

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

Практикум

**з дисципліни «Загальна технологія тугоплавких
неметалевих і силікатних матеріалів»**

для студентів спеціальності 05130104

«Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 07.06.2013 р.

Харків
НТУ «ХП»
2014

УДК 666.9(075)
ББК 35.41я7
Ш 12

Рецензенти: В. Є. Ведь, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет «ХПІ»;
А. А. Плугін, д-р техн. наук, проф., Українська державна академія залізничного транспорту.

Шабанова Г. М.

Ш12 В'яжучі матеріали : практикум з дисципліни «Загальна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів» / Г. М. Шабанова, А. М. Корогодська, О. В. Христич. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – 222 с.

ISBN

Наведено розрахунки сировинних сумішей портландцементу та глиноземного цементу. Розглянуто методи дослідження сировинних матеріалів основних традиційних в'яжучих речовин, зокрема: гіпсу – для отримання гіпсових в'яжучих, вапняку – для отримання вапняно-піщаних в'яжучих, портландцементу. Визначено основні фізико-механічні та технічні показники в'яжучих матеріалів.

Призначено для студентів спеціальності 05130104 «Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів», аспірантів, а також наукових співробітників.

Лл. 51. Табл. 35.

ISBN

УДК 666.9(075)
ББК 35.41я7

© Г. М. Шабанова, 2014 р.
А. М. Корогодська, 2014 р.
О. В. Христич, 2014 р.
© НТУ «ХПІ», 2014 р.

ВСТУП

Розвиток матеріалознавства в області технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів включає інтенсивний перехід на конструктивні схеми енерго- та ресурсоефективності технологій, масове виробництво і застосування відповідних матеріалів, виробів та конструкцій поліпшеної якості.

Необхідність розв'язання ряду прикладних задач у цій галузі виробництва матеріалів і виробів формує тенденцію розвитку професійної освіти фахівців, метою якої є перехід від формування вузькопрофесійних дисциплін до формування міждисциплінарних, що базуються на досягненнях сучасної світової фундаментальної і прикладної науки.

Розвиток останнім часом технічних нормативних правових актів (ТНПА) України в галузі виробництва і оцінки якості матеріалів і виробів, які базуються на ТНПА, а також на нормативних документах, чинних в країнах Євросоюзу, передбачає внесення відповідних змін до методичного забезпечення навчального процесу в рамках дисципліни «Загальна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів».

Процес навчання студентів повинен мати як теоретичну, так і практичну спрямованість. При цьому все більша увага приділяється методам оцінки якості сировинних матеріалів, готової продукції із залученням фізико-хімічних, а також фізико-механічних методів дослідження.

Науково-інженерне розуміння технологічних способів управління процесами створення матеріалів із заданими структурно-механічними властивостями формується із залученням досягнень природних наук.

У цьому практикумі наведено лабораторні роботи, в яких досліджуються основні фізико-механічні та технічні властивості сировинних

матеріалів, напівфабрикатів, готових в'язучих речовин. Навчальні методи лабораторних досліджень і визначень властивостей матеріалів надаються з урахуванням сучасних нормативних положень, узгоджених зі стандартами Євросоюзу.

Практикум призначений для студентів хіміко-технологічних, будівельних і політехнічних вузів, що навчаються за спеціальністю «Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів», «Будівельні матеріали», і має своєю метою ознайомити студентів з теорією і практикою сучасних методів дослідження основних властивостей сировини, що застосовуються в технології в'язучих матеріалів, а також готової продукції.

Виклад методик визначення властивостей сировини та в'язучих матеріалів включає короткий опис теоретичних основ, принципу і можливостей виконаного дослідження, використовуваної для його проведення апаратури, методики проведення аналізу, правила оформлення результатів експерименту та їх обробки.

Автори висловлюють подяку рецензентам за цінні поради та зауваження, зроблені при перегляді рукопису.

1. КОНТРОЛЬ ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ ДИСПЕРСНИХ І ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

Приготування сировинних сумішей (мас, шихт), а іноді й готових продуктів (наприклад, портландцементу) пов'язане з одержанням і використанням порошкоподібних матеріалів – продуктів здрібнювання вихідної сировини або проміжного напівфабрикату (портландцементного клінкеру, шамоту, різних фрит і спеків тощо). Такі порошкоподібні матеріали, як правило, полідисперсні, тобто складаються із частинок, що відрізняються за розміром.

Ситовий аналіз – це найбільш простий і доступний метод визначення гранулометричного складу порошкоподібних матеріалів з розміром зерен більш 0,04 мм, широко використовуваний у заводській і лабораторній практиці.

Седиментаційний аналіз знаходить широке застосування для визначення гранулометричного складу порошкоподібних матеріалів з розміром частинок менш 100 мкм.

1.1. Способи вираження зернового складу й дисперсності порошків

Зерновий (гранулометричний) склад полідисперсних порошків може бути виражений різними функціями, аргументом яких є розмір частинок x , а залежними змінними можуть бути:

- вихід по мінусу Q – кількість частинок розміром, що менший або що дорівнює даному, мас. % :

$$Q = f_1(x);$$

- вихід по плюсу q – кількість частинок з розміром, що більший або що дорівнює даному, мас. % :

$$q = f_2(x);$$

ΔQ або Δq – вміст окремих фракцій з даним розміром частинок, мас. % :

$$\Delta Q = f_3(x), \text{ або } \Delta q = f_3(x).$$

Функція розподілу має вигляд

$$F = dq/dq = f_4(x_{\text{ср}}).$$

Гранулометричний склад порошків зображають у вигляді таблиць або графічно. У табл. 1.1. і на рис. 1.1. наведено приклади різних способів описання зернового (гранулометричного) складу конкретного порошкоподібного матеріалу.

Таблиця 1.1 – Гранулометричний склад полідисперсного матеріалу

Розмір частинок x , мкм	Вихід по мінусу Q , %	Вихід по плюсу Q , %	Фракція, мкм	Середній розмір частинок даної фракції $x_{\text{ср}}$, мкм	Вміст частинок даної фракції ΔQ , %	Інтервал між розмірами частинок Δx , мкм	Функція розподілу $F = dq/dq \approx \Delta Q/\Delta x$, % / мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
40	100	0	30–40	35	15	10	1,5
30	85	15	20–30	25	30	10	3
20	55	45	10–20	15	40	10	4
10	15	85	0–10	5	15	10	1,5

Очевидно, що сума виходів по мінусу (табл. 1.1, графа 2) і по плюсу (графа 3) для будь-якого значення x становить 100 % ($Q + q = 100$). Середній розмір частинок даної фракції $x_{\text{ср}}$ (графа 5) знаходять як середнє арифметичне двох крайніх значень x цієї фракції. Значення функції розподілу (графа 8) одержують розподілом вмісту частинок даної фракції ΔQ (графа 6) на величину інтервалу Δx (графа 7).

Графічне зображення розподілу частинок за розмірами включає побудову **інтегральних кривих, гістограм зернового складу й диференціальної кривої розподілу.**

Інтегральні криві 1 і 2 (рис. 1.1) будують за результатами дисперсійного аналізу (табл. 1.1, графи 1, 2, 3). При використанні гістограмного способу зображення зернового складу вміст частинок різних фракцій

показують у вигляді прямокутників (рис. 1.1, крива 3), використовуючи дані граф 4 і 6. Крива 4, що плавно обгинає середини верхніх сторін прямокутників, є диференціальною кривою розподілу. Диференціальна крива розподілу може бути також побудована на підставі даних табл. 1.1 (графи 5 і 6).

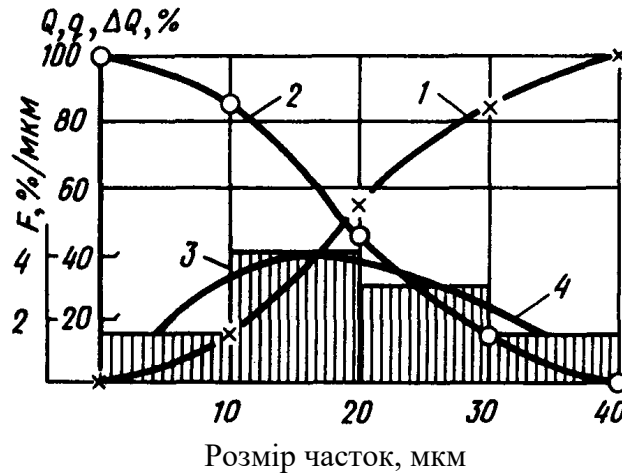


Рисунок 1.1 – Різні способи графічного зображення гранулометричного складу полідисперсного матеріалу:
 1 – $Q = f_1(x)$; 2 – $q = f_2(x)$; 3 – $\Delta Q = f_3(x)$; 4 – $dq/dx = f_4(x_{\text{сер}})$

У ряді випадків може виникнути необхідність в оцінці дисперсності порошкоподібних матеріалів яким-небудь одним усередненим показником. Як показник може бути використаний середній розмір частинок порошку (розрахований за даними гранулометричного складу) або ж питома поверхня порошку (отримана експериментально або шляхом розрахунку).

При розрахунку середнього розміру (діаметра) частинок порошку умовно вважають, що всі частинки мають форму сфери й однаковий діаметр $x_{i,\text{сер}}$ у кожній даній фракції. Може бути розрахований середній діаметр частинок порошку $x_{\text{сер/об}}$, середньозважений за обсягом (або за масою), або середній діаметр $x_{\text{сер/пов}}$, середньозважений по поверхні:

$$x_{\text{сер/об}} = \sum g_i x_{i,\text{сер}}; \quad (1.1)$$

$$x_{\text{сер/пов}} = \sum S_i x_{i,\text{сер}}, \quad (1.2)$$

де g_i – вміст даної фракції в порошку, мас. частки; S_i – частка загальної поверхні часток порошку, що доводяться на дану фракцію, частки одиниці.

Прості викладки приводять до виразів

$$S_i = \frac{g_i x_{i, \text{сер}}}{\sum g_i x_{i, \text{сер}}}$$

і відповідно

$$x_{\text{сер/пов}} = \frac{100}{\sum \Delta Q_i x_{i, \text{сер}}} \quad (1.2a)$$

При використанні так званого характеристичного параметра k , що враховує характер проведеного усереднення (за обсягом або по поверхні), вирази (1.1) і (1.2a) можуть бути зведені до єдиної формули вигляду

$$x_{\text{сер}, i} = \frac{\sum \Delta Q_i x_{i, \text{сер}}^k}{\sum \Delta Q_i x_{i, \text{сер}}^{k-1}} \quad (1.3)$$

При $k = 1$ $x_{\text{сер}, i} = x_{\text{сер/об}}$, а при $k = 0$ $x_{\text{сер}, i} = x_{\text{сер/пов}}$.

Розрахунок, проведений за виразом (1.3) для конкретного порошку (дані табл. 1.1), дає наступні результати:

$$x_{\text{сер/об}} = 19,5 \text{ мкм}; \quad x_{\text{сер/пов}} = 13,7 \text{ мкм}.$$

Середньоповерхневий розмір (діаметр) зерен залежить головним чином від вмісту в ньому найбільш дрібних частинок, оскільки їх поверхня [навіть при однаковому масовому (об'ємному) вмісті] суттєво перевершує поверхню великих часток. Тому при зіставленні дисперсності різних порошків розрахунок значень $x_{\text{сер./пов}}$ слід проводити для тих самих фракцій, особливо дрібних.

Питома поверхня – сумарна поверхня всіх частинок порошкоподібного матеріалу в одиниці його маси. Питома поверхня S , $\text{см}^2/\text{г}$, може бути розрахована за формулою

$$S = \frac{6}{\rho x_{\text{сер/пов}}}, \quad (1.4)$$

де ρ – щільність матеріалу, г/см³; $x_{\text{сер/пов}}$ – середньоповерхневий діаметр частинок, см.

Якщо S виміряється в квадратних метрах на грам, а $x_{\text{сер/пов}}$ – у мікрометрах, то розрахункова формула залишається тією ж. Так, для порошку, розглянутого тут як приклад, при $\rho = 2,5$ г/см³

$$S = \frac{6}{2,5 \cdot 13,7} = 0,1752 \text{ м}^2/\text{г} = 1752 \text{ см}^2/\text{г} = 175,2 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Вираз (1.4) може бути отриманий виходячи з відомих співвідношень, що зв'язують поверхню s і масу p сферичної частинки, що має діаметр D і щільність ρ :

$$S = s/p = \pi D^2 \cdot 6/\pi D^3 \rho = 6/\rho D.$$

Експериментальні методи визначення гранулометричного складу й питомої поверхні порошкоподібних матеріалів будуть розглянуті далі.

1.2. Ситовий аналіз

При ситовому аналізі проводять розсів порошкоподібного матеріалу на ситах з різною величиною отворів й визначають кількість матеріалу, затриманого на ситі з даним відомим розміром отвору (**залишок на ситі**).

На дротяні сітки, застосовувані для виготовлення сит, поширюються вимоги відповідних стандартів (наприклад, ISO 565:1990 «Сита контрольные. Проволочная ткань, перфорированные пластины и листы, изготовленные гальваническим методом. Номинальные размеры отверстий» та ISO 3310:2000 «Сита лабораторные. Технические требования и испытания»). Цими ж стандартами регламентовані розміри отворів сіток (табл. 1.2). Номер сітки відповідає номінальному розміру (у міліметрах)

сторони гнізда у світлі; у номерах сит з розміром гнізда, менше 1 мм, «кому» перед десятими частками міліметра опускають.

Таблиця 1.2 – Характеристики сіток за ISO 3310:2000

Номер сітки	Число гнізд на 1 см ² сітки	Номер сітки	Число гнізд на 1 см ² сітки	Номер сітки	Число гнізд на 1 см ² сітки	Номер сітки	Число гнізд на 1 см ² сітки
2,5	11,2	056	151	02	980	008	5914
2	16	05	177	018	1109	0071	6823
1,6	22,6	045	237	016	1482	0063	9428
1,25	37,2	04	320	014	1829	0056	10858
1	51	0355	376	0125	2381	005	13526
09	59,1	0315	445	0112	2714	0045	15252
08	83	028	566	01	3906	004	20420
07	100	025	729	009	4435		
063	116	0224	847				

У практиці поки ще знаходять застосування сітки, які характеризуються числом отворів, що доводяться на 1 см². Номер такого сита відповідає числу отворів на одному лінійному сантиметрі, тобто $n = N^2$ (де n – число отворів на 1 см² сітки, а N – номер сита). Розмір отворів таких сит d (у міліметрах) може бути визначений за формулою

$$d = \frac{6}{N} = \frac{6}{\sqrt{n}}.$$

Ситовий аналіз проводять сухим або мокрим способом. Сухий спосіб застосовують у першу чергу для матеріалів, що реагують із водою (наприклад, цементу), а також у тих випадках, коли матеріал містить порівняно невеликі кількості дрібної фракції з розміром частинок менш ніж 0,1 мм.

Мокрий спосіб зручний для класифікації матеріалу за яким-небудь одним розміром (наприклад, при визначенні вмісту тонкозернистої глинистої фракції в каолінах і глинах), тоді як сухим способом матеріал легко розділити на ряд фракцій у певному діапазоні розмірів. Аналіз за мокрим способом більш точний при визначенні вмісту найбільш тонких

фракцій, тому його доцільно застосовувати для контролю тонкодисперсних матеріалів, а також у комбінації із седиментаційним аналізом.

При аналізі сухим способом сита розташовують одне над одним послідовно в міру зменшення розмірів отворів у сітках, і набір сит установлюють на суцільний піддон. Наважку матеріалу, висушеного до постійної маси, поміщають у верхнє сито й розсіюють струшуванням вручну або за допомогою різних механічних пристосувань. Після закінчення розсіву визначають масу залишків на кожному ситі Δg_i , г, включаючи масу самої дрібної фракції, зібраної на піддоні. Вміст кожної фракції Δq_i , %, розраховують за виразом

$$\Delta q_i = (\Delta g_i / \sum \Delta g_i) 100.$$

При мокрому способі ситового аналізу наважку матеріалу розпускають у воді до відсутності грудок, і отриману суспензію поступово зливають на контрольне сито, яке розташоване над плоскою чашкою, наповненою водою. Для полегшення проходу суспензії через сито його кілька разів опускають у чашку, обережно змиваючи наважку. Допускається також промивання залишку на ситі слабким струменем води із крана. Після того як вода, що пройшла через сито, стає зовсім прозорою, залишок змивають у порцелянову чашку, дають йому відстоятися, обережно декантують воду, висушують, охолоджують і на технічних вагах визначають масу залишку $g_{\text{зал}}$ із точністю до 0,01 г. Вміст часток розміром більшим ніж номінальний розмір гнізда сита, q , %, визначають за виразом

$$q = (g_{\text{зал}} / g_{\text{нав}}) 100,$$

де $g_{\text{нав}}$ – маса вихідної наважки матеріалу, г.

При проведенні ситового аналізу завжди є можливість проходу через сито часток більшого розміру, ніж номінальний розмір гнізда у світлі. Це, наприклад, відноситься до довгастих частинок, у яких два розміри менші від сторони гнізда, а третій перевищує його. Ці особливості слід урахувувати при зіставленні результатів ситового аналізу з даними, отриманими іншими методами.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

1.3. Визначення питомої поверхні порошків

Ступінь дисперсності в'язучих речовин характеризується тонкістю помелу, що вимірюється ситовим аналізом, питомою поверхнею та зерновим складом, які визначаються за допомогою поверхнемірів, сепарційних і седиментаційних приладів та інших апаратів.

Для характеристики ступеня дисперсності доцільно визначати питому поверхню цементного порошку. Цементи, виготовлені з того самого клінкеру та приведені за допомогою однотипних помельних апаратів до однакової тонкості помелу, яка визначається ситовим аналізом, можуть мати відмінну питому поверхню та вміст тонких частинок, а отже, будуть відрізнятися за своїми властивостями. Питома поверхня є важливою однозначною характеристикою цементу, тому що інтенсивність реакцій під час тверднення цементу залежить від площі поверхні цементного порошку.

Питома поверхня – це поверхня, яку має 1 г зерен матеріалу. Питома поверхня порошків може бути визначена декількома методами, які базуються на фізико-хімічних законах:

- за допомогою седиментаційного аналізу – на законі про рух сферичних частинок у в'язкому середовищі (закон Стокса);
- адсорбційним методом – на процесах фізичної й хімічної адсорбції газу та пари;
- методом газопроникності – на вимірюванні параметрів в'язкої течії або потоку газу крізь шар порошку;
- мікроскопічним методом – на вивченні розміру або форми частинок порошку із залученням оптичних та електронних мікроскопів.

Найбільш поширеним є метод газопроникності, який дозволяє здійснювати одне визначення протягом 5 – 10 хвилин і який широко застосовується в керамічній, металургійній та цементній промисловості. Під час визначення питомої поверхні методом газопроникності використовується ефект фільтрації повітря (газу) крізь шар порошку: або при атмосферному тиску (режим Пуазейля, в'язка течія повітря по капілярах), або при значному розрідженні (режим Кнудсена, довжина вільного перебігу молекул прирівнюється до товщини шару порошку). Метод газопроникності застосовується для дослідження порошків з питомою по-

верхню до $2 \cdot 10^{-5}$ м²/кг.

Питому поверхню визначають за часом, протягом якого певна кількість повітря (газу) проходить крізь шар цементу. Для проведення цих випробувань застосовують поверхнемір.

Схему приладу зображено на рис. 1.2. До складу приладу входять: кювета, манометр, гумова груша та з'єднувальні трубки. Скляні частини приладу змонтовані на панелі, яку прикріплено до внутрішньої стінки футляра.

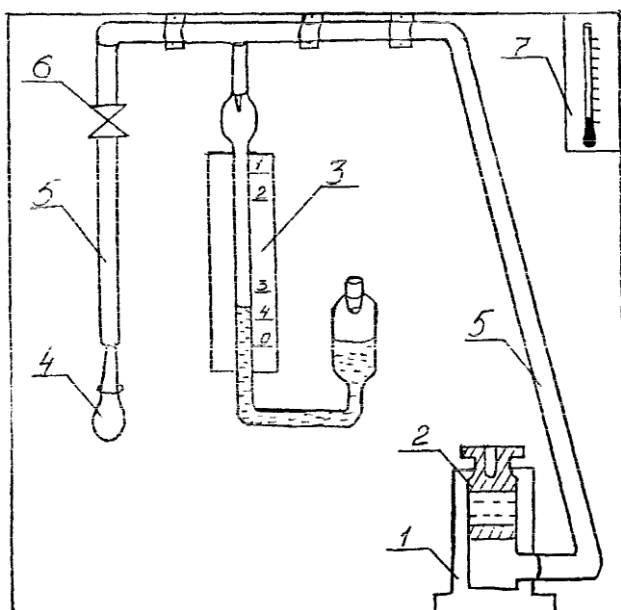


Рисунок 1.2. – Поверхнемір:

1 – кювета; 2 – плунжер; 3 – манометр; 4 – гумова груша;
5 – з'єднувальні трубки; 6 – кран; 7 – термометр

Кювета використовується для укладання шару матеріалу та має вигляд металевої камери, що перегороджена диском з отворами. На зовнішню поверхню кювети нанесено міліметрову шкалу.

Плунжер, за допомогою якого здійснюється ущільнення шару матеріалу в кюветі, має вигляд циліндра із запірним диском, до якого прикріплено планку, що дозволяє вимірювати товщину матеріалу.

Гумова груша використовується для створення розрідження повітря (газу) під шаром матеріалу.

За допомогою скляного одноколінного манометра, який заповнено підфарбованою водою, визначається тиск повітря під шаром матеріалу.

До складу приладу також входять секундомір і технічні ваги. Секундомір використовується для визначення швидкості проникнення повітря (газу).

Для визначення площі питомої поверхні порошоків необхідно:

1. Висушити матеріал при температурі 105 – 110 °С (вапно та цемент сушити не треба).

2. Охолодити пробу до кімнатної температури й зважити з точністю до 0,01 г пробу вагою $P = 3,33 \cdot \gamma$ (г) (γ – питома вага матеріалу, що визначається за даними табл. 1.3).

3. Покласти до кювети кружок фільтрувального паперу, висипати на нього пробу рівномірним шаром, зверху покласти кружок фільтрувального паперу та ущільнити плунжером.

4. За допомогою шкали на плунжері та шкали на зовнішній поверхні кювети визначити висоту шару матеріалу (L , см).

5. Витягти плунжер з кювети, відкрити кран та за допомогою гумової груші створити розрідження під шаром матеріалу. Розрідження повинне бути достатнім для того, щоб рідина в манометрі піднялась до рівня верхньої колби на трубці манометра.

6. Закрити кран. Заміряти секундоміром час (T , сек) проходження меніска рідини між позначками «3 – 4» у манометрі. Зробити 3 – 4 виміри та взяти середньоарифметичне значення.

7. Записати температуру повітря.

Для розрахунку поверхні питомої поверхні потрібно:

1) Знайти в табл. 1.4 значення M з урахуванням висоти шару (L) і температури повітря (t , °С). Коефіцієнт M залежить від поруватості цементу та в'язкості повітря при температурі досліджень ($\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1/2}$);

2) Здійснити обчислення питомої поверхні за формулою

$$S = K \cdot \frac{M \sqrt{T}}{P} \cdot 10^{-1}, \text{ м}^2/\text{кг},$$

де K – постійна приладу, яка дорівнює 15,4; P – вага проби, г.

