненти						
			Портландцементний клінкер, К	Доменний гранульований шлак, Ш	Пуцолана, П	Зола-виносу, З	Вапняк, В		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I	Портландцемент	ПЦ I	95-100	-	-	-	-	-	0-5
II	Портландцемент з шлаком	ПЦ II/A-III	80-94	6-20	-	-	-	-	0-5
		ПЦ II/B-III	65-79	21-35	-	-	-	-	0-5
	Портландцемент з пуцоланою	ПЦ II-П	80-94	-	6-20	-	-	-	0-5
	Портландцемент з золою-виносу	ПЦ II-З	80-94	-	-	6-20	-	-	0-5
	Портландцемент з вапняком	ПЦ II-В	80-94	-	-	-	6-20	-	0-5
	Портландцемент композиційний <sup>2)</sup>	ПЦ II/A-К	80-94	← сумарно 6-20 →					0-5
ПЦ II/B-К		65-79	← сумарно 21-35 →					0-5	
III	Шлакопортландцемент	ШПЦ III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	0-5
		ШПЦ III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	0-5
		ШПЦ III/B	5-19	81-95	-	-	-	-	0-5
IV	Пуцолановий цемент <sup>2)</sup>	ПЦЦ IV/A	65-79	-	← 21-35 →				0-5
		ПЦЦ IV/B	45-64	-	← 36-55 →				0-5
V	Композиційний цемент <sup>2)</sup>	КЦ V/A	40-64	18-40	← 10-20 →				0-5
		КЦ V/B	20-39	41-60	← 20-40 →				0-5

1) Значення в таблиці відносяться до основних компонентів цементу, що прийнята за 100% і не враховують кількість добавок, що містять кальцій сульфат і технологічні добавки.  
 2) В портландцементі композиційному, пуцолановому та композиційному цементі основні компоненти (окрім портландцементного клінкеру) мають бути наведені в позначках цементу.

### Таблиця Г.2 – Вимоги до міцності цементів

Марка цементу	Міцність при стиску в МПа, не менше		
	2 доби	7 діб	28 діб
300	-	15,0	30,0
400	-	20,0	40,0
400P	15,0	-	40,0
500	15,0	-	50,0
500P	25,0	-	50,0

Для ідентифікації цементів їх позначки повинні включати:

- найменування і позначку цементу згідно з таблицею Г.1 (стовпчик 3);
- марку цементу;
- позначку Р за наявності високої ранньої міцності цементу;
- за наявності в складі цементу ПЛ або гідрофобізуючих ГФ добавок, відповідно позначку ПЛ, ГФ;
- позначку Н для цементу на основі клінкеру нормованого складу.

#### *Приклади умовного позначення цементу*

Портландцемент марки 400, з високою ранньою міцністю на основі клінкеру нормованого складу позначають так:

*«Портландцемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦ I-400 РН-Н».*

Портландцемент з гранульованим доменним шлаком Ш від 6% до 20%, марки 400, з високою ранньою міцністю, пластифікований позначають так: *«Портландцемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦ IV/A-400 Р-ПЛ».*

Портландцемент композиційний з гранульованим доменним шлаком Ш та вапняком В від 6% до 20%, марки 400, позначають так: *«Портландцемент композиційний ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦ IV/A-К (Ш-В)-400».*

Шлакопортландцемент з гранульованим доменним шлаком від 36% до 65%, марки 400, позначають так:

*«Шлакопортландцемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ШПЦ III/A-400».*

Пуцолановий цемент з пуцоланом П і золю-винесення З від 3% до 55%, марки 400, позначають так:

*«Пуцолановий цемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦЦ IV/Б (П-З)-400».*

Композиційний цемент з гранульованим доменним шлаком Ш від 18% до 40% і золю-винесення З від 10% до 20%, марки 400, позначають так:

*«Композиційний цемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 КЦ V/A (Ш-З)-400».*

## Зміст

	стр.
Словник	6
Лабораторна робота №1	7
Варіння гіпсу і накреслення графіку термообробки гіпсу	
Лабораторна робота №2	8
Визначення стандартної консистенції гіпсового тіста	
Лабораторна робота №3	10
Визначення термінів тужавлення гіпсового в'язучого	
Лабораторна робота №4	12
Визначення межі міцності при вигині й стиску зразків з гіпсу	
Лабораторна робота №5	13
Визначення тонини помелу гіпсового в'язучого	
Лабораторна робота №6	14
Визначення температури та часу гашення вапна	
Лабораторна робота №7	15
Визначення сумарного вмісту активних оксидів кальцію і магнію у кальцієвому вапні	
Лабораторна робота №8	17
Визначення вмісту непогашених зерен у вапні	
Лабораторна робота №9	18
Добавки гіпс, вапно, цемент	
Лабораторна робота №10	19
Розрахунок мінерального складу клінкеру	
Лабораторна робота №11	21
Визначення нормальної густоти цементного тіста	
Лабораторна робота №12	24
Визначення строків тужавлення	
Лабораторна робота №13	26
Визначення міцності на згин і стиск	
Лабораторна робота №14	30
Визначення рівномірності зміни об'єму цементу	
Список джерел інформації	33
Додатки	34

## Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» зі спеціального виду діяльності «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Укладачі: Латорець Катерина Володимирівна  
Кабусь Олексій Васильович

Відповідальний за випуск В.П.Сопов

За редакцією авторів

План 2017р., поз. 176  
Підп. до друку 30.06.16  
Надруковано на ризографі.  
Тираж 50 прим.

Формат 60x84 1/16  
Обл.-вид. арк. 1,8  
Ум. друк. арк. 2,0  
Зам. № 3428

Папір друк. №2  
Безкоштовно.

---

ХНУБА, 61002, Харків, вул. Сумська, 40

---

Підготовлено та надруковано РВВ Харківського національного університету будівництва та архітектури