Середній розмір зерен матеріалу пов'язаний з питомою поверхнею співвідношенням

$$D = \frac{60000 \cdot 10^3}{S \cdot \gamma},$$

де D – середній розмір часток матеріалу, 10^{-6} м; S – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{кг}$; γ – питома вага, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таблиця 1.3 – Матеріали та ваги проби для визначення питокої поверхні

№ п/п	Назва матеріалу	Питома вага, $\text{кг}/\text{м}^3$	Вага проби, г
1.	Вапно пухнянка	2200	7,32
2.	Пегматит	2380	7,86
3.	Гіпс	2400	7,99
4.	Пемза	2400	7,99
5.	Біла сажа	2450	8,16
6.	Доломіт	2900	9,73
7.	Пісок	2650	8,83
8.	Цегляний бій	2660	8,86
9.	Скляна шихта	2700	9,00
10.	Феросиліцид	2700	9,00
11.	Опока	2730	9,09
12.	Вапно кипілка	2800	9,32
13.	Шлаки	2800	9,32
14.	Вапняк	2800	9,32
15.	Цемент	3000	10,00
16.	Зола	3000	10,00
17.	Клінкер	3000	10,00
18.	Карборунд	3200	10,66
19.	Корунд штучний	3960	13,20
20.	Титановий концентрат	4300	14,30
21.	Діоксид титану	4000	13,32
22.	Гематит	5100	17,00

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Таблиця 1.4 – Визначення величини M

L , см	Температура t , °C							
	13	15	17	19	21	23	25	27
0,80	65	65	65	64	64	63	63	62
0,81	73	73	73	72	72	71	71	70
0,82	81	81	81	80	80	80	79	78
0,83	89	89	89	88	88	88	87	86
0,84	97	97	97	96	95	95	94	93
0,85	104	104	104	104	103	103	102	101
0,86	111	111	111	111	110	110	109	108
0,87	119	119	119	119	118	118	117	116
0,88	127	127	127	127	126	126	125	121
0,89	135	135	135	135	134	134	133	132
0,90	143	143	143	143	142	142	141	140
0,91	151	151	151	151	150	150	149	148
0,92	159	159	159	159	158	158	157	156
0,93	168	168	168	167	166	165	165	164
0,94	176	176	176	175	174	173	173	172
0,95	184	184	184	183	183	183	182	181
0,96	192	192	192	192	191	191	190	189
0,97	201	201	201	200	199	199	199	198
0,98	209	209	209	208	208	207	207	206
0,99	218	218	218	217	216	216	215	214
1,00	227	226	226	225	224	224	223	221
1,01	235	234	234	233	232	232	231	229
1,02	243	242	242	241	240	240	239	237
1,03	251	250	250	249	248	248	247	245
1,04	259	258	258	257	256	257	254	252
1,05	268	267	266	265	265	264	263	261
1,06	276	275	275	274	273	273	272	270
1,07	285	284	283	282	281	281	280	278
1,08	293	292	291	290	289	289	288	286
1,09	299	298	297	296	295	295	294	292
1,10	307	306	305	304	303	303	302	300
1,11	316	315	314	313	312	311	310	308
1,12	325	324	323	322	321	320	319	317
1,13	333	332	331	330	329	328	327	325
1,14	341	340	339	338	337	336	335	332
1,15	349	348	347	346	345	344	343	340

Продовження табл. 1.4

L, см	Температура t, °C							
	13	15	17	19	21	23	25	27
1,16	357	356	355	354	353	352	351	348
1,17	365	364	363	362	361	360	359	356
1,18	374	373	372	371	370	369	368	365
1,19	383	382	381	380	379	377	376	373
1,20	391	390	389	388	387	386	385	382
1,21	399	398	397	396	394	393	392	389
1,22	407	406	405	404	402	401	400	397
1,23	416	414	413	412	410	409	408	405
1,24	423	422	421	420	419	418	416	413
1,25	430	429	428	427	425	424	423	420
1,26	438	437	436	434	433	432	431	423
1,27	445	444	443	441	440	439	438	435
1,28	453	452	451	450	448	447	446	443
1,29	461	460	459	457	456	455	454	451
1,30	469	468	467	465	464	463	462	459
1,31	497	477	475	473	472	471	469	466
1,32	487	485	483	481	479	478	477	474
1,33	495	493	491	489	487	486	485	481
1,34	503	501	499	497	495	494	493	489
1,35	510	508	506	504	502	501	500	496
1,36	517	515	513	512	510	509	507	504
1,37	524	522	520	519	517	515	514	510
1,38	531	529	527	526	524	523	521	518
1,39	538	536	534	532	531	529	528	524
1,40	546	544	542	540	538	537	536	532
1,41	554	552	550	549	547	546	544	540
1,42	561	559	557	556	554	553	551	547
1,43	569	567	565	564	562	561	559	555
1,44	576	574	572	571	569	568	566	561
1,45	583	581	579	578	576	575	574	570
1,46	590	588	586	584	582	581	578	574
1,47	597	595	593	591	589	588	586	581
1,48	604	602	600	599	597	595	593	589
1,49	611	609	607	606	604	602	600	596
1,50	618	616	614	613	611	609	607	603

Продовження табл. 1.4

L, см	Температура t, °C							
	13	15	17	19	21	23	25	27
1,51	627	625	623	621	619	618	616	612
1,52	634	632	630	628	626	625	623	618
1,53	641	639	637	635	633	632	630	625
1,54	648	646	644	642	640	639	637	633
1,55	655	653	651	649	647	646	644	640
1,56	662	660	658	656	654	652	650	646
1,57	669	667	665	663	661	659	657	653
1,58	676	674	672	670	668	666	664	659
1,59	683	681	679	677	675	673	671	667
1,60	690	688	686	684	682	680	678	672
1,61	696	694	692	690	688	686	684	679
1,62	703	701	699	697	695	693	691	686
1,63	710	708	706	704	702	700	698	692
1,64	718	715	713	711	709	707	705	700
1,65	723	721	719	717	715	713	711	705
1,66	730	728	726	724	722	720	718	713
1,67	737	735	733	731	729	727	725	719
1,68	744	741	739	737	735	733	731	725
1,69	750	748	746	744	742	740	738	732
1,70	757	755	753	751	749	747	745	740
1,71	765	762	760	758	756	754	753	748
1,72	771	769	767	765	763	761	759	754
1,73	778	775	773	771	769	767	765	760
1,74	783	781	779	777	775	773	771	766
1,75	789	787	785	783	781	779	777	771
1,76	796	794	792	790	788	786	783	778
1,77	803	801	799	796	794	792	790	785
1,78	810	808	806	804	802	800	797	792
1,79	816	814	812	810	808	806	803	797
1,80	823	821	819	817	815	813	810	805
1,81	829	827	825	823	821	819	816	811
1,82	835	833	831	829	827	825	822	816
1,83	841	839	837	835	833	831	828	823
1,84	847	845	843	841	839	837	834	829
1,85	853	851	849	847	845	843	840	835

Продовження табл. 1.4

L, см	Температура t, °C							
	13	15	17	19	21	23	25	27
1,86	859	857	855	852	849	847	845	840
1,87	865	863	861	858	855	853	851	845
1,88	871	869	867	864	861	859	857	851
1,89	877	875	873	871	869	866	863	857
1,90	883	881	879	876	873	871	869	863
1,91	890	888	886	883	880	878	876	870
1,92	897	895	893	891	888	886	883	877
1,93	903	901	899	896	893	891	889	884
1,94	909	907	905	902	900	897	895	890
1,95	915	913	911	909	906	903	901	895
1,96	921	919	917	914	911	909	907	901
1,97	928	926	924	921	918	916	914	908
1,98	934	932	930	927	924	922	920	914
1,99	940	938	936	933	930	928	926	920
2,00	947	945	942	939	936	934	932	925
2,05	980	975	972	969	967	964	961	955
2,10	1010	1005	1002	999	996	993	991	985
2,15	1039	1035	1031	1029	1026	1023	1021	1011
2,20	1067	1063	1059	1056	1053	1050	1048	1039
2,25	1095	1091	1087	1084	1081	1078	1075	1064
2,30	1121	1117	1114	1111	1108	1105	1102	1092
2,35	1147	1144	1141	1138	1136	1132	1129	1120
2,40	1176	1172	1168	1164	1160	1157	1154	1144
2,45	1203	1199	1195	1191	1187	1184	1181	1170
2,50	1223	1234	1221	1217	1213	1209	1206	1196
2,55	1253	1250	1246	1242	1238	1234	1231	1221
2,60	1280	1276	1272	1268	1264	1260	1257	1246
2,65	1303	1300	1297	1294	1290	1286	1283	1271
2,70	1330	1326	1322	1318	1314	1310	1308	1295
2,75	1354	1350	1346	1342	1338	1334	1330	1320
2,80	1382	1376	1370	1366	1362	1358	1354	1342
2,85	1402	1398	1394	1390	1386	1382	1378	1364
2,90	1426	1421	1417	1413	1409	1405	1401	1390
2,95	1448	1444	1440	1436	1432	1428	1424	1411
3,00	1471	1467	1463	1459	1455	1451	1447	1432

1.4. Седиментаційний аналіз

Седиментаційний аналіз заснований на законі Стокса, згідно з яким частинки, що осідають у в'язкому середовищі, набувають постійної швидкості, яка залежить від їхнього розміру. На осідаючу частинку одночасно діють дві протилежно спрямовані сили: сила ваги (гравітаційна сила) F_g і виштовхувальна сила (сила Архімеда) F_A :

$$F_g = mg = V\rho_m g \text{ і } F_A = V\rho_p g,$$

де m і V – маса й об'єм частинки; ρ_m і ρ_p – щільність відповідно матеріалу частинок і рідини; g – прискорення вільного падіння.

Рівнодіюча цих сил, що викликає осідання (седиментацію) сферичної частинки радіусом r ,

$$F_{\text{сед}} = F_g - F_A = V(\rho_m - \rho_p)g = (4/3)\pi r^3 (\rho_m - \rho_p)g. \quad (1.5)$$

Згідно із законом Стокса опір $F_{\text{ст}}$, надаваний дисперсійним середовищем руху частинці, що осаджується, пропорційний швидкості її руху v і динамічній в'язкості середовища η :

$$F_{\text{ст}} = 6\pi r\eta v. \quad (1.6)$$

При швидкості седиментації (коли $v = \text{const}$) $F_{\text{сед}} = F_{\text{ст}}$. Дорівнявши вирази (1.5) і (1.6), отримуємо

$$v = \frac{2(\rho_m - \rho_p)r^2 g}{9\eta}. \quad (1.7)$$

Прийнявши $v = H/\tau$ (тут τ – тривалість осідання частинки, хв, з висоти H , см) і перейшовши від радіуса частинки r до її діаметра $x = 2r$, після перетворення виразу (1.7) з урахуванням відповідних розмірностей, одержимо

$$x = 10^2 \cdot \sqrt{\frac{30,6H\eta}{(\rho_m - \rho_p)\tau}}, \quad (1.8)$$

де x – діаметр частинки, мкм; η – в'язкість рідини, Па · с; ρ_m та ρ_p – щільність відповідно матеріалу частинок і рідини, г/см³.

Наведені співвідношення відносяться до сферичних частинок, що осаджуються незалежно одна від одної, тобто в досить розведених системах. Для характеристики частинок неправильної форми використовують дані про так званий **еквівалентний гідравлічний радіус (діаметр)**, відповідний до радіуса (діаметра) сферичної частинки, що осаджується зі швидкістю реальної частинки.

Точність і відтворюваність результатів, одержуваних при седиментаційному аналізі, залежить від дотримання ряду умов, при яких відхилення від закону Стокса виявляються незначними. Так, аналіз проводять у відносно широких циліндрах, що дозволяє зменшити гальмуючий вплив стінок посуду на центральні шари суспензії. Максимальний розмір частинок, що осаджуються, обмежується 100 мкм, тому що великі частинки (через їхню високу швидкість осадження) створюють завихрення рідини, що перешкоджає вільній седиментації дрібних частинок. При цих умовах постійна швидкість осадження зазвичай встановлюється протягом часток секунди. Агрегативну стійкість суспензії підвищують, уводячи стабілізуючі добавки й регулюючи pH середовища. Для зменшення ймовірності коагуляції й зіткнення частинок концентрацію твердої фази в суспензії знижують до 0,5 – 1 % по масі. Для запобігання конвекційним потокам і забезпечення сталості температури суспензії при випробуванні створюють умови, що виключають місцевий перегрів, наприклад, сонячними променями або іншими джерелами тепла. Седиментаційний аналіз, як правило, проводять у водному середовищі. У тих випадках, коли випробовуваний матеріал взаємодіє з водою, використовують інші інертні дисперсійні середовища.

Седиментаційний аналіз високодисперсних матеріалів може бути здійснений різними методами.

Піпеточний метод. Принцип цього методу полягає у відборі із заданої глибини H після закінчення заданого часу осадження τ певного об'єму випробовуваної суспензії, після чого у відібраній пробі знаходять вміст твердої фази. На глибину H за час τ (тобто з моменту початку седиментації) будуть поринати частинки, розмір яких x_τ знаходять за вира-

зом (1.8). Що стосується частинок з розміром $x > x_\tau$, то через більшу, ніж H/τ , швидкість осідання τ вони вчасно будуть перебувати на більшій глибині й у відібрану пробу не потраплять. Таким чином, у відібраній пробі будуть перебувати частинки з розміром, що менший або що дорівнює x_τ , і їхній відносний вміст Q_i , %, у випробовуваній суспензії може бути визначений за виразом

$$Q_i = \frac{g_{i, \text{пр}} V_c}{g_c V_i} 100, \quad (1.9)$$

де g_c і $g_{i, \text{пр}}$ – маса твердої фази в первинному об'ємі всієї суспензії й у відібраній пробі, г; V_c і $V_{i, \text{пр}}$ – первісний об'єм суспензії й об'єм проби, см^3 .

На підставі даних, отриманих у результаті декількох послідовних відборів проб, може бути побудована інтегральна крива розподілу частинок за розмірами у досліджуваному матеріалі (див. рис. 1.1).

Прилад, який використовується для проведення седиментаційного аналізу за піпеточним методом (рис. 1.3), складається зі спеціальної піпетки 1, закріпленої на штативі 2, посуду 3 з дистильованою водою для промивання піпетки й аспіратора 4.

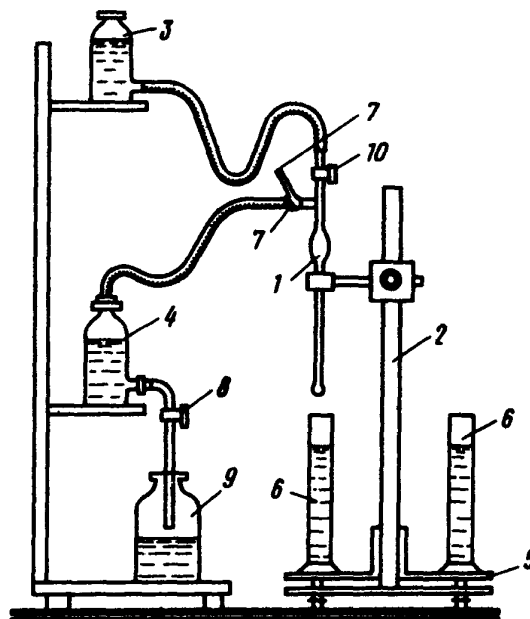


Рисунок 1.3 – Піпеточний прилад для седиментаційного аналізу

За рахунок розрідження, створюваного аспіратором, суспензія засмоктується в піпетку через отвори (звичайно їх чотири), розташовані поблизу нижнього запаюваного кінця піпетки. Глибину занурення піпетки в суспензію контролюють по шкалі, розташованій на штативі 2. У верхній частині піпетка має контрольну риску, якою відзначений її номінальний об'єм (звичайно 25 см³). На обертовий навколо штатива столик 5 установлюють циліндри 6 із суспензією аналізованого матеріалу.

Зазвичай використовують стандартні мірні циліндри ємністю 1 л та діаметром 60 ± 2 мм.

Вихідну пробу випробовуваного матеріалу, висушену до постійної маси при температурі 105 – 110 °С, розминають у порцеляновій ступці й просівають крізь сито № 05. Потім пробу знову висушують до постійної маси й беруть наважку шляхом зважування на технічних вагах з точністю до 0,01 г. Величина наважки повинна забезпечувати приблизно 1 %-ну концентрацію твердої фази в суспензії. Наважку переносять у колбу, заливають водою з добавкою стабілізатора й кип'ятять зі зворотним холодильником протягом 1 год. Після охолодження отриману суспензію пропускають через сито № 025, залишок висушують і зважують; наступні розрахунки проводять із урахуванням маси цього залишку. Суспензію переносять у циліндр, і об'єм доводять до заданого. Визначають температуру й ретельно перемішують суспензію. Після припинення перемішування (залишивши мішалку в циліндрі) включають секундомір і в потрібний момент відбирають пробу суспензії. Час відбору проб зазвичай розраховують заздалегідь, виходячи з даних про щільність досліджуваного матеріалу, температури й в'язкості води, розміру частинок. Рекомендується відбирати проби таким чином: для часток розміром 50 мкм – із глибини 25 см; розміром 10 і 5 мкм – із глибини 10 см; розміром 1 мкм – із глибини 5 – 7 см. Зазвичай відбирають дві паралельні проби з різних циліндрів.

Відбір проби включає наступні операції. Піпетку занурюють в суспензію, що перебуває в циліндрі, на задану глибину й через триходовий кран 7 з'єднують її з порожниною аспіратора. Відкривають затискач 8, у результаті чого (при витіканні води в посуд 9) в аспіраторі й піпетці створюється розрідження, й піпетка заповнюється суспензією. Коли рівень суспензії досягає контрольної риски на піпетці, кран 7 перекрива-

ють, піпетку витягають із циліндра, підставляють під неї бюкс (або порцелянову чашечку), а триходовий кран ставлять у положення, при якому порожнина піпетки сполучається з навколишнім середовищем. При цьому суспензія стікає з піпетки. Відкривши кран 10, залишки суспензії змивають із піпетки в бюкс.

Відібрану пробу суспензії випарюють на водяній бані або в сушильній шафі при температурі 80 °С, потім висушують до постійної маси при 105 – 110 °С і зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,001 г.

На підставі отриманих даних за виразом (1.9) розраховують відносний вміст Q_i частинок розміром, що менший і що дорівнює x_τ . Слід ураховувати, що маса залишку на ситі № 025 також дає відповідну точку на кривій зернового складу. Наприклад, якщо залишок на ситі № 025 дорівнює 1,5 %, то $Q_{(250)} = 98,5$ %.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Ваговий метод (седиментація в гравітаційноиу полі) заснований на безперервному (або періодичному) зважуванні осаду, що утворюється на дні стовпа досліджуваної суспензії.

Гранулометричний склад матеріалу встановлюють шляхом обробки кривої седиментації (кривої нагромадження осаду), що відбиває залежність маси осілого осаду від часу седиментації.

Для обробки седиментаційних кривих звичайно використовують метод графічного диференціювання, сутність якого ілюструється наступними прикладами.

У монодисперсній системі седиментація часток відбувається з рівною й постійною швидкістю. Крива седиментації такої системи являє собою пряму лінію, що виходить з початку координат, тангенс кута нахилу якої характеризує швидкість нагромадження осаду (рис. 1.4, *a*).

Швидкість нагромадження осідання буде залишатися постійною до моменту часу $\tau_{\text{макс}}$, при якому маса осаду досягає максимального значення, що відповідає 100 %-му вмісту матеріалу в досліджуваній суспензії.

При подальшому збільшенні τ маса осаду відповідно залишається постійною. Використовуючи значення $\tau_{\text{макс}}$, можна розрахувати розмір частинок у матеріалі за виразом (1.8).

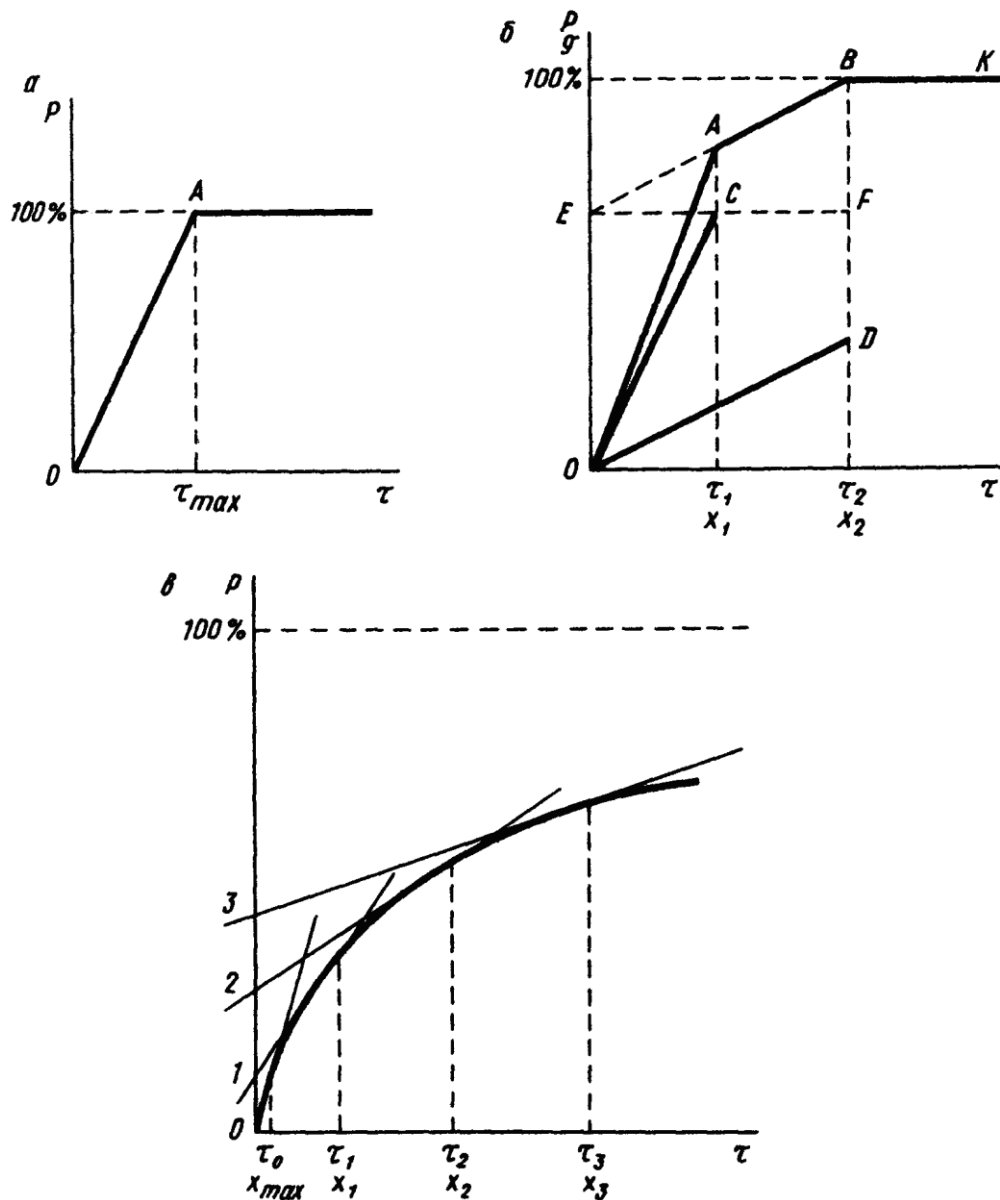


Рисунок 1.4 – Криві седиментації монодисперсного (а), бідисперсного (б) і полідисперсного (в) матеріалів

Частинки бідисперсної системи, що складається із двох монодисперсних фракцій («дрібної» і «великої»), осаджуються одночасно з постійними швидкостями, характерними для кожної із фракцій (рис. 1.4, б, лінії OC і OD). Ділянка OA сумарної седиментаційної кривої $OABK$ відповідає періоду спільного осадження обох фракцій. Злам у точці A на сумарній седиментаційній кривій, що має місце при τ_1 , відповідає моменту повного випадання великої фракції, розмір часток якої x_1 також може бути розрахований за виразом (1.8).

В інтервал часу $\tau_1 - \tau_2$ (ділянка AB) зміна маси осаду обумовлена осадженням частинок однієї дрібної фракції. Злам у точці B (у момент часу τ_2) свідчить про завершення седиментації дрібної фракції з розміром частинок x_2 . При подальшому збільшенні τ маса осаду залишається постійною. Таким чином, ордината $B\tau_2$ відповідає 100 %-му вмісту матеріалу в суспензії, відрізок $F\tau_2 \rightarrow OE$ – вмісту часток великої фракції з розміром x_1 , а відрізок $D\tau_2 \rightarrow Eg$ – вмісту частинок дрібної фракції з розміром частинок x_2 .

Криві седиментації (криві нагромадження осаду) полідисперсних матеріалів (рис. 1.4, *в*) обробляють тим же, що й у наведеному прикладі, методом: на кривій вибирають точки, що відповідають заданим значенням τ_i (і відповідно x_i), і проводять у цих точках дотичні до кривої. Відрізки, що відтинаються дотичними на осі ординат, відповідають вмісту частинок з розміром, що більший і що дорівнює x_i .

Принципова схема приладу, використовуваного для проведення седиментаційного аналізу за ваговим методом, наведена на рис. 1.5.

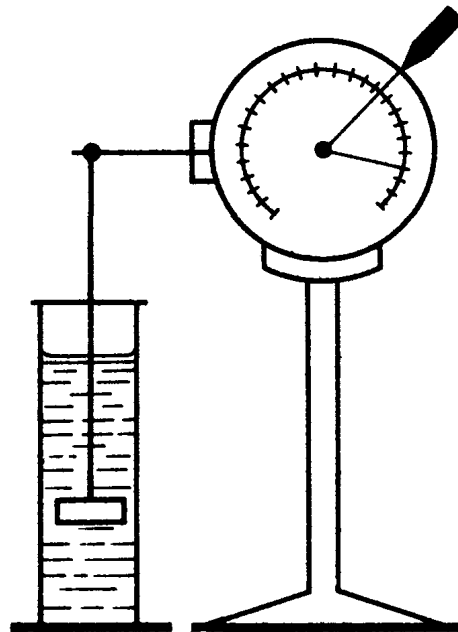


Рисунок 1.5 – Седиментометр із торсіонними вагами

При випробуванні визначають масу осаду, що накопичується у чашечці, яка розташована у циліндрі. Зважування осаду звичайно здійснюють за допомогою торсіонних ваг.

Для цих же цілей можуть бути використані так звані кварцові ваги (ваги Н. О. Фігуровського), основним елементом яких є спіральна пружина із кварцової нитки. Деформацію пружини, обумовлену збільшенням маси осаду при седиментації, реєструють за допомогою відлікового мікроскопа.

Пробу досліджуваного матеріалу готують за тією ж методикою, що й у випадку піпеточного аналізу, але наважку беруть із таким розрахунком, щоб концентрація твердої фази в суспензії становила близько 0,2 %.

За наявності в матеріалі великих часток їх відокремлюють, пропускаючи отриману суспензію через сито № 006. Залишок на ситі висушують, зважують і його масу враховують при обробці результатів аналізу. Суспензію переносять у циліндр, додаючи воду, доводять її об'єм до заданого й ретельно (протягом 3 – 5 хв) перемішують. Після припинення перемішування в циліндр уводять чашечку, підвішують її до ваг і включають секундомір. Перший вимір (визначення маси осаду) проводять через 30 с, а наступні – при зростаючому значенні τ , наприклад, через 10, 20, 40, 80, 120 хв.

На підставі отриманих даних будують криву седиментації й обробляють її методом графічного диференціювання. Необхідне для обробки значення $P_{\text{макс}}$, що відповідає 100 %-му вмісту матеріалу в суспензії, розраховують за виразом

$$P_{\text{макс}} = (g_c - \Delta g) \cdot \frac{V_{\text{ст}}}{V_{\text{сусп}}} \cdot \frac{\rho_m - \rho_p}{\rho_m} \cdot \frac{\rho_m - \rho_p}{\rho_m}; \quad V_{\text{ст}} = \frac{\pi d^2}{4} H,$$

де g_c – маса наважки, використаної для приготування суспензії, г; Δg – маса залишку, отриманого при відділенні від суспензії великих включень, г; $V_{\text{ст}}$ – об'єм стовпа суспензії над чашечкою, см^3 ; $V_{\text{сусп}}$ – загальний об'єм суспензії в циліндрі, см^3 ; ρ_m і ρ_p – щільності відповідно випробовуваного матеріалу й рідини, $\text{г}/\text{см}^3$; d – діаметр чашечки, см; H – глибина занурення чашечки, см.

У порівнянні з піпеточним ваговим методом дає менше похибок, зв'язаних безпосередньо із проведенням вимірів, і (при порівнянних зна-

ченнях розмірів частинок) вимагає менших витрат часу. Недоліки вагового методу пов'язані з відносною складністю розрахунків і з похибкою у визначенні значення $P_{\text{макс}}$. Останнє обумовлене, зокрема, тим, що траєкторія осідання частинок поблизу чашечки може відрізнятись від прямолінійної. Тому результати, отримані при використанні чашечок різного діаметра, будуть трохи відрізнятись. У той же час за даних постійних умов досліду звичайно вдається одержати гарну відтворюваність результатів.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

1.5. Аналіз пісків, що використовуються для будівельних робіт

Пісок, використовуваний для будівельних робіт, необхідно піддавати випробуванням з метою визначення:

- 1) питомої ваги;
- 2) об'ємної насипної ваги;
- 3) порожнистості;
- 4) вологості;
- 5) зернового складу й модуля крупності;
- 6) вмісту пилоподібних і глинистих (мулистих) частинок.

Визначення питомої ваги піску (об'ємної ваги його зерен)

Апаратура: пікнометри місткістю 100 мл; ваги технічні; ексикатор; сушильна шафа; піщана або водяна баня.

Із середньої проби піску беруть наважку близько 30 г, просівають її крізь сито з діаметром отворів 5 мм, висушують до постійної ваги й охолоджують до кімнатної температури в ексикаторі над безводним хлористим кальцієм. Висушений пісок перемішують і ділять на дві частини.

Кожну частину наважки висипають у чистий висушений і попередньо зважений пікнометр, після чого зважують пікнометр разом з випробовуваним піском. Потім наливають у пікнометр дистильовану воду в такій кількості, щоб пікнометр був заповнений приблизно на $2/3$ його об'єму, перемішують вміст пікнометра й ставлять його в злегка похилому положенні на піщану або водяну баню. Вміст пікнометра кип'ятять

протягом 15 – 20 хв для видалення бульбашок повітря; бульбашки повітря можуть бути вилучені також шляхом витримування пікнометра під вакуумом в ексікаторі.

Після видалення повітря пікнометр обтирають, охолоджують до температури приміщення, доливають до мітки дистильованою водою й зважують. Після цього пікнометр звільняють від умісту, промивають, наповнюють до мітки дистильованою водою й знову зважують.

Питому вагу піску $\gamma_{\text{п}}$, г/см³, обчислюють із точністю до 0,01 г/см³ за формулою

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{(g_1 - g_2)\gamma_{\text{в}}}{g_1 - g_2 + g_3 - g_4},$$

де g_1 – вага пікнометра з піском, г; g_2 – вага порожнього пікнометра, г; g_3 – вага пікнометра з дистильованою водою, г; g_4 – вага пікнометра з піском і дистильованою водою після видалення пухирців повітря, г; $\gamma_{\text{в}}$ – питома вага води, що дорівнює одиниці, г/см³.

Питому вагу піску обчислюють як середнє арифметичне результатів визначень питомої ваги обох частин наважки. При цьому розбіжність між результатами двох визначень не повинна перевищувати 0,02 г/см³. У випадку більших розбіжностей роблять третє визначення й обчислюють середнє арифметичне двох найближчих значень.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Примітки:

1. При випробуванні піску, що складається із зерен пористих осадових порід, можна визначити, крім об'ємної ваги зерен, також власну питому вагу зерен піску. Для цього зерна піску попередньо подрібнюють у порцеляновій ступці до розміру менш 0,14 мм і проводять далі визначення в описаній вище послідовності.

2. Дозволяється замість зважування пікнометра з дистильованою водою в процесі кожного випробування визначати один раз місткість пікнометра й користуватися її значенням при всіх випробуваннях. У цьому випадку визначення місткості пікнометра й усі випробування роблять при температурі 20 ± 1 °С. Місткість пікнометра визначають за вагою дистильованої води в пікнометрі, питому вагу якої беруть такою, що дорівнює 1,0 г/см³. У цьому випадку питому вагу піску ($\gamma_{\text{п}}$) обчислюють за формулою

$$\gamma_n = \frac{(g_1 - g_2)\gamma_B}{V + g_1 - g_4},$$

де V – об'єм пікнометра, мл.

Інші позначення ті ж, що й у попередній формулі.

Визначення об'ємної насипної ваги піску в стандартному неуцільненому стані

Апаратура: мірний циліндричний посуд місткістю 1л (внутрішні розміри: діаметр 108 мм, висота 108 мм); ваги технічні або торговельні; сушильна шафа; металева лінійка; сито із круглими отворами діаметром 5 мм.

Середню пробу піску вагою від 5 до 10 кг (залежно від вмісту фракції гравію) висушують до постійної ваги й просівають крізь сито із круглими отворами діаметром 5 мм.

Висушений до постійної ваги пісок насипають із висоти 10 см у попередньо зважений мірний циліндр до утворення над верхом циліндра конуса.

Конус без ущільнення піску знімають урівень із краями посуду металевою лінійкою, після чого посуд з піском зважують.

Об'ємну насипну вагу піску γ_n , кг/м³, обчислюють із точністю до 10 кг/м³ за формулою

$$\gamma_n = \frac{g_2 - g_1}{V},$$

де g_1 – вага мірного посуду, кг; g_2 – вага мірного посуду з піском, кг; V – об'єм посуду, м³.

Визначення насипної об'ємної ваги зазначеним способом роблять два рази, при цьому щораз беруть нову порцію піску.

Об'ємну насипну вагу проби піску обчислюють як середнє арифметичне результатів двох визначень.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Визначення порожнистості піску в стандартному неущільненому стані

Визначення порожнистості піску роблять на підставі попереднього встановлених значень питомої ваги й об'ємної насипної ваги піску.

Порожнистість піску (V_n) у відсотках за обсягом обчислюють із точністю до 0,1 % за формулою

$$V_n = \left(1 - \frac{\gamma_n}{\gamma_n \cdot 1000} \right) \cdot 100,$$

де γ_n – питома вага піску, г/см³; γ_n – об'ємна насипна вага піску, кг/м³.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Визначення вологості піску

Апаратура: ваги технічні; сушильна шафа.

З випробовуваного піску беруть дві наважки вагою не менш 0,5 кг кожна.

Кожну з відібраних проб піску насипають у посуд й відразу ж зважують, а потім висушують до постійної ваги.

Вологість піску (W) у відсотках за вагою обчислюють із точністю до 0,1 % за формулою

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2} \cdot 100,$$

де g_1 – вага проби в стані природної вологості, г; g_2 – вага проби в сухому стані, г.

Вологість піску обчислюють як середнє арифметичне результатів визначення вологості двох проб.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Визначення зернового складу й модуля крупності піску

Апаратура: ваги технічні або торговельні; набір сит із сітками № 1,25; 063; 0315 і 014 за ISO 565:1990 і із круглими отворами діаметром 10; 5 і 2,5 мм (рамки сит можуть бути круглими або квадратними з діаметром або бічною стороною не менш 100 мм); сушильна шафа.

Середню пробу піску вагою близько 2 кг висушують до постійної ваги (G).

Висушену до постійної ваги пробу піску просівають крізь сита із круглими отворами діаметром 10 і 5 мм.

Залишки на ситах (G_{10} і G_5) зважують і обчислюють процентний вміст у піску фракцій гравію з розміром зерен 5 – 10 мм (Gp_5) і вище 10 мм (Gp_{10}) з точністю до 0,1 % за формулами

$$Gp_{10} = \frac{G_{10}}{G} \cdot 100; \quad Gp_5 = \frac{G_5}{G} \cdot 100,$$

де G_{10} – залишок на ситі із круглими отворами діаметром 10 мм, г; G_5 – залишок на ситі із круглими отворами діаметром 5 мм, г; G – вага проби, г.

Із проби піску, що пройшла крізь зазначені вище сита, відбирають наважку вагою 1000 г (g) для визначення зернового складу піску без фракцій гравію. При оцінці якості піску це визначення роблять після попереднього промивання з відмулюванням отриманої наважки. У цьому випадку вміст відмулених часток включають у прохід крізь сито із сіткою № 014 і в загальну вагу наважки.

При масових випробуваннях дозволяється після промивання з відмулюванням просівати наважку піску (без фракції гравію) вагою 500 г.

При контролі якості піску дозволяється просівати наважку без попереднього промивання, за винятком випадків випробування піску зі значним вмістом глинистих домішок.

Підготовлену зазначеним вище способом наважку піску просівають крізь набір сит із круглими отворами діаметром 2,5 мм і із сітками № 1,25; 063; 03154 і 014 (ISO 565:1990).

Просівання виконують механічним або ручним способом.

Тривалість просівання повинна бути такою, щоб при контрольному інтенсивному ручному струшуванні кожного сита протягом 1 хв через нього проходило не більш 0,1 % загальної ваги наважки, що просівається. При механічному просіванні його тривалість для прийнятого приладу встановлюють дослідним шляхом.

При ручному просіванні дозволяється визначати закінчення просівання наступним спрощеним способом: кожне сито інтенсивно трясуть над аркушем паперу. Просівання вважається закінченим, якщо при цьому практично не спостерігається падіння зерен піску.

Залишки на кожному ситі (g_i) зважують із точністю до 0,1 %.

За результатами просівання обчислюють:

а) окремий залишок на кожному ситі – як відношення ваги залишку на даному ситі до ваги наважки, що просівається, у відсотках. Окремі залишки (a_i) у відсотках обчислюють за формулою

$$a_i = \frac{g_i}{g} \cdot 100,$$

де g_i – вага залишку на даному ситі, г; g – вага наважки, що просівається, г;

б) повний залишок на кожному ситі – як суму окремих залишків на всіх ситах з більшим розміром отворів у відсотках плюс залишок на даному ситі у відсотках.

Повні залишки (A_i) у відсотках обчислюються за формулою

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i,$$

де $a_{2,5} + \dots + a_i$ – окремі залишки на ситах з більшим розміром отворів, починаючи із сита з отворами діаметром 2,5 мм, %; a_i – окремий залишок на даному ситі, %;

в) модуль крупності піску (без фракції гравію з розміром зерен крупніше 5 мм) – як частка від ділення на 100 суми повних залишків на всіх ситах, починаючи із сита з отворами діаметром 2,5 мм і закінчуючи ситом № 014 (ISO 565:1990). Модуль крупності піску обчислюють із то-

чністю до 0,1 % за формулою

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

де $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,14}$ – повні залишки на ситі із круглими отворами діаметром 2,5 мм і на ситах із сітками № 1,25; 063; 0315; 014 (ISO 565:1990), %.

Результати визначення зернового складу піску записують у табл. 1.6, або зображують графічно у вигляді кривої просівання (рис. 1.5) у лінійному масштабі.

Таблиця 1.6 – Результати визначення зернового складу піску

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм					Прохід крізь сито 014 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
окремі	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,14}$	A_{-014}
повні	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,14}$	–

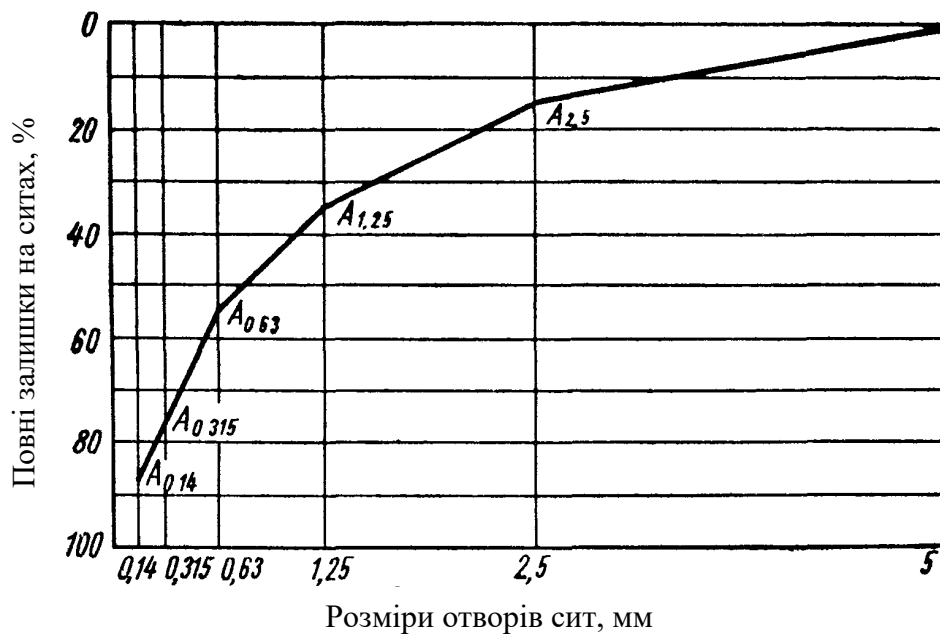


Рисунок 1.5 – Крива просівання

При визначенні зернового складу фракціонованих пісків результати випробування записують тільки у вигляді таблиць.

Модуль крупності (M_k) у цьому випадку не визначають.
За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Визначення вмісту пилоподібних і глинистих (мулистих) частинок відмулюванням

Апаратура: ваги технічні; сушильна шафа; посуд для відмулювання піску (рис. 1.6) або циліндричне цебро висотою не менш 300 мм із сифоном; секундомір.

Із середньої проби піску, висушеної до постійної ваги, беруть наважку вагою 1000 г (g).

Випробування полягає у виділенні з наважки піску частинок розміром менш 0,05 мм. Для цього наважку піску поміщають у посуд й заливають водою так, щоб висота шару води над піском була близько 200 мм. Пісок витримують у воді близько 2 год, періодично його перемішуючи.

Після цього вміст посуду знову енергійно перемішують і залишають у спокої на 2 хв. Через 2 хв зливають отриману при промиванні суспензію, залишаючи шар її над піском висотою не менш 30 мм.

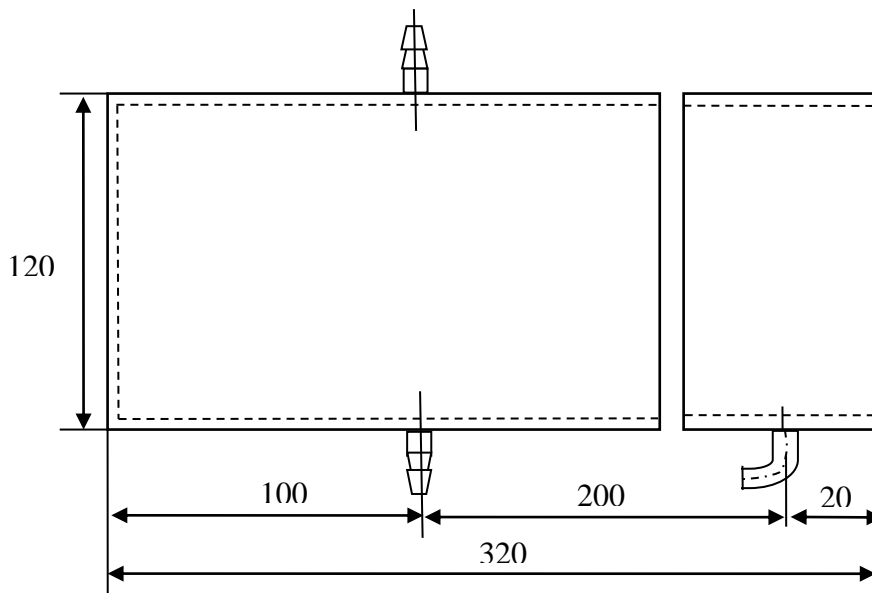


Рисунок 1.6 – Посуд для відмулювання пісків

Потім пісок знову заливають водою до зазначеного вище рівня.
Промивання піску в зазначеній послідовності повторюють доти,

поки вода після промивання не буде залишатися прозорою.

Для випробування застосовують посуд для відмулювання (рис. 1.6) або циліндричне цебро із сифоном.

У посуд для відмулювання воду наливають до верхнього зливального отвору, а злив суспензії проводиться через два нижні зливальні отвори.

При зливі суспензії за допомогою сифона кінець його повинен бути на відстані не менш 30 мм від поверхні піску в циліндричному цебрі.

Після закінчення відмулювання промиту наважку висушують до постійної ваги (g_1).

Вміст у піску, що відмулюється, пилоподібних і глинистих (мулистих) частинок (Відм) у відсотках за вагою обчислюють із точністю до 0,1 % за формулою

$$\text{Відм} = \frac{g - g_1}{g} \cdot 100,$$

де g – вага висушеної наважки до відмулювання, г; g_1 – вага висушеної наважки після відмулювання, г.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Контрольні питання

1. Якими функціями може бути виражений гранулометричний склад полідисперсних порошків?
2. Як визначити середній розмір частинок?
3. Якими фізичними показниками характеризується питома поверхня часток порошкоподібного матеріалу?
4. Які існують методи визначення гранулометричного складу порошкоподібних матеріалів?
5. Якими методами визначається питома поверхня в'язучих матеріалів та на яких фізико-хімічних законах вони базуються?
6. Застосування ситового методу аналізу для визначення гранулометричного складу порошкоподібних матеріалів.

7. Якими показниками характеризується ступінь дисперсності в'язучих матеріалів?

8. На яких фізичних законах базується седиментаційний метод аналізу?

9. Як визначається модуль крупності піску?

10. На яких методах досліджень базується аналіз пісків?

2. ГПС

Гіпсові в'язучі останніми десятиліттями усе більше застосовуються у високорозвинених країнах. Це пов'язане з відносно низькими енергетичними витратами, повною механізацією та автоматизацією гіпсової промисловості. Окрім гіпсу, у гіпсовій промисловості широко використовуються змішані в'язучі – гіпсоцементно-пуцоланові, гіпсошлакові та ін. На основі гіпсу отримують різноманітні за призначенням вироби.

Гіпсовими в'язучими речовинами називають матеріали, що складаються з напівводного гіпсу або ангідриту. Одержання їх базується на здатності двоводного гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) у процесі нагрівання частково або повністю дегідратуватися.

Гіпсові в'язучі є повітряними в'язучими матеріалами, які за умов теплової обробки, а також швидкості тужавіння і тверднення розділяють на групи: **безвипалювальні**, **низьковипалювальні** (власне гіпсові) і **високовипалювальні** (ангідритові). Безвипалювальні гіпсові в'язучі (гіпсовий цемент) отримують тонким подрібненням природного двогідрату. Вироби з гіпсового цементу виготовляють шляхом трамбування для створення достатньої кількості контактів між частинками. Низьковипалювальні гіпсові в'язучі отримують тепловою обробкою за низьких температур (110 – 180 °С); вони складаються головним чином з напівводного гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) і характеризуються швидким твердненням. До них належать такі гіпси: будівельний, формувальний, високоміцний (технічний), медичний.

Високовипалювальні гіпсові в'язучі отримують тепловою обробкою за високих температур (600 – 900 °С); до них переважно входить безводний гіпс (ангідрит – CaSO_4), і відрізняються вони повільним твердненням. До них належать ангідритові в'язучі (ангідритовий цемент) і високовипалювальний гіпс (естріх-гіпс).

Для виробництва гіпсових в'язучих як основну сировину застосовують природний двоводний гіпс, ангідрит (CaSO_4), а також гіпсовмісні відходи хімічної промисловості (фосфогіпс, борогіпс, титаногіпс та ін.).

2.1. Відбір середньої проби

Розмір партії будівельного гіпсу, що відправляється заводами, встановлюється в 60 т. Поставка гіпсу в кількості, меншій ніж 60 т, вважається цілою партією.

Для випробувань гіпсових в'язучих речовин від кожної партії відбирають пробу вагою в 10 кг. При відправленні матеріалу навалом у вагонах пробу беруть приблизно рівними частками на початку, всередині й кінці навантаження. При поставці в мішках пробу відбирають із 10 мішків приблизно по 1 кг із кожного мішка, а при відправленні в автомобілях – від кожних 2 т приблизно по 1 кг.

Відібрану пробу ретельно перемішують і ділять на дві рівні частини, з яких одну піддають випробуванням, а іншу ізолюють і зберігають у сухій, щільно закритій тарі протягом місяця на випадок повторних випробувань.

Висушування зразків і наважок гіпсу до постійної ваги виконують у сушильній шафі при температурі 50 – 55 °С доти, поки різниця між двома зважуваннями буде не більш 0,1 г при вазі зразка або навішення до 200 г і не більш 1 г при вазі зразка або наважки більш 200 г.

Час між двома останніми зважуваннями має становити не менш 2 год.

Перед випробуванням апаратура, гіпс і вода повинні бути витримані до температури приміщення (20 ± 2 °С). Для випробування гіпсу застосовують дистильовану або прісну питну воду.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.2. Визначення тонкості помелу

Відважують 50 г гіпсу (з точністю до 0,1 г), попередньо висушеного в сушильній шафі впродовж 1 год при температурі 50 – 55 °С, і висипають його на сито. Закривши сито кришкою, виконують просіювання гіпсу крізь сито із сіткою № 02. Просіювання гіпсу вважають закінченим, якщо протягом 1 хв. крізь сито проходить не більш 0,05 г гіпсу. Контрольне просіювання гіпсу виконують на папір при знятому із сита денці. Сито має бути сухим, і після просіювання воно ретельно прочищається.

Тонкість помелу гіпсу (%) обчислюють як подвоєну вагу (г) залишку гіпсу на ситі з точністю до 0,1 %.

2.3. Визначення нормальної густини гіпсового тіста

Визначення нормальної густини гіпсового тіста проводиться за допомогою віскозиметра Суттарда або автоматичного капілярного віскозиметра АКВ-3.

Прилад Суттарда складається з мідного або латунного циліндра, що має внутрішній діаметр 5,0 см і висоту 10,0 см, та квадратного листового скла з розміром боків 20 см. Циліндр повинен бути добре відполірований з країв і зсередини. На скло наносять ряд концентричних кіл діаметром 6 – 20 см, причому коло діаметром до 14 см роблять через кожний 1 см, а інші – через кожні 2 см. Можна також нанести кола на звичайний папір і помістити його між двома пластинами скла. Перед випробуванням циліндр і скляну пластинку змочують чистою водою за допомогою м'якої тканини. Перед змочуванням із внутрішньої поверхні циліндра й із пластинки ретельно видаляють гіпс, що залишився від попереднього випробування. Скляну пластинку кладуть горизонтально, циліндр ставлять у центрі концентричних кіл.

При визначенні густини гіпсового тіста готують суміш гіпсу з водою в кількості 800 г. Гіпс додають до води й швидко розмішують знизу нагору протягом 30 с до одержання однорідної маси, яку залишають на 1 хв. у спокійному стані. Потім, зробивши два різких перемішування, швидко виливають масу в циліндр, поставлений на скло, і ножем вирівнюють поверхню гіпсу із краями циліндра; на все це витрачають не більш 30 с. Далі різким і правильним рухом піднімають циліндр знизу нагору; при цьому тісто розливається на скло в конусоподібний корж, величина якого обумовлюється консистенцією тіста. Необхідну густину має тісто, яке дає корж у середньому діаметром близько 12 см.

Нормальну густину гіпсового тіста виражають кількістю води (мл³), що доводяться на 100 г гіпсу.

Тісто при замішуванні гіпсу водою має спочатку густоту рідкої сметани, а через 2 хв густіє до консистенції, при якій діаметр коржа при розпливанні буде близько 12 см.

Нормальна густина будівельного гіпсу зазвичай коливається в межах 60 – 80 %, а високоміцного – в межах 35 – 45 %. Автоматичний капілярний віскозиметр АКВ-3 (рис. 2.1) складається з камери 1 із пробкою 2, що вгвинчується в неї, яка за допомогою накладної гайки з'єднана із втулкою 3.

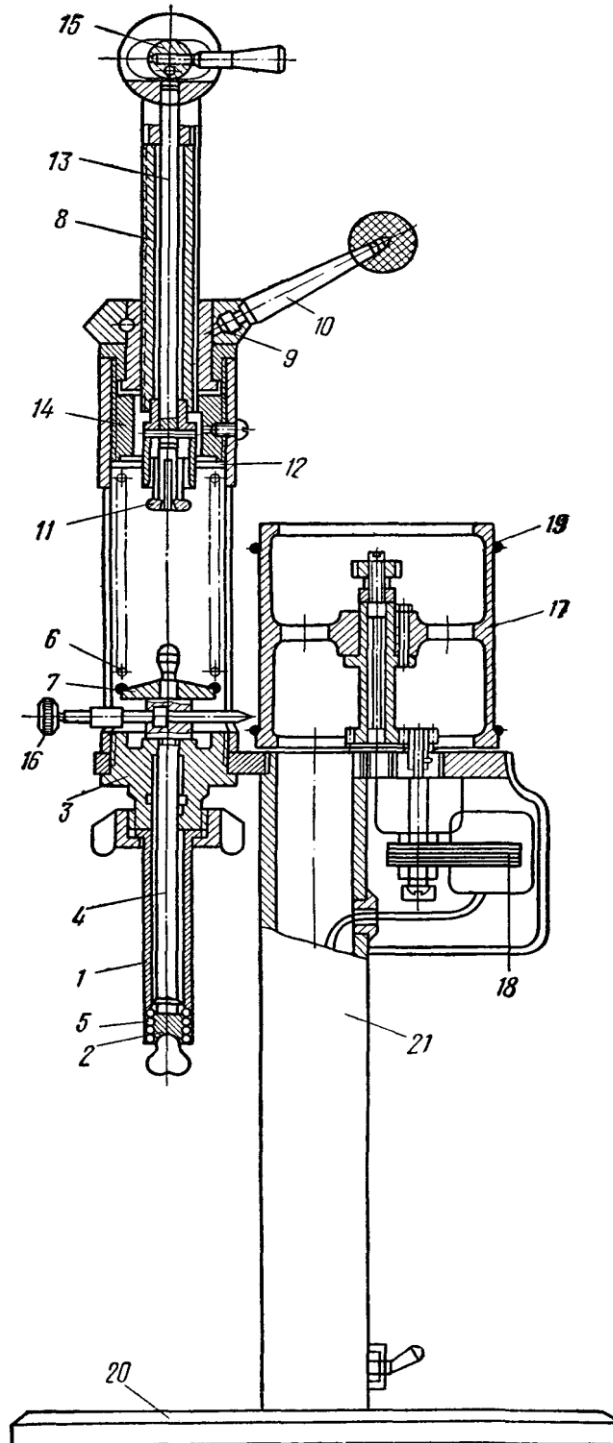


Рисунок 2.1 – Автоматичний капілярний віскозиметр

Через цю втулку проходить шток 4, що видавлює гіпсове тісто з камери 1 через спіральний капіляр 5, утворений камерою й пробкою. Шток рухається вниз під дією пружини 6. Пружина нижнім кінцем упирається на тарілку 7 і давить на шток. Перед випробуванням пружина стискується за допомогою гвинта 8, який може переміщатися по вертикальній осі за допомогою обертання втулки 9 з ручкою 10. Захоплення штока 4 за штир у його кінці проводиться цангою 11, утвинченої в нижній кінець гвинта 8 при його русі вниз. На початку випробування втулка 12 за допомогою стрижня 13, з'єданого із втулкою за допомогою шпильки 14, піднімається догори, звільняючи в такий спосіб цангу, і надає можливість штирю вислизнути із цанги під впливом стиснутої пружини. Для підйому втулки 12 служить ексцентрик 15. У шток 4 вставляється кінець олівця 16, який разом зі штоком може переміщатися по вертикальній осі приладу уздовж щілини труби й записувати на барабані 17 положення штока. Барабан приводиться в рух від синхронного моторчика 18. Запис олівцем виконується на аркуші паперу, закріпленому на барабані самописа двома гумовими кільцями 19. З'єднання віскозиметра із самописом здійснюється на загальній плиті 20, яка кріпиться на твердому штативі 21. До приладу додаються еталони кривих.

Наважку гіпсу вагою 100 г замішують довільною, але заздалегідь відомою кількістю води для того, щоб консистенція маси була, як у рідкої сметани. Гіпс в окремій чашці додають до води, одночасно включаючи секундомір, і швидко розмішують його знизу нагору протягом 30 с до одержання однорідної маси, після чого переносять її в камеру віскозиметра.

Камеру з'єднують із приладом, який заздалегідь приведений у робочий стан (шток піднятий до верхньої позначки, олівець торкається паперу, який поміщений на барабан). Через 2 хв від початку замішування поворотом кнопки включають моторчик барабана, що обертається, і відразу ж після цього (через 1 – 2 с) звільняють шток, який під дією пружини продавлює масу крізь циліндр. Потім камеру з капіляром розбирають, ретельно очищають від гіпсу йоржем і промивають водою. Після цього крива запису на папері зіставляється з набором еталонів кривих.

Обчислення нормальної густоти гіпсового тіста здійснюють за формулою

$$B/\Gamma_{\text{норм}} = B/\Gamma_{\text{факт}} - n,$$

де $B/\Gamma_{\text{факт}}$ – фактичне водогіпсове відношення випробуваного зразка; n – відхилення від нормальної густоти, зазначене на еталонній кривій, що збігається із записаною для випробуваного зразка.

За ТУ У 00030937.002–95 на медичний гіпс передбачається можливість визначення нормальної густоти розрахунковим шляхом за такою формулою

$$B = \left(1 - \frac{g}{\gamma \cdot 1000}\right) \cdot 100,$$

де B – нормальна густота, %; g – вага 1 л гіпсу в насипному стані, г; γ – питома вага.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.4. Визначення термінів тужавіння гіпсового тіста

Для визначення термінів тужавіння застосовують такий же прилад Віка, як і при випробуванні гідравлічних в'язучих речовин (рис. 2.2).

Прилад Віка складається із циліндричного стрижня 1, що вільно переміщується в обоймі станини 2. Стрижень закріплюють на потрібній висоті за допомогою затискного гвинта або іншого стопорного обладнання 3. Позначка 4 служить для відліку переміщення стрижня щодо шкали 5, прикріпленої до станини й розділеної на міліметри. Однак у випадку визначення термінів тужавіння гіпсових в'язучих вага всієї частини приладу, що переміщується, повинна дорівнювати 120 ± 1 , а не 300 г.

У металеву або порцелянову чашку наливають воду в кількості, що необхідна для одержання тіста нормальної густини, потім всипають попередньо відважені 200 г гіпсу й перемішують суміш за допомогою ложки або лопаточки. Усипати гіпс треба, по можливості, рівномірно протягом 30 с; перемішувати – також 30 с. Після цього масу виливають у

кільце приладу для визначення термінів тужавіння, надлишок зрізують ножом і їм же вирівнюють поверхню.

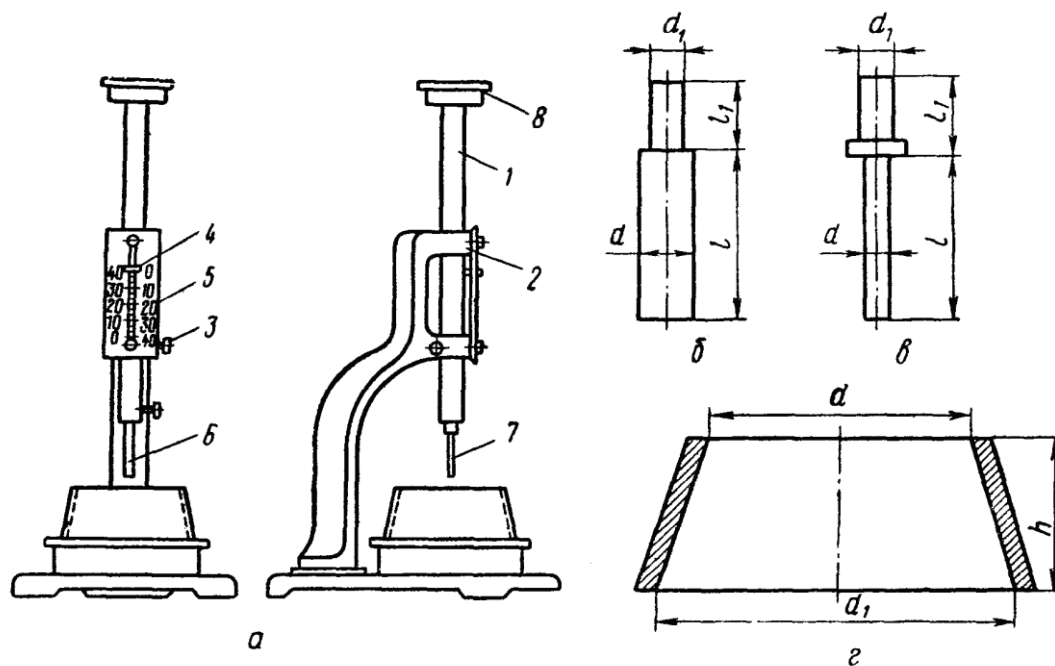


Рисунок 2.2 – Прилад для визначення нормальної густоти і термінів тужавіння
a – загальний вид; *б* – товкачик; *в* – голка; *г* – кільце до приладу.

Кільце поміщають під голку, яку опускають через кожні півхвилини, з таким розрахунком, щоб щораз голка поринала в нове місце. Після кожного занурення голку ретельно витирають.

При цьому відзначають два моменти: перший, коли голка перестає доходити до дна, й другий, коли голка опускається в тісто не більше ніж на 0,5 мм. Відповідно до цього, проміжок часу від початку додавання гіпсу у воду до того моменту, коли голка перестає доходити до дна, вважається початком тужавіння, а момент, коли голка опускається в тісто не більше ніж на 0,5 мм, – кінцем тужавіння.

Нормальну густоту й терміни тужавіння ангідритового в'язучого визначають так само, як і при випробуванні портландцементу. Нормальна густота ангідритового в'язучого коливається від 30 до 40 %.

Згідно з EN 13279-1:2008 визначається тільки **початок тужавіння високовипалювального гіпсу (естрих-гіпсу)**. Це визна-

чення виконують за допомогою приладу (рис. 2.2) з вантажем в 300 г при постійній кількості води замішування 30 %. Тісто готують шляхом замішування 400 г високовипалюваного гіпсу з 120 мл води й ретельного безперервного розтирання суміші в чашці або мішалці протягом 5 хв. Тісто укладають у кільце приладу й через кожні 20 хв опускають у нього голку. За початок тужавіння приймають час, коли голка не буде доходити до пластинки під кільцем на 1 мм. Терміни тужавіння гіпсових в'язучих відповідно до мінімальних вимог стандартів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Терміни тужавіння гіпсових в'язучих речовин за вимогами стандартів

Найменування матеріалу	Нормативний документ	Терміни тужавіння, год – хв		
		Початок, не раніше	Кінець, не пізніше	Кінець, не раніше
Будівельний гіпс	ДСТУ Б.В.2.7–82-99	0–04	0–30	0–06
Формувальний гіпс I сорт	ТУ 00030937003–95	0–08	0–25	0–15
II сорт		0–08	0–25	0–10
Медичний гіпс	ТУ У 00030937.002–95	0–04	0–10	–
Ангідритове в'язуче	ДСТУ Б В.2.7–91–99	0–30	24–00	–
Високовипалюваний гіпс	EN 13279–1:2008	2–00	–	–
Оздоблювальний гіпсовий цемент	ДСТУ Б В.2.7-91-99	1–00	12–00	–

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.5. Визначення кінця кристалізації

Для цього визначення беруть прилад (рис. 2.3), що складається з посуду Дьюара ємністю 500 мл або двох склянок, кулька з кальки або гумової чашечки й термометра до 100 °С із ціною поділки 1 °С, вставлений у пробку. Стаканчик ємністю 100 мл поміщають у склянку ємністю 400 – 500 мл; простір між обома склянками ізолюють азбестом або скловою.

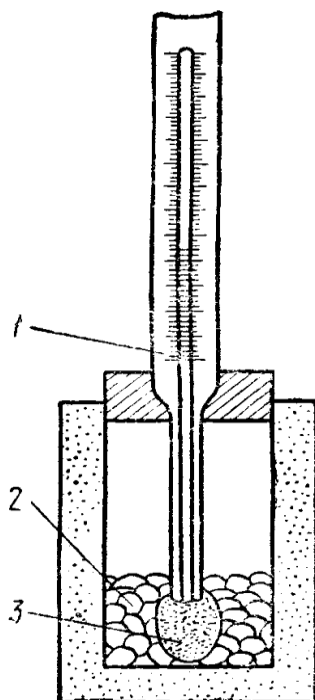


Рисунок 2.3 – Прилад для визначення кінця кристалізації будівельного гіпсу

1 – термометр; 2 скловата; 3 – кульок з гіпсовим тістом

Відважують 100 г гіпсу й всипають у чашку з водою, узятою в кількості, відповідній до нормальної густоти. Перемішування протягом 30 с роблять так само, як і при визначенні нормальної густоти будівельного гіпсу.

Потім близько 30 г маси переносять у кульок з кальки, який після цього розташовують у посуд Дьюара (або внутрішню склянку). Термометр уводять у середину маси, і посуд закривають корковою пробкою.

Щоб уникнути прилипання гіпсу, ртутну кульку термометра змазують вазеліном, і термометр відразу, після того як температура гіпсу підвищиться не менш ніж на 0,5 °С, злегка повертають.

Потім спостерігають за підвищенням температури гіпсу, фіксуючи показання термометра через кожні 30 с доти, поки температура гіпсу не почне знижуватися, що буде вказувати на закінчення кристалізації гіпсу, і відзначають час від початку замішування гіпсу до кінця його кристалізації (зниження температури).

Після закінчення випробування термометр обережно звільняють із гіпсу легким прокручуванням.

Час від початку замішування гіпсового тіста до кінця кристалізації гіпсу звичайно не перевищує 12 хв.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.6. Випробування рівномірності зміни об'єму

Із усіх гіпсових в'язучих це випробування передбачається тільки для ангідритового в'язучого. Рівномірність зміни об'єму ангідритового в'язучого визначають шляхом випробування сухої проби. Для цього беруть 800 г ангідритового в'язучого й виготовляють тісто нормальної густоти. Із цього тіста скачують на долоні шість кульок діаметром приблизно 4 см і готують із них коржі, для чого кульки поміщають на протерті машинним маслом скляні пластинки й постукують цими пластинками по краю стола. Кульки розпливаються в коржі діаметром приблизно 7 см і товщиною в центрі близько 1 см. Поверхню коржів згладжують змоченим водою ножем. Після витримання при кімнатній температурі протягом 24 год коржі поміщають на скляні пластинки термостата, де витримують 2 год при 115 – 120 °С.

Ангідритове в'язуче визнають доброякісним, якщо після витримання коржів у термостаті на них не виявиться тріщин, помітних неозброєним оком і в лупу, а також яких-небудь скривлень.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.7. Випробування міцності

Для визначення границі міцності при вигині та стиску (за ДСТУ Б В.2.7-82-99) **будівельного гіпсу** виготовляють три зразки-балочки розміром 4,0 × 4,0 × 16,0 см, для чого беруть наважку гіпсу 1 кг. Протягом 30 с гіпс засипають у чашку з водою, узятою в кількості, відповідній до нормальної густоти, перемішують протягом 1 хв ложкою до одержання однорідної маси, яку потім негайно заливають у металеві форми, попередньо злегка змазані машинним маслом. Наповнення всіх форм роблять одночасно, для чого чашку з гіпсом увесь час водять над фор-

мами, розливаючи гіпс тонким струменем. Після наповнення форм поверхню зразків згладжують. Через 1 год. від початку замішування зразки виймають із форм.

Зразки випробовують через 1,5 год. від початку замішування. Перед випробуванням зразки оглядають. Грані зразка-куба, що прилягають до плит преса, повинні бути паралельні й не повинні відхилятися від площини більш ніж на 0,5 мм. Зразки з дефектними гранями не випробовуються. Перед випробуванням роблять обмірювання зразків з точністю до 1 мм. Площу перетину зразка визначають за розмірами на середині його висоти.

Безпосередньо перед випробуванням поверхні зразків, що прилягають до плит преса, протирають сухою тканиною. Випробування слід виконувати на пресі потужністю не більш 15 т.

Спочатку зразок випробовують на вигин, а утворені половинки балочок випробовують на стиск. Зразок укладають на опорні подушки преса так, щоб стискаюча сила була спрямована паралельно шарам укладання гіпсового тіста у форму й щоб вертикальна вісь зразка проходила через центр шарніра плити преса. Навантаження при випробуванні повинне зростати безупинно й рівномірно зі швидкістю 0,2 – 0,3 МПа за секунду до руйнування зразка.

Границю міцності на стиск окремого зразка обчислюють як частку від розподілу величини руйнівного навантаження (Н) на величину робочої грані зразка (мм²). Обчислення ведуть із точністю до 1 МПа. Границю міцності гіпсу при стиску визначають як середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох зразків. У випадку, якщо найменший результат випробування одного із трьох зразків відрізняється більш ніж на 20 % від наступного більшого значення, обчислення середньої межі міцності роблять за двома найбільшим результатам.

Замість ручного перемішування гіпсового тіста доцільно застосовувати перемішування у лабораторній механізованій мішалці (рис. 2.4), що складається з опорної плити 1, стійки 2, електричного мотора 3, редуктора 4, на ведучій шестірні якого укріплений рамковий змішувач 5, чашки 6, що закріплюється затискачем 7.

Рамковий змішувач і чашку виготовляють із нержавіючої сталі. Змішувач обертається зі швидкістю 270 об/хв. Висота чашки 230 мм, а

внутрішній діаметр 118 мм. Мішалка обладнана електричним щитком 8, що має пускові кнопки. Реле часу налаштовують на роботу мішалки протягом 30 с.

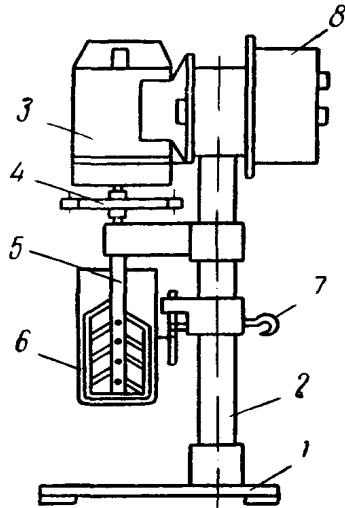


Рисунок 2.4 – Мішалка для приготування гіпсового тіста

Для випробування зразків балочок $4,0 \times 4,0 \times 16,0$ см при вигині Д. А. Рояком була сконструйована автоматизована розривна машина МП-100. Границя міцності при вигині балочки на прольоті 100 мм фіксується лічильником. Ціна поділки цифрового барабана лічильника 0,01 МПа. Швидкість зростання навантаження 0,5 МПа.

Навантаження зразка-балочки (рис. 2.5), установлені в захватах 1, відбувається за рахунок переміщення тарованого вантажу 2 по напрямних коромисла 3. Зусилля від коромисла передається захвату через сергу 4 і вантажний важіль 5. Число обертів лічильника 6 пропорційне переміщенням вантажу по напрямних коромисла й навантаженню на зразок. Лічильник у кожний даний момент часу фіксує напругу вигину (МПа). У момент руйнування зразка коромисло падає, ударяючись хвістком 7 по шайбі 8 гідравлічного пружинного амортизатора 9. Електродвигун при цьому зупиняється й на лічильнику фіксується результат випробування. Робочий діапазон вимірів складає 2 – 10 МПа. Якщо границя міцності зразка перевищує граничне навантаження, то переміщення вантажу автоматично припиняється. Керування машиною проводиться за допомогою рукоятки тумблера 10.

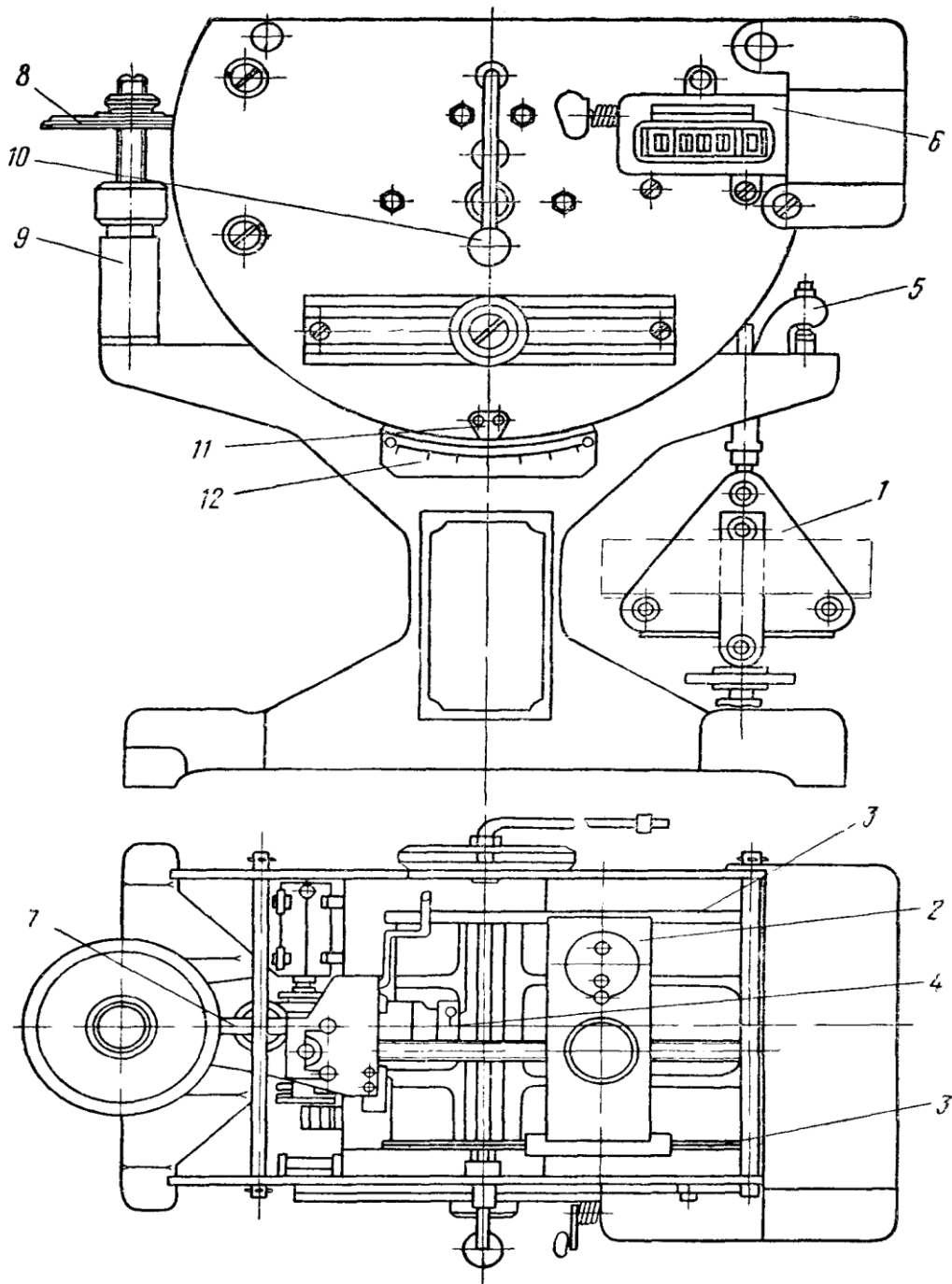


Рисунок 2.5 – Розривна машина МП-100

Зразки-балочки випробовують через 1,5 год на вигин на приладі МП-100. Границю міцності при вигині гіпсового зразка обчислюють як середнє арифметичне значення двох найбільших результатів випробувань трьох зразків.

Отримані після випробування на вигин шість половинок балочок випробовують на стиск.

Враховуючи малі розміри зразків, рекомендується обладнати преси опорними плитами розміром не більш 10×10 см із пристосуванням для центрованої установки пластинки, що передає навантаження половинці балочки. Кожну половинку балочки поміщають між двома пластинками таким чином, щоб бічні грані, які при виготовленні прилягали до поздовжніх стінок форми, перебували на площинах пластинок, а упори пластинок щільно прилягали до торцевої гладкої стінки зразка. Границю міцності при стиску окремого зразка обчислюють як частку від поділу величини руйнуючого навантаження (Н) на робочу площу пластинки (мм^2), тобто на 2500 мм^2 .

До формувального гіпсу й до високоміцного формувального гіпсу, інакше називаного технічним гіпсом, висувають вимоги відносно міцності на стиск і на розтягнення.

При проведенні випробування міцності на розтягнення на кожний термін виготовляють по 6 зразків у вигляді вісімок, для чого в металеву або порцелянову чашку наливають відміряну кількість води, необхідну для одержання тіста нормальної густоти (розпливання коржа 18 см) з 600 г гіпсу. Потім протягом 30 с у воду всипають попередньо відважений гіпс (600 г), після чого масу ретельно перемішують ще 30 с і відразу ж заповнюють гіпсовою масою шість рознімних форм-вісімок таких же розмірів, як і для випробувань цементу. Форми попередньо змазують машинним маслом і розташовують на не поглинаючій воду підбивці. Усі форми треба наповнювати одночасно, для чого чашку з гіпсом увесь час водять над формами, розливаючи гіпс тонким струменем. Після наповнення форм поверхню зразків вирівнюють, зрізуючи надлишок тіста ножем, протертим вологої тканиною. Через годину від початку замішування або відразу після закінчення кристалізації гіпсового тіста зразки звільняють від форм і ставлять на ребро на відкриті полки в сухому й теплому приміщенні. Три зразки випробовують через 1 добу від початку замішування. Інші три зразки після одногодинного витримання звільняють від форм, поміщають у сушильну шафу й висушують при температурі $45 - 55 \text{ }^\circ\text{C}$ до постійної ваги.

Випробування зразків на розтягнення виконують на важільному приладі Міхаеліса (рис. 2.6), що складається із чавунної плити 1 із циліндричною стійкою 2 , що підтримує систему із двох важелів 3 і 4 ,

з'єднаних спеціальною сергою 5. Важіль першого роду 3 з пересувною противагою 6 є основним; від правильності його зрівноважування залежить точність результатів. На довгому кінці важеля 3 підвішують цебро 7, яке наповнюють дробом (діаметром до 2,5 мм) для створення розривного зусилля в зразку-вісімці. Вага цебра не повинна перевищувати 600 гс. До нижнього важеля 4 другого роду підвішують верхній захват 8 для кріплення зразка. Нижній захват 9 з'єднано із гвинтом 10, укріпленим у плиті 1. Дріб подають у цебро 7 з резервуара 11, що має засувку 12 і пристосування 13, що автоматично припиняє доступ дробу в момент розриву зразка. Верхній важіль 3 повинен мати співвідношення плечей 1:10, а нижній важіль 4 – 1 : 5. Співвідношення довжини плечей системи важелів дорівнює 1 : 50.

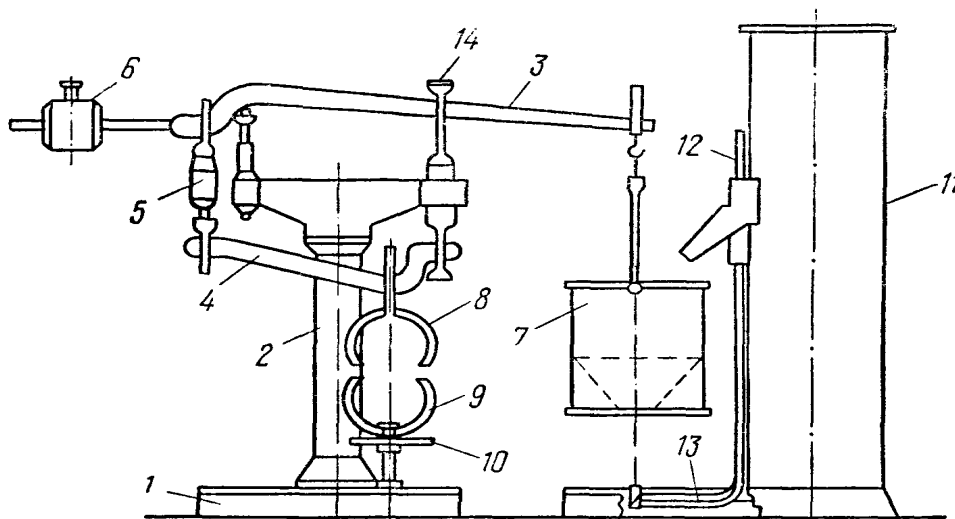


Рисунок 2.6 – Прилад Міхаеліса для випробування на розтягнення зі співвідношенням плечей 1 : 50

Вісімки, що мають міцність на розтягнення менш 1 МПа, рекомендується випробовувати на приладі з одним важелем, співвідношення плечей якого дорівнює 1 : 10.

Перед випробуванням перевіряють опори, знімають цебро 7 і, пересуваючи вантаж 6, установлюють верхню поверхню важеля 3 на рису, нанесену на внутрішній частині скоби 14. Потім на верхній важіль вішають рейтер, закладають вісімку в захвати 8 і 9, після чого обертанням гвинта 10 піднімають важіль 3 разом з рейтером на таку висоту, щоб в момент розриву верхня поверхня важеля перебувала по можливості на

рівні риси. Вага рейтера повинна бути близько 50 г. Після цього цебро вішають і потім з важеля знімають рейтер. Останній дає можливість підтягнути верхній важіль до риси без поштовхів, від яких слабкі зразки можуть руйнуватися.

Зразок при випробуванні треба вставляти в захвати так, щоб його плоскі грані збігалися із плоскими поверхнями верхнього й нижнього захватів. Не слід допускати влучення зерен піску між бічною поверхнею зразка й захватами приладу. На зразку не має бути задирок.

Після підготовки приладу й установа вісімки засувку 12 відкривають і цебро навантажують дробом. Коли вага дробу разом із цебром досягне ваги руйнуючого вантажу, зразок руйнується, а цебро падає на важільне пристосування 13, і тим самим висипання дробу припиняється. Швидкість висипання дробу повинна становити 100 ± 10 г/с; цей показник необхідно щодня перевіряти й записувати в журнал. Подачу дробу регулюють, пересуваючи засувку 12 нагору або вниз.

Для визначення границі міцності при розтягненні цебро із дробом, що перебуває в ньому, зважують із точністю до 10 г, результат зважування множать на 0,1 – у випадку застосування приладу зі співвідношенням плечей 1 : 50 і на 0,02 – у випадку роботи на приладі з одним важелем при співвідношенні плечей 1 : 10, виходячи з наступного розрахунку:

$$R_{\text{розт}} = \frac{P \cdot 50}{500} = 0,1P; \quad R_{\text{розт}} = \frac{P \cdot 10}{500} = 0,02P,$$

де $R_{\text{розт}}$ – межа міцності при розтягненні, МПа; P – вага цебра із дробом, кгс; 500 – площа поперечного перерізу тонкої частини шейки вісімки, мм².

Для випробування міцності на стиск виготовляють 12 зразків – кубів розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см. Для цього наважку гіпсу 3 кг протягом 30 с засипають у чашку з водою, узятую в кількості, відповідній до робочої густоти (розпливання коржа 18 см), перемішують протягом 10 хв. ложкою до одержання однорідної маси, яку потім заливають у форми, попередньо злегка змазані машинним маслом.

Через 1 годину від початку замішування або відразу після закінчення кристалізації гіпсового тіста зразки виймають із форм.

Шість зразків випробовують через 1 добу від початку замішування, інші шість зразків – після висушування в сушильній шафі при температурі 50 – 55 °С до постійної ваги.

Зразки для випробування міцності **ангідритового в'язучого** готують із розчину твердої консистенції з піском (1 : 3) аналогічно зразкам для випробування гідравлічних в'язучих з тою різницею, що зразки з ангідритового в'язучого витримують на повітрі при кімнатній температурі (15 – 20 °С). При випробуванні міцності високовипалюваного гіпсу (естрих-гіпсу) зразки виготовляють із гіпсового тіста (1 : 0) з постійним водогіпсовим відношенням, що дорівнює 0,30. Високовипалюваний гіпс ретельно змішують із водою протягом 10 хв до утворення пластичної маси. При перемішуванні вручну на одну заготовку беруть не більш 2 кг високовипалюваного гіпсу. Тісто вминають у форми ложкою й дають твердіти 2 доби, після чого зразки звільняють від форм і витримують у приміщенні з відносною вологістю не менш 70 – 80 % при температурі 15 – 20 °С до моменту випробування.

У технічних умовах передбачені факультативні випробування міцності на стиск високовипалюваного гіпсу в трамбованих зразках. Для цієї мети тісто укладають у форми з насадками для кубів. Висота шару тіста повинна бути не менш 9 см. Через 20 год після замішування масу, що схопилась, вручну трамбують у формах за допомогою металевої або дерев'яної трамбівки до того моменту, коли маса знову набуває пластичного стану. Потім насадку знімають і поверхню зразків загладжують. Після 2 діб твердіння зразки розформовують і витримують до випробування в тих же умовах, що й пластичні зразки.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.8. Визначення об'ємних змін при твердінні

При твердінні гіпс збільшується в об'ємі (розширюється). На відміну від портландцементу, де зміна об'єму відбувається протягом досить тривалого часу, розширення гіпсу закінчується незабаром після кінця тужавіння. У деяких випадках збільшенню об'єму передують усадка гіпсу.

Розширення гіпсу можна вимірювати за допомогою приладу (рис. 2.7) системи ДОІ, що складається зі штатива 1 з укріпленням на ньому індикатором 2, що пересуваються по вертикалі за допомогою кремаль'єри 3, рознімного металевого циліндра 4 з дном, що вигвинчується і накладною кришкою. Циліндр має діаметр 50 мм, висоту 100 мм і може бути розрізаний по твірній на дві рівні частини, які скріплюються в центрі кільцем і внизу дном, що вигвинчується. Завдяки рознімним стінкам зразки легко витягають із циліндра після випробування.

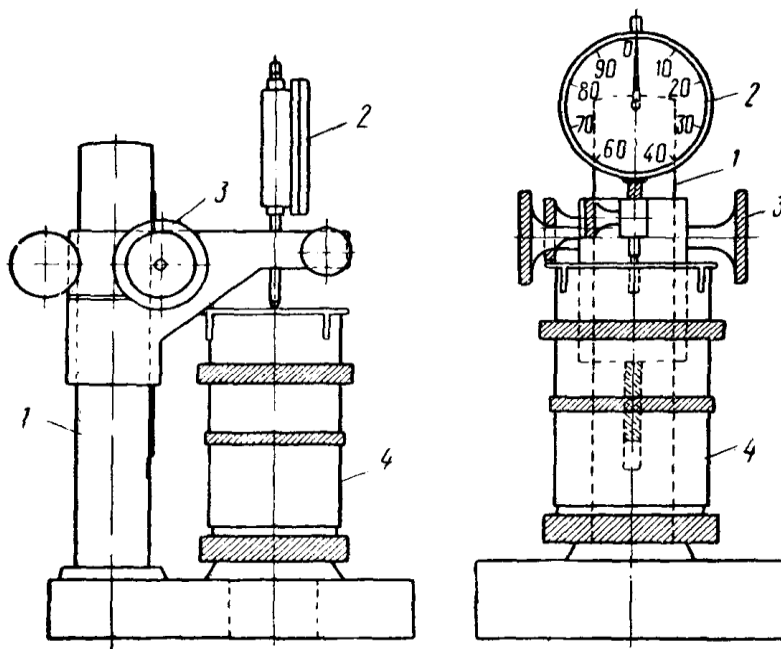


Рисунок 2.7 – Прилад для вимірювання розширення гіпсу

Стінки циліндра зсередини змазують вазеліном і потім туди наливають зачинений водою гіпс. Після цього циліндр закривають кришкою й встановлюють на опорну плиту штатива. Стрижень індикатора за допомогою кремаль'єри приводять у зіткнення із кришкою циліндра. У міру розширення напівводного гіпсу в процесі гідратації кришка піднімається й давить на стрижень індикатора, пересуваючи його у вертикальному напрямку. Величину переміщення відраховують на шкалі індикатора із ціною поділки 0,01 мм. Визначення ведуть одночасно на двох приладах упродовж 2 год і як результат беруть середнє із двох вимірів. Об'ємне розширення вилівка формувального гіпсу не повинне перевищувати 0,15 %, а технічного – 0,2 %.

До недоліків методу слід віднести те, що гіпс, будучи затиснутий у металевій обоймі, не має можливості вільно розширюватися у всіх напрямках.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

2.9. Визначення водостійкості будівельного гіпсу

Водостійкість затверділого будівельного гіпсу визначають шляхом занурення зразків у воду після однодобового твердіння на повітрі або після висушування до постійної ваги. Вид і розмір зразків можуть бути різними. Термін витримування їх у воді 24 години, 7 і 28 діб. Після витягування зразків з води їх випробовують і за зниженням міцності визначають водостійкість будівельного гіпсу. Звичайно водостійкість виражають коефіцієнтом розм'якшення або водостійкості, що являє собою відношення міцності зразків після витримування у воді до їхньої міцності до занурення у воду. Якщо коефіцієнт розм'якшення матеріалу менше 0.8, то його звичайно прийнято вважати неводостійким.

Іноді частину вийнятих з води зразків піддають сушінню до постійної ваги для того, щоб визначити, чи відновлюється загублена міцність при наступному висушуванні.

Існує спосіб випробування водостійкості гіпсу й у проточній воді. Зразки поміщають у посуд, куди з визначеною швидкістю подають воду, яка впливає з посуду також з відомою швидкістю, й у такий спосіб створюється безперервний струм води.

В окремих випадках доцільно випробовувати стійкість гіпсових виробів при змінному насиченні їх водою й висушуванні. При цьому висушені до постійної ваги зразки занурюють у воду на $1/3$ їх висоти. Через 4 години доливають воду до такого рівня, щоб зразки виявилися зануреними у воду на $2/3$ висоти, й витримують їх ще 4 години. Потім зразки повністю занурюють у воду так, щоб шар води над ними дорівнював 1 – 2 см. Після закінчення 16 годин такого зберігання зразки витягають із води й висушують до постійної ваги при температурі 50 – 55 °С. Після багаторазового змінного насичення й висушування (15 – 20 разів) зразки випробовують як у насиченому водою стані, так і після висушування. За показник стійкості гіпсу беруть відношення міцності зразків після бага-

торазового насичення й висушування до міцності зразків до першого занурення у воду.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Матеріали й апаратура для фізико-механічних випробувань гіпсових матеріалів. Випробувана гіпсова в'язуча речовина; стандартний вольський пісок; машинне масло; дріб діаметром до 2,5 мм; безводний бензин, або бензол; фільтрувальний папір; вазелін; сита № 09, № 02, № 008; віскозиметр Сутгарда; автоматичний капілярний віскозиметр АКВ-3; ваги чашкові з важками до них; мірні циліндри; пісковий годинник; ніж; металева чашка сферичної форми; порцелянова чашка; сталева лопаточка або ложка; секундомір; годинник; прилад для визначення нормальної густоти й термінів тужавіння; прилад для визначення кінця кристалізації; скляні або металеві пластинки; прилад для випробування на вигин; форми для виготовлення зразків-балочок, кубів і вісімок; металева дошка; насадки, сердечники й підставки під форми; копер; сушильна шафа; гідравлічний прес; термометри; прилад для випробування на розтягнення; лабораторна механізована мішалка; ваги пружинні; металеві штампи для нумерації зразків; водяний термостат; прилад для визначення питомої ваги; скляні банки; штатив; ексікатор; ложечка або совочок; дріт; прилад для вимірювання розширення гіпсу, що твердіє.

Контрольні питання

1. Що собою являють гіпсові в'язучі?
2. Класифікація гіпсових в'язучих.
3. Сировина для виробництва гіпсових в'язучих.
4. Види безвипалювальних в'язучих матеріалів.
5. Види низьковипалювальних гіпсових в'язучих.
6. Види високовипалювальних гіпсових в'язучих.
7. Ресурсоощадна технологія гіпсових в'язучих.
8. Галузі застосування гіпсових в'язучих.
9. Визначення нормальної густини гіпсового тіста.
10. Який прилад застосовується для визначення термінів тужавіння гіпсового в'язучого?
11. Виготовлення зразків із гіпсового в'язучого для визначення границі міцності на стиск та вигин.

3. ВАПНО

Повітряним вапном називається в'язуче, отримане помірним випаленням (що не доводить до спікання) карбонатних порід, які містять до 8 мас. % глинистих домішок. Розрізняють такі види вапна:

- а) **негашене грудкове** – продукт випалення карбонатних порід;
- б) **негашене мелене** – продукт помелу грудкового вапна;
- в) **гідратна пухнянка** – порошкоподібний продукт гідратації негашеного вапна.

Повітряне вапно забезпечує тверднення і збереження міцності будівельних розчинів у повітряно-сухих умовах.

Для виробництва вапна застосовують гірські породи, що складаються з карбонату кальцію, який зустрічається у природі у вигляді двох модифікацій: кальциту і арагоніту.

Високодисперсний кремнезем і глинисті домішки при їх вмісті до 5 – 7 мас. % і правильно вибраному режимі випалення не знижують якості вапна, тоді як домішки гіпсу і піриту небажані, оскільки викликають появу легкоплавкої евтектики.

При вмісті глинистих домішок від 8 до 25 мас. % вапняки називаються мергелястими, при вмісті карбонату магнію від 5 до 20 мас.% – доломітизованими і від 25 до 45 мас.% – доломітом.

Карбонатні породи, що використовуються для виробництва вапна, за хімічним складом розділяються на сім класів, а оскільки найбільш характерною є присутність у карбонатах $MgCO_3$, то у зв'язку з цим розрізняють наступні види вапна: маломagneзіальне (MgO – до 5 мас. %), магнезіальне (MgO – до 20 мас. %), доломітове (MgO – до 40 мас. %).

3.1. Визначення тонкості помелу вапна

Пробу порошкового вапна, попередньо висушену до постійної ваги при 105 – 110 °С, у кількості 50 г просівають крізь сито № 02 і № 008. Просіювання вважається закінченим, якщо при додатковому просіюванні протягом 1 хв крізь зазначене сито проходить не більш 0,1 г. Залишок на ситі (г), помножений на 2, відповідає вмісту зерен даної крупності (%).

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.2. Визначення часу гасіння повітряного вапна

Це визначення проводиться в посудині Дьюара ємністю 500 мл, яку поміщають у посудину більшого розміру (на 40 – 60 мл перевищуючий розміри посуду Дьюара). Простір між стінками й дном посудини Дьюара й зовнішнього посудину заповнюють термоізоляційним матеріалом (азбестом, мінеральною ватою тощо).

Здрібнене вапно вагою 10 г поміщають у посудину Дьюара, вливають у неї 20 мл води з температурою 20 °С і закривають пробкою, у якій щільно встановлений термометр зі шкалою до 150 °С; довжина нижньої (хвостової) частини термометра 100 – 150 мм. При цьому стежать за тим, щоб ртутна кулька термометра була занурена в реагуючу суміш. Суміш збовтують і дають спокій. З моменту вливання води через кожні 30 с відзначають температуру вапна, що гаситься. Спостереження ведуть до досягнення максимальної температури й початку падіння її. За час гасіння беруть час від моменту вливання води до вапна до початку зниження максимальної температури.

Час гасіння для всіх сортів негашеного вапна, що швидко гаситься, має становити не більш 8 хв., для вапна, що середньо гаситься, – не більш 25 хв. і для вапна, що повільно гаситься, – не менш 25 хв.

Залежно від температури гасіння грудкове вапно поділяється на низькоекзотермічне – з температурою гасіння нижче 70 °С і високоекзотермічне – з температурою гасіння вище 70 °С.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.3. Визначення вологості гідратного вапна

Гідратне вапно (пухнянку) вагою 10 г поміщають у склянку для зважування й витримують у сушильній шафі при температурі 105 – 110 °С до постійної ваги. Склянку для зважування в процесі сушіння поміщають під лійку. Перше зважування роблять після нагрівання протягом 2 год., повторні зважування – через кожні 40 хв. Перед зважуванням склянку з наважкою охолоджують в ексікаторі протягом 20 хв.

Вологість вапна визначають за формулою

$$W = \frac{G - G_1}{G} \cdot 100 \%,$$

де G – наважка вапна, г; G_1 – вага вапна, висушеного до постійної ваги, г.

Технічні умови на гідратне вапно наведені в табл. 3.1.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Таблиця 3.1 – Технічні умови на гідратне вапно (пухнянку)

Показники	Гідратне вапно, сорти	
	1	2
Вміст активних CaO + MgO у вапні, не менш, %:		
без добавок	67	60
з добавками	50	40
Вміст CO ₂ , не більш, %	3	5
Вологість, не більш, %	5	5
Дисперсність:		
залишок на ситі № 063, не більш, %	2	2
залишок на ситі № 008, не більш, %	10	10

3.4. Визначення вмісту непогашених зерен

Наважку вапняного тіста, що відповідає 1 кг негашеного вапна, готують і витримують протягом 24 годин, розбавляють водою до консистенції вапняного молока й поступово переносять на сито № 063, одночасно безупинно промиваючи наважку слабким струменем води. Залишок на ситі висушують при температурі 105 – 110 °С до постійної ваги. Отриманий осад (г), ділений на 10, дає вміст (%) непогашених зерен.

Технічні умови на негашене повітряне вапно наведені в табл. 3.2.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.5. Визначення виходу вапняного тіста

Наважку 5 г негашеного грудкового вапна розбивають на шматки

величиною до 2 см, кладуть у попередньо зважений дерев'яний ящик, обшитий зсередини оцинкованою листовою сталлю; площа дна ящика 1000 см², висота 40 см.

Таблиця 3.2 – Технічні умови на негашене повітряне вапно

Показники	Вапно					
	Кальцієве, сорту			Магnezіальне і доломітове, сорту		
	1	2	3	1	2	3
Вміст активних CaO + MgO у вапні, не менш, %:						
без добавок	90	80	70	85	75	65
з добавками	64	52	–	64	52	–
Вміст активного MgO, не більш, %				20	20	20
	5	5	5	(40)*	(40)*	(40)
Вміст CO ₂ , не більш, %.	3	5	8	5	8	11
Вміст непогашених зерен у грудковому вапні, не більш, %	7	10	12	10	15	20
Втрата при прожарюванні, не більш, %	5	7	10	7	10	13
Тонкість помелу:						
залишок на ситі № 02, не більш, %	1	1	1	1	1	1
залишок на ситі № 008, не більш, %	10	10	10	10	10	10

*У дужках зазначений вміст MgO для доломітового вапна.

Вапно заливають водою з температурою 15 – 20 °С; кількість води залежить від швидкості гасіння вапна: для вапна, що швидко гаситься, з високим вмістом оксиду кальцію вливається 10 – 12 л води; для вапна, що середньо гаситься, 8 – 10 л; для вапна, що повільно гаситься, вода додається в кількості, необхідній для змочування шматків.

Для повного гасіння всіх часток і для одержання однорідного тіста вапно в процесі гасіння перемішують; в міру потреби доливають невеликими порціями воду, зберігаючи надлишковий шар її над рівнем тіста висотою не менш 2 см. Для захисту вапна від охолодження ящик при гасінні прикривають кришкою. Через 24 год кришку знімають, зливають воду й вимірюють висоту шару тіста в ящику. Кожний 1 см висоти шару

тіста відповідає 1 л тіста. Частка від поділу об'єму вапняного тіста на 5 дає вихід тіста (л/кг).

Звичайно вихід вапняного тіста коливається в межах $1,6 \div 2,5$ л/кг вапна.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.6. Визначення об'ємної ваги вапняного тіста

Це визначення проводиться шляхом зважування вапняного тіста в об'ємі 1 л. Спочатку визначають вагу попередньо висушеного посуду ємністю 1 л, потім посуд наповнюють при легкому струшуванні вапняним тістом. Надлишок тіста зрізують ножом урівень із краями посуду. Посуд з вапняним тістом зважують із точністю до 5 г.

Об'ємну вагу вапняного тесту визначають як середнє арифметичне із трьох зважувань посуду з вапняним тістом за винятком ваги самого посуду. Зазвичай вона становить $1300\text{--}1400$ кг/м³.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.7. Визначення рівномірності зміни об'єму вапна

Результати цього визначення дозволяють оцінити вапно відносно можливості появи в автоклавних виробках і при проведенні будівельних робіт «видутків», тріщин і інших дефектів.

Вапно повітряне. Рівномірність зміни об'єму вапна визначається на тісті нормальної густоти. Нормальною густотою вапняного тіста називають таку його консистенцію, при якій товкачик приладу Віка, що поринає в кільце, заповнене тістом, не доходить на 7 – 11 мм до пластинки, на якій установлено кільце.

Нормальна густота вапняного тіста характеризується кількістю води замішування, вираженій у відсотках від ваги вапна.

Для визначення нормальної густоти на технічних вагах відважують 200 г меленого вапна, висипають його у чашку, попередньо протерту вологою тканиною, роблять у вапні поглиблення, у яке вливають воду. Після додавання води поглиблення засипають вапном і обережно пе-

ремішують. Воду доливають невеликими порціями і тісто енергійно розтирають лопаткою.

Після зниження температури тіста до 20 – 25 °С наповнюють ним кільце і 5 – 6 разів струшують його, постукуючи пластинкою об стіл. Потім поверхню тіста вирівнюють із краями кільця, зрізуючи надлишок тіста ножем, протертим вологою тканиною. Товкачик приладу доводять до зіткнення з поверхнею тіста в центрі кільця, а стрижень закріплюють затискним гвинтом, після чого швидко, відгвинчуючи закріпний гвинт, звільняють стрижень і змушують товкачик вільно поринати в тісто. Через 30 с з моменту звільнення стрижня роблять відлік занурення по шкалі. Кільце з тістом не повинне зазнати поштовхів.

При невідповідній консистенції вапняного тіста змінюють кількість води й знову зачиняють тісто, домагаючись занурення товкачика на необхідну глибину. Кількість води, що додається, для одержання тіста нормальної густоти, виражене у відсотках від ваги вапна, визначають із точністю до 0,25 %.

Для визначення рівномірності зміни об'єму вапна з тіста нормальної густоти готують 4 коржі, для чого на скляну пластинку, попередньо протерту маслом, укладають тісто рівними порціями. Коржі повинні мати діаметр 7 – 8 см і висоту 1 см. Для одержання гострих країв і гладкої закругленої поверхні коржі загладжують від зовнішніх країв до центра змоченим водою ножем.

Приготовлені 4 коржі зберігають протягом 24 ± 2 год. у ванні з гідралічним затвором. Коржі, виготовлені з кальцієвого вапна, виймають із ванни й поміщають у бачок з водою на решітку. Бачок на 3/4 заливують водою, потім воду доводять до кипіння. Кипіння підтримують протягом 4 год., після чого коржі в бачку охолоджують до кімнатної температури й одразу виконують їх зовнішній огляд.

Коржі, виготовлені на доломітовому і магнезійному вапні, виймають із ванни й піддають автоклавній обробці при 8 ат із витримкою 8 год. Також випробовують і кальцієве вапно, яке використовується для виготовлення силікатних бетонів.

За методикою, розробленою НДІБудом, визначення рівномірності зміни об'єму повітряного вапна проводиться на суміші вапна й портландцементу у співвідношенні 1 : 1. При цьому для одержання тіста норма-

льної густоти спочатку вапно замішують водою, витримують масу до зниження температури не більш ніж на 20 – 25 °С, додають портландцемент і решту кількості води й перемішують протягом 5 хв. Водотверде відношення залежно від властивостей вапна коливається в межах від 0,35 до 1,0.

Вапно гідравлічне. Рівномірність зміни об'єму слабогідравлічного вапна з добавкою цементу визначається так само, як і повітряного вапна. Випробування сильногідравлічного вапна проводиться без добавок цементу.

Випробування на рівномірність зміни об'єму вапна як повітряного, так і гідравлічного вважається витриманим, якщо на лицьовій стороні коржів не виявляється радіальних тріщин, що доходять до країв, або сітки дрібних тріщин, а також яких-небудь скривлень, установлюваних за допомогою лінійки, що прикладається до плоскої поверхні коржа.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.8. Визначення термінів тужавіння в'язучого на основі вапна

Для визначення термінів тужавіння в'язучого на основі вапна готують тісто нормальної густоти й укладають його в кільце приладу Віка. Голку приладу доводять до зіткнення з поверхнею тіста, стрижень закріплюють гвинтом, після чого, відгвинчуючи гвинт, звільняють стрижень і дають голці вільно поринати в тісто. На початку досліджу, поки тісто настільки рідке, що можна побоюватися сильного удару голки об пластинку, голку при зануренні слід злегка затримувати; як тільки тісто загустіє, голці дають вільно опускатися.

Голку занурюють у тісто через кожні 5 хв. до початку тужавіння й із проміжками в 30 хв. після цього; при цьому кільце щораз пересувають для того, щоб голка попадала в різні місця. Після витягання голки з тіста її слід витирати. За початок тужавіння беруть час, що перебігає від початку замішування в'язучого на основі вапна водою до того моменту, коли голка буде опускатися в тісто не більше ніж на 1 мм. Терміни тужавіння визначають при температурі 20 ± 5 °С, причому кільце повинне перебувати в затемненому місці й не зазнавати дії протягів.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

3.9. Визначення міцності гідралічного вапна й в'язучого на його основі

Це визначення виконують аналогічно випробуванню портландцементу в зразках з розчину пластичної консистенції з наступними змінами.

Приготовлений розчин для виготовлення зразків укладають у два шари у форми для виготовлення кубів розмірами $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см.

Ущільнюють розчин шляхом його вібрування на вібротрампаці або (за відсутності вібротрампаці) за допомогою шпателя: призматичним кінцем шпателя роблять шість паралельних натисків по всій площі шару, причому щораз шпатель зрушують на відстань, що дорівнює його товщині; після кожних шести натисків шпатель повертають на 90° ; перед кожним натиском шпатель доводять до зіткнення з розчином. Ущільнювати розчин ударами шпателя не дозволяється.

Через 15 – 20 хв. після укладання надлишок розчинної суміші знімають ножем і поверхню зразків згладжують урівень із краями форми. Через 24 ± 2 год. після виготовлення зразки звільняють від форм.

Зразки у формах зберігають протягом 24 год. у ванні з гідралічним затвором, потім зразки звільняють від форм і поміщають у ванну над водою на 6 діб, а потім на 21 добу занурюють у воду так, щоб рівень води у ванні був на 2 см вищий від зразків.

Через 28 діб зразки виймають із води, насухо витирають і не пізніше ніж через 10 хв. випробовують.

Технічні умови на гідралічне вапно наведені в табл. 3.3.

За результатами виконаних досліджень роблять висновки.

3.10. Визначення міцності повітряного вапна

У стандарті не передбачаються вимоги відносно міцності повітряного вапна. Однак іноді доводиться проводити такого роду випробування.

Вапно гасять так само, як і при визначенні виходу тіста; при витримуванні вапняного тіста на його поверхні з'являються тріщини від усушки. Готове тісто зазвичай містить 40 – 50 % води.

Таблиця 3.3 – Технічні умови на гідралічне вапно

Показники	Вапно	
	Слабогідралічне	Сильногідралічне
Вміст активних CaO + MgO, %:		
не менш	15	1
не більш	60	15
Вміст активного MgO, не більш, %	5	5
Вміст CO ₂ , не більш, %	7	5
Втрати при прожарюванні, не більш, %	9	7
Межа міцності при стиску зразків, не менш, кгс/см ² :		
через 7 діб	–	10
через 28 діб	20	50
Тонкість помелу:		
залишок на ситі № 02, не більш, %	1	1
залишок на ситі № 008, не більш, %	10	10

Вапняне тісто змішують із нормальним піском, причому на 1 ваг.ч. вапна беруть 3 або 4 ваг.ч. піску. З отриманого розчину пластичної або твердої консистенції готують стандартні зразки за описаними вище способами. Зразки випробовують через 28 діб і в більш пізній термін.

Випробуванню міцності меленого негашеного вапна передуює визначення нормальної густоти вапняного тіста (суміші вапна з водою без домішки піску). За нормальну густоту беруть ту мінімальну кількість води, при якій коржі не дають тріщин, що вказує на рівномірність зміни об'єму.

Визначення межі міцності при стиску зразків роблять у розчинах пластичної консистенції за раніше описаним методом з наступними доповненнями.

Воду для виготовлення розчинної суміші беруть у кількості, відповідній до нормальної густоти вапняного тіста. У чашку з водою насипають 600 г випробуваного вапна й 1800 г нормального піску, потім вміст чашки перемішують металевою ложкою доти, поки рухливість розчину не буде відповідати розпливанню конусу за ДСТУ Б В.2.7-90-99.

Форми заповнюють розчином у два шари товщиною близько 4 см. Розчинну суміш ущільнюють 24 натисками шпателя; після кожних 6 натисків шпатель повертають у руці на 90°. Через 15 – 20 хв. після укла-

дання розчину надлишок розчинної суміші знімають ножом і поверхню зразка загладжують урівень із краями форми. Через 24 ± 2 год. після виготовлення зразки витягають із форм. Вийняті з форм зразки зберігають у повітряновологих умовах до випробування (через 28 діб).

Випробування міцності в'язучого на основі вапна проводяться аналогічно випробуванню міцності гідравлічного вапна.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Матеріали й апаратура для випробування вапна. Випробуване вапно; стандартний вольський пісок; мінеральна вата або азбест; машинне масло; сита № 09, № 063, № 02 і № 008; посудина Дьюара ємністю 500 мл; мірні циліндри; посуд ємністю 1 л; термометри; секундоміри; годинник; дерев'яний ящик, обшитий зсередини оцинкованою листовою сталлю; металева вимірювальна лінійка; сушильна шафа; струшувальний столик з формою-конусом; форми для виготовлення зразків; насадки, сердечники й підставки під форми; металева чашка сферичної форми; порцелянові чашки; сталева лопаточка або ложка для перемішування розчину; шпателі для ущільнення розчину; пісковий годинник; ніж; металеві штампи для нумерації зразків; скляні або металеві пластинки; ванна з гідравлічним затвором для вологого зберігання; ванна для водного зберігання; гідравлічний прес; ваги пружинні; прилад Віка для визначення нормальної густоти й термінів тужавіння.

Контрольні питання

1. Що називають повітряним вапном?
2. Види повітряного вапна.
3. Сировина для виробництва повітряного вапна.
4. Класифікація сировинних матеріалів для виробництва вапна.
5. Чим гідравлічне вапно відрізняється від повітряного?
6. Галузі застосування повітряного вапна.
7. Визначення часу гасіння повітряного вапна.
8. За допомогою якого приладу визначають терміни тужавіння в'язучого на основі вапна?
9. Як виготовляються зразки для визначення міцності гідравлічного вапна та в'язучих на його основі?
10. Визначення міцності зразків, виготовлених на основі гідравлічного вапна.

4. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

У теперішній час у практиці світового будівництва портландцемент є основним матеріалом для виробництва бетону, залізобетону та будівельних розчинів. Його якість та властивості в основному визначаються складом та структурою клінкеру. Додатки, що вводяться до портландцементу, лише деякою мірою регулюють ті чи інші його властивості.

Портландцементом називається гідравлічна в'язуча речовина, яку одержують тонким подрібненням цементного клінкеру з гіпсом, а іноді й із спеціальними добавками.

Клінкер отримують випалом до спікання сировинної суміші визначеного складу, яка забезпечує переважне існування у ньому високоосновних силікатів кальцію.

За мінералогічним складом звичайні клінкери містять, мас. %: Ca_3SiO_5 – 40 ÷ 60; Ca_2SiO_4 – 15 ÷ 35; $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ – 4 ÷ 14; $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ – 18 ÷ 10. Залежно від вмісту мінералів у клінкері портландцемент може бути класифікований таким чином:

Високоалітовий > 60 мас. % Ca_3SiO_5 ;

Алітовий 50 ÷ 60 мас.% Ca_3SiO_5 ;

Белітовий > 35 мас. % Ca_2SiO_4 ;

Алюмінатний >15 мас. % $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; < 10 мас. % $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$;

Алюмоферитний < 7 мас. % $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; > 18 мас. % $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$.

На властивості портландцементу впливає також його структура і характер кристалізації окремих мінералів.

Сировинні матеріали для виробництва портландцементу можна розділити на три групи:

1) сировина, в якій переважає CaO , – вапняний компонент;

2) сировина, в якій переважають алюмосилікати, – глинистий компонент;

3) коригуючі добавки, з якими вводиться той або інший оксид, якого бракує. Загальною вимогою до всіх компонентів сировинної суміші є постійність складу та вміст мінімальної кількості небажаних домішок.

4.1. Розрахунок технологічних сумішей для в'язучих матеріалів

Склад портландцементного клінкеру характеризується: вмістом оксидів, що складають клінкер; значеннями коефіцієнта насичення та модулів; вмістом головних складників клінкерних мінералів.

Вміст головних оксидів у портландцементному клінкері може коливатись у таких межах, мас. %: CaO – 62 ÷ 67; SiO₂ – 20 ÷ 24; Al₂O₃ – 4 ÷ 7; Fe₂O₃ – 2 ÷ 5; MgO, SO₃ та інш. – 1,5 ÷ 4.

Модульні характеристики клінкеру базуються на визначенні співвідношення між найважливішими оксидами. Спочатку користувалися гідравлічним або основним модулем m , який визначається відношенням основного оксиду до суми кислих оксидів, мас. % :

$$m = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Гідравлічний модуль сировинної суміші портландцементу може коливатися в таких межах: m – 1,9 ÷ 2,4.

Однак цієї характеристики було недостатньо, оскільки оксид кальцію зв'язується з кремнеземом, глиноземом та оксидом заліза (III) у різних співвідношеннях. Додатковими модульними характеристиками є силікатний (кремнеземний) та алюмінатний (глиноземний) модулі.

Силікатний модуль n визначається відношенням вмісту кремнезему до сумарного вмісту полуторних оксидів, мас. % :

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Силікатний модуль сировинної суміші портландцементу може коливатися в таких межах: n – 1,7 ÷ 3,5.

Глиноземний модуль p являє собою відношення вмісту оксиду алюмінію до вмісту оксиду заліза (III), мас. % :

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Глиноземний модуль сировинної суміші портландцементу може коливатися в таких межах: $p - 1,0 \div 3,0$.

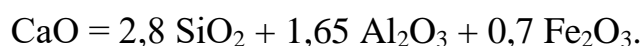
Згідно зі значеннями модулів неможливо судити про склад сполук, що синтезуються в клінкері та визначають його якість. Для більш повної характеристики клінкеру було введено термін «ступінь насичення», а також «коефіцієнт насичення». *Ступінь насичення* (СН) характеризує співвідношення важливих оксидів у клінкері з урахуванням утворення різних мінералів. Поняття про ступінь насичення базується на основі складу «ідеального» клінкеру, що містить високоосновні сполуки – трикальцієвий силікат ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), трикальцієвий алюмінат ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) та дикальцієвий ферит ($2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$). Кількість оксиду кальцію, яка необхідна для утворення таких сполук, визначається з наступних співвідношень, що розраховуються виходячи з такого:

1. Для утворення однієї молекули трикальцієвого силікату одна молекула кремнезему повинна зв'язувати три молекули оксиду кальцію або, у молекулярних масах: 60 г SiO_2 зв'язує $3 \cdot 56 = 168$ г CaO . Таким чином, для зв'язування 1 % SiO_2 необхідно $\frac{168 \cdot 1}{60} = 2,8$ % CaO .

2. Для утворення однієї молекули трикальцієвого алюмінату одна молекула глинозему повинна зв'язати три молекули оксиду кальцію або, у молекулярних масах: 102 г Al_2O_3 зв'язує 168 г CaO . Внаслідок цього для зв'язування 1 % Al_2O_3 необхідно $\frac{168 \cdot 1}{102} = 1,65$ % CaO .

3. Аналогічно для утворення однієї молекули дикальцієвого фериту одна молекула заліза повинна зв'язати дві молекули оксиду кальцію або, у молекулярних масах: 160 г Fe_2O_3 зв'язує 112 г CaO . Таким чином, для зв'язування 1 % Fe_2O_3 необхідно $\frac{112 \cdot 1}{160} = 0,7$ % CaO .

Загальна кількість оксиду кальцію, яка необхідна для утворення цих сполук, становить:



У реальних процесах утворення «ідеального» клінкеру неможливе, тому у формулу вводиться коефіцієнт, який враховує неповноту насичення кислотних оксидів оксидом кальцію й можливість утворення низь-

коосновних сполук, CH – ступінь насичення:

$$CaO = CH (2,8 SiO_2 + 1,65 Al_2O_3 + 0,7 Fe_2O_3).$$

Таким чином, ступінь насичення визначається за формулою

$$CH = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,65Al_2O_3 + 0,7Fe_2O_3}.$$

Для «ідеального» клінкеру $CH = 1$, для реального $CH < 1$.

Однак при використанні поняття ступеня насичення не враховується те, що при випалі в реальних умовах кислотні оксиди поведуть себе по-різному: глинозем та оксид заліза (III) утворюють первинні фази й тому насичення вапном відбувається повністю, а кремнезем насичується не повністю і утворює не тільки трикальцієвий силікат ($3CaO \cdot SiO_2$), але й дикальцієвий силікат ($2CaO \cdot SiO_2$). Згідно з цим запропоновано відносити коефіцієнт, який враховує неповноту насичення вапном – коефіцієнт насичення (KH), тільки до SiO_2 . У формулу було також уведено оксид SO_3 , який зв'язується з оксидом кальцію. При утворенні $CaSO_4$ для зв'язування 1 % SO_3 (аналогічно до наведених вище розрахунків щодо інших оксидів) необхідно $\frac{56 \cdot 1}{110} = 0,7$ % CaO . Таким чином, формула має

вигляд

$$CaO = KH 2,8 SiO_2 + 1,65 Al_2O_3 + 0,7 Fe_2O_3 + 0,7 SO_3.$$

Згідно з цією формулою розраховуємо коефіцієнт насичення:

$$KH = \frac{CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,7Fe_2O_3 - 0,7SO_3}{2,8SiO_2}.$$

Однак у портландцементному клінкері найчастіше зустрічається не дикальцієвий ферит, а чотирикальцієвий алюмоферит, тому зважаючи на вищезазначене формула коефіцієнта насичення має вигляд

$$KH = \frac{CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3 - 0,7SO_3}{2,8SiO_2}.$$

З урахуванням оксиду кальцію, який не вступив у реакцію утворення клінкеру, рівняння коефіцієнта насичення набуває вигляд

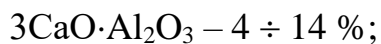
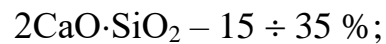
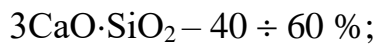
$$KH = \frac{(\text{CaO}_{\text{зв}} - \text{CaO}_{\text{вільн}}) - (1,65 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,70 \cdot \text{SO}_3)}{2,8(\text{SiO}_{2\text{зв}} - \text{SiO}_{2\text{вільн}})},$$

де під формулою того чи іншого оксиду розуміють його наявність у портландцементному клінкері у відсотках.

Коефіцієнт насичення сировинної суміші портландцементу KH може коливатись у межах 0,80 – 0,95.

Для характеристики реального клінкеру або сировинної суміші достатньо знати значення коефіцієнта насичення, силікатного та глиноземного модулів.

Вміст головних клінкерних мінералів у звичайному портландцементному клінкері може коливатися в таких межах:



Найбільш розповсюдженим є спосіб розрахунку сировинної суміші за значенням коефіцієнта насичення та модулів.

Кількість сировинних компонентів повинна бути на одиницю більшою, ніж кількість заданих характеристик. Для розрахунків та контролю правильності обчислень хімічний склад сировинних матеріалів зводять до суми, яка дорівнює 100 %. Для цього помножують вміст кожного оксиду на коефіцієнт k , який визначається шляхом ділення 100 на суму всіх оксидів. Якщо сума всіх оксидів відрізняється від 100 % більш ніж на 1 %, то необхідно провести перевірний аналіз.

Для спрощення розрахунків вміст одного з компонентів (того, що міститься в найменшій кількості) береться за одиницю. Усі обчислення ведуть з точністю до 0,01 %.

У розрахункових формулах прийняті такі скорочені позначення: $\text{CaO} - C$; $\text{SiO}_2 - S$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - A$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - F$. Індекс біля наведених букв вказує на компонент, якому належить той чи інший оксид.

Вміст оксидів у готовому продукті позначено буквами без індекса, а в сировинній суміші – буквами з індексом «0».

При виробництві портландцементу, глиноземного цементу та інших в'язучих матеріалів сировинна суміш складається з двох або більшого числа компонентів. У таких випадках проводять розрахунок сировинної суміші з метою визначення кількісного співвідношення складових частин. Правильно проведений розрахунок сировинної суміші є однією з найважливіших умов отримання в'язучих матеріалів, що задовольняють за якістю задані вимоги. Хімічний склад найбільш розповсюджених сировинних матеріалів для виробництва портландцементу наведено у табл. Д1 Додатку.

4.1.1. Розрахунок двокомпонентної сировинної суміші

Розрахунок двокомпонентної сировинної суміші для портландцементу необхідно вести з використанням коефіцієнта насичення або гідравлічного модуля. Обидва вони характеризують основність сировинної суміші, але використання коефіцієнта насичення більш доцільне, тому що в його формулі враховується те, що оксид кальцію з'єднується з кремнеземом, глиноземом та оксидом заліза не в однакових вагових кількостях, а також те, що при випалі клінкеру глинозем та оксид заліза насичується оксидом кальцію практично повністю, а за відсутності оксиду кальцію неповністю насичується ним тільки кремнезем.

Розглянемо розрахунок двокомпонентної сировинної суміші за коефіцієнтом насичення. Припустимо, що відомий хімічний склад обох вихідних матеріалів і заданий коефіцієнт насичення. Приймаючи допущення, що в сировинній суміші на вагову частку другого компонента припадає x вагових частин першого, можна записати наступні рівняння:

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{x \cdot C_1 + C_2}{x + 1}; & A_0 &= \frac{x \cdot A_1 + A_2}{x + 1}; \\ S_0 &= \frac{x \cdot S_1 + S_2}{x + 1}; & F_0 &= \frac{x \cdot F_1 + F_2}{x + 1}. \end{aligned} \right\}$$

Підставляючи вказані значення C_0 , S_0 , A_0 та F_0 у спрощену формулу коефіцієнта насичення, прийняту для розрахунку сировинної суміші, і розв'язуючи отримане рівняння відносно x , маємо розрахункову формулу для визначення співвідношення між першим та іншим компонентами:

$$KH = \frac{C_0 - (1,65 \cdot A_0 + 0,35 \cdot F_0)}{2,8S_0};$$

$$x = \frac{2,8 \cdot S_2 \cdot KH + 1,65 \cdot A_2 + 0,35 \cdot F_2 - C_2}{C_1 - 2,8 \cdot S_1 \cdot KH - 1,65 \cdot A_1 - 0,35 \cdot F_1}.$$

У спрощеній формулі коефіцієнта насичення відсутні виправлення на вільний оксид кальцію та вільний кремнезем, тому що неможливо точно передбачити їх вміст у клінкері.

У цьому випадку припускається, що в процесі випалу клінкеру оксид кальцію та кремнезем повністю зв'язуються в клінкерні мінерали.

У спрощеній формулі не враховується також кількість оксиду кальцію, що зв'язується сірчаним ангідридом, тому що частка сірки, яка присутня в сировині у вигляді сульфідних сполук, вигоряє та окисляється, а сірчаний ангідрид сірчаноокислих сполук внаслідок дисоціації при випалі частково звітряється.

Тому кількість SO_3 , що залишилось, як і кількість вільних оксидів кальцію та кремнезему, можна визначити тільки після випалу.

При розрахунках двокомпонентної сировинної суміші за гідравлічним модулем, що доцільно робити для гідравлічного вапна та романцементу при виробництві їх зі штучно складеної сировинної суміші вапняку або мергелістого вапняку з глиною, користуються наступним методом. Підставляючи в спрощену формулу гідравлічного модуля

$$m = \frac{C_0}{S_0 + A_0 + F_0}$$

вказані на початку попереднього розрахунку значення для C , S , A та F і розв'язуючи отримане рівняння відносно x , отримаємо наступну формулу для розрахунку двокомпонентної сировинної суміші:

$$x = \frac{C_2 - m \cdot (S_2 + A_2 + F_2)}{m \cdot (S_1 + A_1 + F_1) - C_1}.$$

Користуючись цією формулою ведемо розрахунок аналогічно попередньому.

Приклад 1

Хімічний склад вихідних компонентів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад вихідних матеріалів,
масові проценти

Компоне- нти	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	В.п.п.	Сума	n	p
1-й ком- понент – вапняк	7,84	1,66	1,05	49,09	0,92	–	40,03	100,59	2,89	1,58
2-й ком- понент – глина	64,37	16,46	8,15	1,89	0,89	0,79	7,17	99,72	2,62	2,02
У перерахунку на 100 %										
1-й ком- понент – вапняк	7,80	1,65	1,04	48,80	0,91	–	39,80	100,00	–	–
2-й ком- понент – глина	64,55	16,51	8,17	1,90	0,89	0,79	7,19	100,00	–	–

У даному випадку при перерахунку на суму, що дорівнює 100 %, коефіцієнт перерахунку (k) визначається наступним чином. Суму усіх оксидів беремо за 100 %; сума 1-го компонента складає 100,59 %, а сума 2-го компонента – 99,72 %. Коефіцієнт перерахунку (k) є відношення 100 % до суми оксидів у відсотках 1-го або 2-го компонента (табл. 4.1):

$$k_1 = 100/100,59 = 0,9941;$$

$$k_2 = 100/99,72 = 1,0028.$$

Як уже вказувалось, при розрахунку двокомпонентної сировинної суміші задаються лише значенням коефіцієнта насичення. Це значення й визначить співвідношення між сировинними компонентами.

Впливати на збільшення або зменшення одного з модулів одночасно з коефіцієнтом насичення неможливо без введення третього компонента, тому виготовлення сировинної суміші із двох компонентів можливе лише в тому випадку, коли значення силікатного та глиноземного

модулів глинистого компонента лежить у межах, допустимих для портландцементу. При цьому в разі наявності у вапняковому компоненті значної кількості кислотних оксидів слід враховувати значення модулів цього компонента, підраховуючи (приблизно) очікуване значення модулів сировинної суміші.

Якщо значення силікатного та глиноземного модулів глинистого компонента надзвичайно велике або мале, задаються бажаним значенням даного модуля й для його досягнення вводять у сировинну суміш третій компонент з відповідно меншим або більшим значенням цього модуля.

З вапняку та глини (табл. 4.1) можна приготувати портландцементну сировинну суміш, тому що значення силікатного й глиноземного модулів глини припустиме для портландцементу.

Визначаємо співвідношення між двома сировинними компонентами, задаючись значенням коефіцієнта насичення, що дорівнює 0,88:

$$x = \frac{2,8 \cdot 64,55 \cdot 0,88 + 1,65 \cdot 16,51 + 0,35 \cdot 8,17 - 1,90}{48,80 - 2,8 \cdot 7,80 \cdot 0,88 - 1,65 \cdot 1,65 - 0,35 \cdot 1,04} = \frac{187,25}{26,50} = \frac{7,066}{1}.$$

Таким чином, на 1 вагову частину глини припадає 7,066 вагових частин вапняку.

Сировинна суміш буде складатись із 87,60 % вапняку (1-й компонент) та 12,40 % глини (2-й компонент).

Розраховуємо хімічний склад сировинної суміші та клінкеру, а результати розрахунків заносимо до табл. 4.2.

Склад клінкеру (табл. 4.2) визначаємо шляхом перерахунку складу сировинної суміші на випалену речовину.

Для зручності розрахунку складу клінкеру рекомендується замість ділення значення кожного оксиду на суму всіх оксидів та множення на 100 помножити кількість кожного оксиду на коефіцієнт k :

$$k = \frac{100}{100 - \text{в.п.п.}} = \frac{100}{100 - 35,75} = 1,55642$$

Визначаємо значення коефіцієнта насичення, силікатного та глиноземного модулів:

$$KH = \frac{66,91 - 1,65 \cdot 5,45 - 0,35 \cdot 2,99}{2,8 \cdot 23,08} = 0,88;$$

$$n = \frac{23,08}{5,45 + 2,99} = 2,73; \quad p = \frac{5,45}{2,99} = 1,82.$$

Збіг отриманого значення коефіцієнта насичення із заданим підтверджує правильність розрахунків. Значення силікатного та глиноземного модулів перебувають в допустимих межах.

Таблиця 4.2 – Підрахунок хімічного складу сировинної суміші та клінкеру

Компоненти	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	В.п.п.	Сума
Вапняк – 87,60 %	6,83	1,45	0,91	42,75	0,80	–	34,86	87,60
Глина – 12,40 %	8,00	2,05	1,01	0,24	0,11	0,10	0,89	12,40
Склад сировинної суміші, %	14,83	3,50	1,92	42,99	0,91	0,10	35,75	100,00
Склад клінкеру, %	23,08	5,45	2,99	66,91	1,42	0,15	–	100,00

4.1.2. Розрахунок трикомпонентної сировинної суміші

Для розрахунку трикомпонентної сировинної суміші слід задаватись двома характеристиками складу портландцементу: коефіцієнтом насичення та силікатним або глиноземним модулем.

У тому разі, коли силікатний модуль є другою заданою характеристикою, вибір третього компонента (коригувальної добавки) залежить від того, чи потрібно підвищити або знизити силікатний модуль. У першому випадку таким компонентом є матеріал, багатий кремнеземом (трепел, глина з високим вмістом кремнезему, пісок та ін.), в іншому – матеріал, багатий на глинозем або оксид заліза (колчеданні недогарки, колошниковий пил, залізна руда, глина з високим вмістом Al₂O₃, боксити та ін.). Вибір глиноземного або залізовмісного матеріалу залежить від того, як необхідно змінити глиноземний модуль одночасно з силікатним.

Якщо другою заданою характеристикою є глиноземний модуль, то для підвищення його значення в якості коригувальних добавок застосовують високоглиноземну глину та боксити, а для зниження – колчеданні недогарки, колошниковий пил і залізну руду. Знизити глиноземний мо-

дуть порівняно легко через доступність коригувальних добавок, які при цьому застосовуються; знизити ж глиноземний модуль значно складніше із-за невеликої розповсюженості бокситів та багатих на глинозем глин. Введення добавок для коригування глиноземного модуля знижує значення силікатного модуля.

Приймаючи, що в сировинній суміші на 1 вагову частину третього компонента доводиться x вагових частин першого компонента та y вагових частин другого компонента, можна записати наступні рівняння:

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{x \cdot C_1 + y \cdot C_2 + C_3}{x + y + 1}; & A_0 &= \frac{x \cdot A_1 + y \cdot A_2 + A_3}{x + y + 1}; \\ S_0 &= \frac{x \cdot S_1 + y \cdot S_2 + S_3}{x + y + 1}; & F_0 &= \frac{x \cdot F_1 + y \cdot F_2 + F_3}{x + y + 1}. \end{aligned} \right\}$$

Підставляючи вказані значення у формулу коефіцієнта насичення та силікатного модуля, отримаємо систему двох лінійних рівнянь з двома невідомими:

$$\text{КН} = \frac{C_0 - 1,65 \cdot A_0 - 0,35 \cdot F_0}{2,8 \cdot S_0}; \quad n = \frac{S_0}{A_0 + F_0};$$

$$x \cdot (C_1 - 2,8 \cdot S_1 \cdot \text{КН} - 1,65 \cdot A_1 - 0,35 \cdot F_1) + (C_2 - 2,8 \cdot S_2 \cdot \text{КН} - 1,65 \cdot A_2 - 0,35 \cdot F_2) = 2,8 \cdot S_3 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_3 + 0,35 \cdot F_3 - C_3;$$

$$x \cdot (S_1 - n \cdot A_1 - n \cdot F_1) + y \cdot (S_2 - n \cdot A_2 - n \cdot F_2) = n \cdot A_3 + n \cdot F_3 - S_3.$$

Для зручності розрахунків приймаємо наступні скорочені позначення:

$$a_1 = C_1 - 2,8 \cdot S_1 \cdot \text{КН} - 1,65 \cdot A_1 - 0,35 \cdot F_1; \quad a_2 = S_1 - n \cdot A_1 - n \cdot F_1;$$

$$b_1 = C_2 - 2,8 \cdot S_2 \cdot \text{КН} - 1,65 \cdot A_2 - 0,35 \cdot F_2; \quad b_2 = S_2 - n \cdot A_2 - n \cdot F_2;$$

$$c_1 = 2,8 \cdot S_3 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_3 + 0,35 \cdot F_3 - C_3; \quad c_2 = n \cdot A_3 + n \cdot F_3 - S_3.$$

Підставляючи їх у лінійні рівняння, отримаємо

$$a_1x + b_1y = c_1;$$

$$a_2x + b_2y = c_2.$$

Розв'язуючи цю систему двох рівнянь з двома невідомими, одержимо наступні значення x та y :

$$x = \frac{c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1}{a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1}; \quad y = \frac{a_1 \cdot c_2 - a_2 \cdot c_1}{a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1}.$$

Приклад 2

Хімічний склад вихідних матеріалів наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Хімічний склад сировинних матеріалів, проценти

Компоненти	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	В.п.п	Сума	n	p
Вапняк	0,69	1,15	0,52	54,15	0,49	0,12	42,88	100,00	0,41	2,21
Глина	73,79	14,98	3,65	2,71	1,75	0,29	2,83	100,00	3,96	4,10
Колчеданні недогарки	13,94	1,44	78,40	2,10	0,22	3,10	0,80	100,00	0,17	0,02

Задаємо коефіцієнт насичення $KH = 0,9$ та силікатний модуль $n = 2,3$. Силікатний модуль глини значно перевищує задане значення. Низький силікатний модуль вапняку лише незначно знизить модуль сировинної суміші, тому що вміст у вапняку кислотних оксидів дуже малий.

Оскільки поряд зі зниженням значення силікатного модуля потрібно знизити значення глиноземного модуля, то в якості третього компонента обираємо колчеданні недогарки, тобто матеріал, багатий на оксид заліза.

Визначаємо співвідношення між сировинними компонентами:

$$a_1 = 54,15 - 2,8 \cdot 0,69 \cdot 0,90 - 1,65 \cdot 1,15 - 0,35 \cdot 0,52 = 50,33;$$

$$a_2 = 0,69 - 2,3 \cdot 1,15 - 2,3 \cdot 0,52 = -3,16;$$

$$b_1 = 2,71 - 2,8 \cdot 73,79 \cdot 0,90 - 1,65 \cdot 14,98 - 0,35 \cdot 3,65 = -209,24;$$

$$b_2 = 73,79 - 2,3 \cdot 14,98 - 2,3 \cdot 3,65 = 30,94;$$

$$c_1 = 2,8 \cdot 13,94 \cdot 0,90 + 1,65 \cdot 1,44 + 0,35 \cdot 78,40 - 2,10 = 62,85;$$

$$c_2 = 2,3 \cdot 1,44 + 2,3 \cdot 78,40 - 13,94 = 169,69.$$

$$x = \frac{62,85 \cdot 30,94 - 169,69 \cdot (-209,24)}{50,33 \cdot 30,94 - (-3,16) \cdot (-209,24)} = 41,80;$$

$$y = \frac{50,33 \cdot 169,69 - (-3,16) \cdot 62,85}{50,33 \cdot 30,94 - (-3,16) \cdot (-209,24)} = 9,75.$$

Таким чином, на 1 вагову частину колчеданних недогарків припадає 41,80 вагових частин вапняку й 9,75 вагових частин глини. Сировинна суміш буде складатись із 79,54 % вапняку (1-й компонент), 18,55 % глини (2-й компонент) та 1,91 % колчеданних недогарків.

Розраховуємо хімічний склад сировинної суміші та клінкеру, результати розрахунків заносимо до табл. 4.4.

Розраховуємо хімічний склад сировинної суміші та клінкеру за даними табл. 4.4.

$$k = 1,530456; \quad \text{КН} = \frac{66,94 - 1,65 \cdot 5,69 - 0,35 \cdot 3,96}{2,8 \cdot 22,21} = 0,90;$$

$$n = \frac{22,21}{5,69 + 3,96} = 2,30; \quad p = \frac{5,69}{3,96} = 1,44.$$

Отримані значення коефіцієнта насичення та силікатного модуля показують, що розрахунок сировинної суміші проведений правильно.

Таблиця 4.4 – Розрахунок хімічного складу сировинної суміші та клінкеру

Компоненти	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	В.п.п	Сума
Вапняк – 79,54 %	0,55	0,91	0,41	43,07	0,39	0,10	34,11	79,54
Глина – 18,55 %	13,69	2,78	0,68	0,50	0,32	0,05	0,53	18,55
Недогарки – 1,91 %	0,26	0,03	1,50	0,04	0,01	0,06	0,01	1,91
Склад сировинної суміші, %	14,50	3,72	2,59	43,61	0,72	0,21	34,65	100,00
Склад клінкеру, %	22,21	5,69	3,96	66,74	1,09	0,31	–	100,00

4.1.3. Розрахунок чотирикомпонентної сировинної суміші

При розрахунках чотирикомпонентної сировинної суміші слід за-

даватися трьома характеристиками складу портландцементу: коефіцієнтом насичення, силікатним та глиноземистим модулями.

Приймаючи, що на одну вагову частину четвертого компонента припадає x вагових частин першого компонента, y вагових частин другого компонента та z вагових частин третього компонента, можна записати такі рівності:

$$C_0 = \frac{x \cdot C_1 + y \cdot C_2 + z \cdot C_3 + C_4}{x + y + z + 1}; \quad A_0 = \frac{x \cdot A_1 + y \cdot A_2 + z \cdot A_3 + A_4}{x + y + z + 1};$$

$$S_0 = \frac{x \cdot S_1 + y \cdot S_2 + z \cdot S_3 + S_4}{x + y + z + 1}; \quad F_0 = \frac{x \cdot F_1 + y \cdot F_2 + z \cdot F_3 + F_4}{x + y + z + 1}.$$

Підставляючи ці вирази у формули коефіцієнта насичення, силікатного і глиноземного модулів:

$$\text{КН} = \frac{C_0 - 1,65 \cdot A_0 - 0,35 \cdot F_0}{2,85 \cdot S_0}; \quad n = \frac{S_0}{A_0 + F_0}; \quad p = \frac{A_0}{F_0},$$

отримуємо систему трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими:

$$1) \quad x \cdot (2,8 \cdot S_1 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_1 + 0,35 \cdot F_1 - C_1) + y \cdot (2,8 \cdot S_2 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_2 + 0,35 \cdot F_2 - C_2) - z \cdot (2,8 \cdot S_3 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_3 + 0,35 \cdot F_3 - C_3) = C_4 - 2,8 \cdot S_4 \cdot \text{КН} - 1,65 \cdot A_4 - 0,35 \cdot F_4;$$

$$2) \quad x \cdot (n \cdot A_1 + n \cdot F_1 - S_1) + y \cdot (n \cdot A_2 + n \cdot F_2 - S_2) + z \cdot (n \cdot A_3 + n \cdot F_3 - S_3) = S_4 - n \cdot A_4 - n \cdot F_4;$$

$$3) \quad x \cdot (p \cdot F_1 - p \cdot A_1) + y \cdot (p \cdot F_2 - p \cdot A_2) + z \cdot (p \cdot F_3 - p \cdot A_3) = A_4 - p \cdot F_4.$$

Для зручності розрахунків приймаємо такі скорочені значення:

$$a_1 = 2,8 \cdot S_1 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_1 + 0,35 \cdot F_1 - C_1;$$

$$b_1 = 2,8 \cdot S_2 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_2 + 0,35 \cdot F_2 - C_2;$$

$$c_1 = 2,8 \cdot S_3 \cdot \text{КН} + 1,65 \cdot A_3 + 0,35 \cdot F_3 - C_3;$$

$$d_1 = C_4 - 2,8 \cdot S_4 \cdot \text{KH} - 1,65 \cdot A_4 - 0,35 \cdot F_4;$$

$$a_2 = n \cdot A_1 + n \cdot F_1 - S_1; \quad a_3 = p \cdot F_1 - p \cdot A_1;$$

$$b_2 = n \cdot A_2 + n \cdot F_2 - S_2; \quad b_3 = p \cdot F_2 - p \cdot A_2;$$

$$c_2 = n \cdot A_3 + n \cdot F_3 - S_3; \quad c_3 = p \cdot F_3 - p \cdot A_3;$$

$$d_2 = S_4 - n \cdot A_4 - n \cdot F_4; \quad d_3 = A_4 - p \cdot F_4.$$

При підстановці цих скорочених позначень у лінійні рівняння, маємо такі рівняння:

$$a_1 x + b_1 y + c_1 z = d_1; \quad a_2 x + b_2 y + c_2 z = d_2; \quad a_3 x + b_3 y + c_3 z = d_3.$$

Розв'язавши їх, отримаємо після відповідних скорочень значення для x , y , z :

$$x = \frac{d_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + d_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + d_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)};$$

$$y = \frac{a_1 \cdot (d_2 \cdot c_3 - d_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (d_3 \cdot c_1 - d_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (d_1 \cdot c_2 - d_2 \cdot c_1)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)};$$

$$z = \frac{a_1 \cdot (b_2 \cdot d_3 - b_3 \cdot d_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot d_1 - b_1 \cdot d_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot d_2 - b_2 \cdot d_1)}{a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + a_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1)}.$$

Користуючись наведеними формулами, виконуємо розрахунок у тому ж порядку, що і для трикомпонентної суміші.

4.1.4. Особливості розрахунків сумішей для синтезу глиноземного цементу

Глиноземний цемент являє собою швидкотужавіючу гідравлічну в'язучу речовину, отриману тонким подрібненням випаленої до плавлення або спікання сировинної суміші, складеної з бокситів і вапняків та розрахованої на отримання в готовому продукті низькоосновних алюмінатів кальцію. Головними оксидами глиноземного цементу є: Al_2O_3 –

30 ÷ 50 мас. %, CaO – 35 ÷ 45 мас. %, SiO₂ – 5 ÷ 15 мас. %) і Fe₂O₃ – 5 ÷ 15 мас. %). Оксиди магнію, натрію, калію, діоксид титану та сірчаний ангідрид є другорядними компонентами глиноземного цементу і присутні в його складі як випадкові домішки.

Мінеральний склад глиноземного цементу представлений в основному такими сполуками: CaO·Al₂O₃, 12CaO·7Al₂O₃, CaO·2Al₂O₃, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂.

Сировиною для виробництва глиноземного цементу є боксити та вапняки. Відомі дослідження застосування для виробництва глиноземного цементу каолініту, алуніту, відходів глиноземного виробництва та інших матеріалів.

Бокситами називають гірські породи, що складаються із гідратів оксиду алюмінію і що містять як домішки глинисті речовини, кварцвмісні породи, гідроксид заліза та ін. Боксити за структурою є механічною сумішшю колоїдних оксидів алюмінію, заліза, кремнію та титану, які адсорбували у різних кількостях воду. Алюміній при цьому утворює беміт γ -Al₂O₃·H₂O, діаспор α -Al₂O₃·H₂O, гідраргіліт γ -Al₂O₃·3H₂O і гібсит, а залізо – гетит Fe₂O₃·H₂O і гематит. Діоксид титану у складі бокситу знаходиться у вигляді гідроксиду мінералу перовскіту; кремнезем – у вигляді зерен кварцу, гелю кремнієвої кислоти й у складі глинистих мінералів у вигляді алофану, каолініту, галуазиту. Вміст глинозему в бокситах може досягати 70 мас. %.

За хімічним складом боксити неоднорідні, вміст окремих оксидів коливається у таких межах, мас. %: 30÷75 Al₂O₃; 2÷20 SiO₂; 2÷40 Fe₂O₃; 0÷5 TiO₂ та 10÷25 зв'язаної води.

Питома вага бокситів дорівнює 2200 ÷ 2300 кг/м³, твердість 2 ÷ 6 за шкалою Мооса; температура плавлення 1650 ÷ 1900 °С.

Придатність бокситів для виробництва глиноземного цементу оцінюється за вмістом оксиду алюмінію і характеризується коефіцієнтом якості, що являє собою співвідношення вмісту (ваг. %) оксиду алюмінію до оксиду заліза. Величина коефіцієнта якості у бокситів, що використовуються для виробництва глиноземних цементів, може сягати 9. Крім дефіцитних бокситів, для виробництва глиноземного цементу можна застосовувати відвальні шлаки алюмініотермічного виробництва феросплавів, а також шлаки вторинної переплавки алюмінію та його сплавів,

відходи відпрацьованих каталізаторів з високим вмістом оксиду алюмінію. Для виробництва високоглиноземного та особливо чистого високоглиноземного цементів застосовують чистий глинозем різних марок.

До вапняку, що застосовується для виробництва глиноземного цементу, не висувається якихось особливих вимог, окрім обмеження вмісту SiO_2 до 1,5 мас. % і MgO до 2,0 мас. %.

Хімічний склад найбільш поширених сировинних матеріалів для виробництва глиноземного цементу наведено у додатку 1.

Проблема розрахунку сировинних сумішей для отримання глиноземного цементу ускладнюється тим, що до теперішнього часу дослідники не дійшли однозначного висновку про його оптимальний мінералогічний склад. Т. Паркер зробив спробу вивести розрахункові формули для складання сировинних сумішей, виходячи з рівнянь кривих на діаграмі складу системи $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MgO}$.

При розрахунках складу сировинної шихти для виробництва глиноземного цементу в теперішній час користуються приблизною емпіричною формулою

$$\frac{\text{вапняк}}{\text{боксит}} = \frac{1,857 \cdot \text{SiO}_{2(\text{боксит})} + 0,55 \cdot \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{боксит})} + 0,5 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{боксит})} - \text{CaO}_{(\text{боксит})}}{\text{CaO}_{(\text{вапняк})} - [1,875 \cdot \text{SiO}_{2(\text{вапняк})} + 0,55 \cdot \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{вапняк})} + 0,5 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{вапняк})}]}$$

Приклад 3

Хімічний склад вихідних компонентів наведено в табл. 4.5.

У даному випадку при перерахунку на суму, що дорівнює 100 %, значення коефіцієнта k були такими:

$$k_1 = 100/100,02 = 0,9998;$$

$$k_2 = 100/102,74 = 0,9733.$$

Визначаємо співвідношення між двома сировинними компонентами за формулою

$$\frac{\text{вапняк}}{\text{боксит}} = \frac{1,857 \cdot 9,91 + 0,55 \cdot 68,95 + 0,5 \cdot 8,21 - 0}{51,19 - [1,857 \cdot 1,13 + 0,55 \cdot 2,84 + 0,5 \cdot 1,09]} = \frac{60,61}{46,99} = \frac{1,29}{1}.$$

Таблиця 4.5 – Хімічний склад вихідних матеріал

Матеріали	Вміст компонентів, мас.%							Сума
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	В.п.п.	
1-й компонент – вапняк	2,84	1,13	1,09	51,20	1,58	–	42,18	100,02
2-й компонент – боксит	70,84	10,18	8,44	–	–	1,13	12,15	102,74
У перерахунку на 100 %								
1-й компонент – вапняк	2,84	1,13	1,09	51,19	1,58	–	42,17	100,00
2-й компонент – боксит	68,95	9,91	8,21	–	–	1,10	11,83	100,00

Таким чином, на одну вагову частину вапняку припадає 1,29 вагових частин бокситу. Сировинна суміш буде складатись із 43,67 % вапняку (1-й компонент) та 56,33 % бокситу (2-й компонент).

Розраховуємо хімічний склад сировинної суміші та клінкеру, результати розрахунків заносимо до табл. 4.6.

Склад клінкеру визначаємо шляхом перерахунку складу сировинної суміші на випалену речовину. Для зручності розрахунку складу клінкеру рекомендується замість ділення значення кожного оксиду на суму всіх оксидів та множення на 100 помножити кількість кожного оксиду на коефіцієнт k :

$$k = \frac{100}{100 - \text{в.п.п.}} = \frac{100}{100 - 25,08} = 1,33476.$$

Таблиця 4.6 – Розрахунок хімічного складу сировинної суміші та клінкеру

Матеріали	Вміст компонентів, мас.%							Сума
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	В.п.п.	
Вапняк (43,67%)	1,24	0,49	0,48	22,35	0,69	–	18,42	43,67
Боксит (56,33 %)	38,84	5,58	4,63	–	–	0,62	6,66	56,33
Сировинна суміш	40,08	6,07	5,11	22,35	0,69	0,62	25,08	100,00
Клінкер	53,50	8,10	6,82	29,83	0,92	0,83	–	100,00

Крім того, працівники промисловості дотримуються вимог технологічних карт про допустимий вміст SiO₂, TiO₂, MgO та оптимальний

коефіцієнт якості бокситу, який дорівнює $5 \div 7$, а також підбирають такі умови технологічного процесу, які забезпечують високу якість глиноземного цементу.

4.2. Визначення вільного оксиду кальцію в цементі

При випалі портландцементу процес утворення $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ перебігає впродовж тривалого часу при високій температурі. Тому високонасичені оксидом кальцію сировинні суміші можуть дати клінкер, який містить деяку кількість вільного, тобто незасвоєного у процесі випалу, оксиду кальцію. Вільний оксид кальцію може також знаходитись у клінкері внаслідок недостатньо повного випалу сировинної суміші зі звичайним вмістом оксиду кальцію, а також внаслідок грубого помелу та недостатньої однорідності сировинної суміші.

Вміст вільного оксиду кальцію у звичайному портландцементному клінкері не повинен перевищувати 1 – 2 мас. %. Якщо ця умова не виконується, то буде мати місце так звана зміна об'єму або, точніше, нерівномірність зміни об'єму цементу, викликана збільшенням об'єму оксиду кальцію при гідратації.

Присутність вільного оксиду кальцію знижує міцність цементу. При наближенні кількості вільного оксиду кальцію до зазначеної вище межі, коли ще не спостерігається нерівномірності зміни об'єму, зазвичай має місце зниження показників міцності при розтягненні й вигині в окремий термін у порівнянні з більш ранніми (через 7 днів у порівнянні з міцністю через 3 дні й через 28 днів у порівнянні з міцністю через 7 днів). Пояснюється це утворенням внутрішніх напружень, які внаслідок подовженої форми вісімки й призми приєднуються до напруг на розрив і вигин, що виникають у зразку при випробуванні й тому зменшують показники міцності. При випробуванні на стиск цього не спостерігається, тому що кубики мають однакові розміри у всіх напрямках. Напруги, що утворюються, можуть навіть перешкоджати силам стиску й тому показники міцності при стиску виходять навіть трохи завищеними. Однак при більш значних напругах може мати місце й зниження міцності при стиску.

Вміст вільного оксиду кальцію або гідрату оксиду кальцію визначають і при вивченні процесу гідrataції портландцементу, а також процесів випалу й твердіння інших в'язучих речовин: романцементу, гідравлічного вапна, пуцоланових цементів і т. д.

Таким чином, визначення вмісту вільного оксиду кальцію має велике значення як для контролю виробництва, так і для наукових досліджень.

Утруднення при визначенні вільного оксиду кальцію викликані неможливістю застосування водяних розчинів, що вступають у взаємодію із клінкером, тому що в цьому випадку внаслідок гідролізу деяких клінкерних мінералів утворюється додаткова кількість вільного оксиду кальцію.

Відомий ряд методів якісного й кількісного визначення вільного оксиду кальцію. До якісних методів відноситься феноло-нітробензолний, а до кількісних – етилово-гліцератний, етилово-фенолятний, метилово-сахаратний, сахаратний, етилен-гліколевий, методи обробки перегрітою парою, вуглекислою, напівнасиченим розчином вапна, метод втрат при нагріванні від 350 до 550 °С, калориметричний метод.

Найбільш часто для кількісного визначення вільного оксиду кальцію використовують етилово-гліцератний метод.

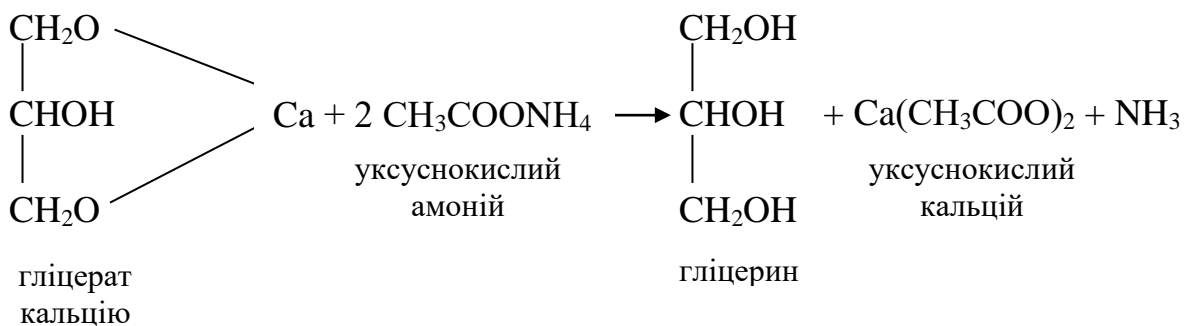
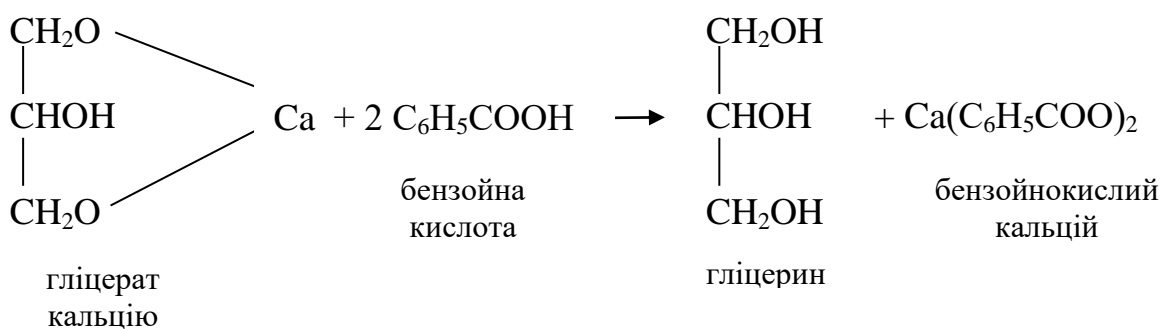
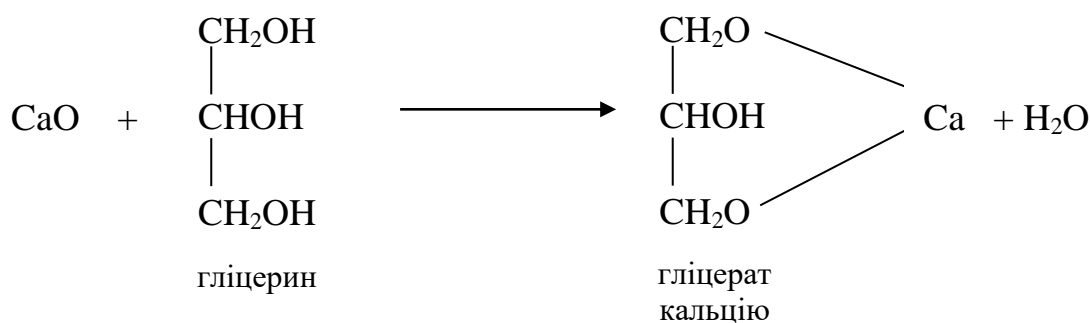
Етилово-гліцератний метод визначення вільного оксиду кальцію, розроблений Є. І. Нагеровою і Н. І. Колендзян, придатний для визначення сумарного вмісту вільного оксиду кальцію. Метод заснований на обробці цементу гарячою сумішшю безводного гліцерину й абсолютного спирту, у результаті чого при взаємодії незв'язаного оксиду кальцію з безводним гліцерином утворюється гліцерат кальцію. Цей гліцерат титрують спиртовим розчином бензойної кислоти або оцтовокислого амонію згідно з наведеними реакціями.

У розчин переходить лише гліцерат кальцію. Вільний оксид магнію не вступає в реакцію із гліцерином.

Із усіх кількісних методів визначення вільного оксиду кальцію етилово-гліцератний дає порівняно більш точні результати.

Реактиви й розчини. Абсолютний етиловий спирт; безводний гліцерин; 0,1 н. спиртовий розчин бензойної кислоти або оцтовокислого амонію; хлористий барій; 1 %-ний спиртовий розчин фенолфталеїну.

Для абсолютування спирту (C₂H₅OH) у круглодонну колбу місткістю 3 л насилають до половини свіже добре випалене вапно й заливають до 2/3 колби етиловим спиртом. Колба повинна бути щільно закрита пробкою із хлоркальцієвою трубкою. Після 2 діб колбу з'єднують зі зворотним холодильником, ставлять на киплячу водяну баню й кип'ятять спирт протягом 5-6 год. Внаслідок легкої займистості спирту нагрівання на водяній бані виконують електричним приладом. По закінченні кип'ятіння знімають зворотний холодильник і закривають колбу каучуковою пробкою із двома отворами. В один отвір вставляють термометр на 100 °С, а в інший – вигнуту трубку, за допомогою якої приєднують колбу до холодильника Лібіха й відганяють спирт, виконуючи нагрівання на киплячій водяній бані. Дистилят збирають у суху колбу місткістю 1 л, закриту пробкою із двома отворами. В один отвір вставляють форштос, за допомогою якого колба з'єднується з холодильником, у другий – хлоркальцієву трубку. Першими 15–20 мл перегнаного спирту споліскують приймач. Останні порції відгону (близько 20 мл) також не застосовують для приготування розчину.



Отриманий безводний спирт охолоджують холодною водою до 20 °С і перевіряють спиртометром. Отриманий безводний спирт зберігають у склянках, закривають пробками й парафінують.

Для приготування безводного гліцерину ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$) 250 – 300 мл чистого гліцерину наливають у склянку місткістю 500 мл і нагрівають на електричній плитці з азбестовою сіткою протягом 3 годин при температурі 160 – 170 °С. Температуру перевіряють термометром, опущеним у гліцерин. Зневоднений гліцерин переливають у ретельно висушену колбу місткістю 250 – 300 мл і щільно закривають каучуковою пробкою.

Для приготування спирто-гліцеринового розчинника 200 мл безводного гліцерину наливають у конічну колбу або склянку, нагрівають до 100 – 125 °С, додають 15 г висушеного при температурі 130 °С хлористого барію й розчиняють у гліцерині, потім розчин охолоджують, додають 1 л абсолютного спирту й 3 мл спиртового розчину фенолфталеїну. Якщо спирто-гліцериновий розчинник виявиться кислим, то його нейтралізують 0,01 н. спиртовим розчином їдкого натру до слаболужної реакції (блідо-рожеве забарвлення). Якщо ж він виявиться лужним (яскраво-рожеве забарвлення), то його нейтралізують 0,1 н. спиртовим розчином бензойної кислоти або оцтовокислого амонію до слаболужної реакції. Спирто-гліцериновий розчинник зберігають у склянці, щільно закритій гумовою пробкою й залитій парафіном.

Для приготування 0,1 н. титрованого розчину бензойної кислоти чисту бензойну кислоту ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) сушать протягом 24 годин в ексікаторі над сірчаною кислотою й розчиняють 12,3 г її в 1 л абсолютного спирту. Для встановлення титру 0,1 н. спиртового розчину бензойної кислоти застосовують оксид кальцію, отриманий прожарюванням вуглекислого кальцію при температурі 950 – 1000 °С протягом 2 – 3 год. Отриманий оксид кальцію ретельно розтирають, переносять у той же тигель і знову прожарюють протягом 30 хв.

У суху конічну колбу місткістю 150 мл наливають 30 мл спирто-гліцеринового розчинника, потім швидко беруть наважку 0,03 – 0,04 г оксиду кальцію і вносять її в колбу, куди додають 1 г попередньо промитого HCl і H_2O та прожареного грубозернистого кварцового піску, добре збовтують і приєднують колбу до зворотного холодильника (рис. 4.1).

Суміш нагрівають до кипіння на електричній плитці з азбестовою сіткою й кип'ятять до появи інтенсивно-рожевого забарвлення розчину. Потім колбу від'єднують від холодильника й негайно титрують її вміст 0,1 н. спиртовим розчином бензойної кислоти до слаборожевого забарвлення. Знову приєднують колбу до зворотного холодильника й розчин кип'ятять. Нагрівання й титрування розчину роблять до зникнення забар-

рвлення, що не з'являється при наступному нагріванні протягом 15–20 хв.

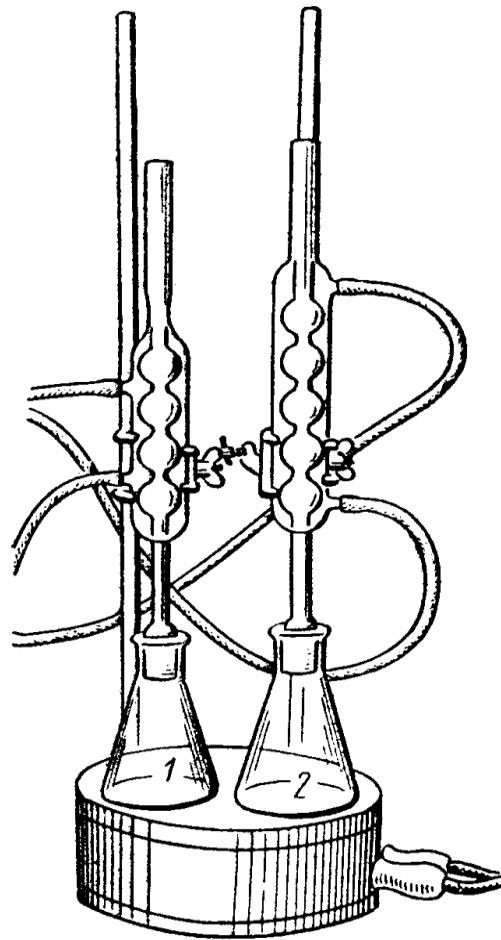


Рисунок 4.1 – Прилад для визначення вільного оксиду кальцію

Кількість оксиду кальцію, що відповідає 1 мл 0,1 н. спиртового розчину бензойної кислоти, обчислюють за формулою

$$T_{\text{CaO}} = G/V,$$

де G – наважка оксиду кальцію, г; V – об'єм 0,1 н. розчину бензойної кислоти, яка пішла на титрування, мл.

Визначення титру вважається закінченим, якщо результати титрування дають розбіжності, що не перевищують 0,00005 г CaO.

Титрований 0,1 н. розчин оцтовокислого амонію готують наступним способом. Оцтовокислий амоній $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ розчиняють у спирті

(не обов'язково в абсолютному), а потім викристалізують його з розчину. Для цього 50 г оцтовокислого амонію розчиняють при нагріванні на водяній бані в 25 мл спирту, а потім швидко охолоджують. Кристали, що випали, відфільтровують через порцелянову лійку (із сітчастим дном для відсмоктування), з'єднану з водоструминним насосом. Отриману сіль сушать в ексікаторі над фосфорним ангідридом або хлористим кальцієм. Для більш повного просушування створюють в ексікаторі невеликий вакуум за допомогою водоструминного насоса, приєднаного до кришки ексікатора. Повне зневоднювання зазвичай настає через 3 - 4 год. сушіння. Для приготування 0,1 н. розчину висушений оцтовокислий амоній розчиняють в абсолютному спирті з розрахунку 8 г/л.

Склянка, в яку поміщають розчин, повинна бути попередньо висушена й обладнана пробкою із двома отворами, в один з яких вставлена хлоркальцієва трубка з фосфорним ангідридом або хлористим кальцієм, а в інший – скляна трубка, з'єднана за допомогою шліфа з бюреткою. Над шліфом трубка повинна мати пришліфований кран. Бюретка закривається пробкою із хлоркальцієвою трубкою з фосфорним ангідридом або хлористим кальцієм. Титр розчину встановлюють за наважками свіжовиготовленого оксиду кальцію, який одержують прожарюванням до постійної ваги чистого вуглекислого кальцію в платиновому тиглі при температурі близько 1000 °С.

Титр розчину оцтовокислого амонію встановлюють так само, як і титр бензойної кислоти.

Для визначення вільного оксиду кальцію в суху конічну колбу ємністю 150 мл вносять близько 1 г клінкеру або цементу й додають 30 мл спирто-гліцеринового розчинника. До колби приєднують пришліфований зворотний холодильник і кип'ятять протягом 10 хв на сітці над електричною плитою. Швидкість появи рожевого забарвлення розчину залежить від кількості вільного оксиду кальцію. Якщо після півгодинного безперервного кип'ятіння забарвлення не з'явилося, можна вважати, що вільний СаО відсутній. З появою рожевого забарвлення киплячу рідину приблизно через кожні 10 хв. кип'ятіння титрують розчином бензойної кислоти або оцтовокислого амонію до зникнення рожевого забарвлення. Нагрівання й титрування повторюють доти, поки не припиниться поява

рожевого забарвлення після 15 – 20 хв. кип'ятіння. Тоді титрування можна вважати закінченим.

Вміст вільного СаО підраховують за формулою

$$\text{СаО}_{\text{вільн.}} = \frac{VT_{\text{СаО}} \cdot 100}{G} \%,$$

де V – кількість розчину бензойної кислоти або оцтовокислого амонію, яка пішла на титрування, мл; $T_{\text{СаО}}$ – кількість СаО, що відповідає 1 мл 0,1 н. розчину бензойної кислоти або оцтовокислого амонію, г; G – суха наважка, г.

Відходи спирто-гліцеринового розчинника збирають у банку із пробкою, потім відганяють при температурі 78 °С, охолоджують безводний спирт холодною водою до 15 °С, перевіряють спиртометром. При цьому спирт, як правило, виходить абсолютний і може бути використаний для роботи.

Усе визначення триває 2 – 4 год. залежно від вмісту вільного оксиду кальцію, тонкості помелу й інших факторів.

4.3. Кінетичні дослідження портландцементного клінкеру

Дослідження процесів мінералоутворення в сировинних сумішах, що включають основні сировинні компоненти для одержання портландцементного клінкеру, що узяті у строго заданому стехіометричному співвідношенні, викликає теоретичний і практичний інтерес.

Для дослідження процесів мінералоутворення готують сировинну суміш, яка включає вапняний компонент (крейда, вапняк, мергель або інший), глину й, при необхідності, добавки, що коректують хімічний склад. Розрахунок сировинної суміші для одержання портландцементного клінкеру проводиться залежно від кількості вихідних компонентів. Помел приготовлених сировинних сумішей здійснюється в кульовому порцеляновому млині у вигляді шламу ($W = 50 \%$) до повного проходження через сито № 008. Із сировинної суміші формуються зразки – циліндри діаметром 15 мм на гідравлічному пресі типу П-125 при питомому тиску пресування 60 – 80 МПа. Випал зразків здійснюється в лабора-

торній криптоловій печі в температурному інтервалі 900 – 1450 °С із ізотермічною витримкою 15, 30, 60, 120 і 180 хв. В отриманих зразках визначається вміст вільного оксиду кальцію етилово-гліцератним методом. Наявність вільного оксиду кальцію в зразках свідчить про те, що синтез ще не завершений. Приклад отриманих результатів досліджень наведено у табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати кінетичних досліджень

Температура синтезу	Витримка, τ , хв	СаО _{вільн.} мас. %	Ступінь перетворення G, %	Швидкість реакції I	$\text{tg } \alpha \cdot 10^4$	$\lg K$	$1000/T$, К
900 °С	15	25,79	48,63	0,0344	1,236	-3,908	0,853
	30	24,11	51,99	0,0403			
	60	23,27	53,65	0,0434			
	120	21,76	56,66	0,0496			
	180	20,59	58,99	0,0548			
1000 °С	15	12,33	74,33	0,1006	3,297	-3,482	0,786
	30	10,45	79,19	0,1209			
	60	9,38	81,32	0,1311			
	120	8,35	83,37	0,1418			
	180	7,20	85,66	0,1550			
1100 °С	15	9,25	81,58	0,1324	2,733	-3,563	0,728
	30	7,66	84,74	0,1495			
	60	6,36	87,33	0,1655			
	120	5,94	88,17	0,1712			
	180	5,5	89,05	0,1775			
1200 °С	15	3,78	92,47	0,2052	5,194	-3,285	0,679
	30	2,87	94,28	0,2263			
	60	2,35	95,32	0,2347			
	120	1,68	96,65	0,2517			
	180	0,56	98,89	0,2909			
1300 °С	15	сліди	~99,5	0,3074	1,57	-3,804	0,636
	30	–	100	0,3333			

Змінними факторами експерименту є температура й ізотермічна витримка при відповідній температурі.

Ступінь перетворення речовини розраховується за формулою

$$G = \frac{\text{CaO}_{\text{заг.}} - \text{CaO}_{\text{вільн.}}}{\text{CaO}_{\text{заг.}}} \cdot 100 \%,$$

де $\text{CaO}_{\text{заг.}}$ – загальна кількість CaO у вихідній сировинній суміші, мас. %;
 $\text{CaO}_{\text{вільн.}}$ – кількість вільного CaO після випалу, визначена за етилово-гліцератним методом аналізу.

Залежність ступеня перетворення речовини від часу наведено на рис. 4.2.

Як видно із отриманих результатів з підвищенням температури засвоєння оксиду кальцію відбувається швидше. При температурі $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 3 год синтезу засвоєння CaO закінчується повністю. До цього часу при $900, 1000, 1100, 1200, 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно вступає в реакцію приблизно $79,4; 92,8; 94,5; 99,5$ і 100 мас. % CaO .

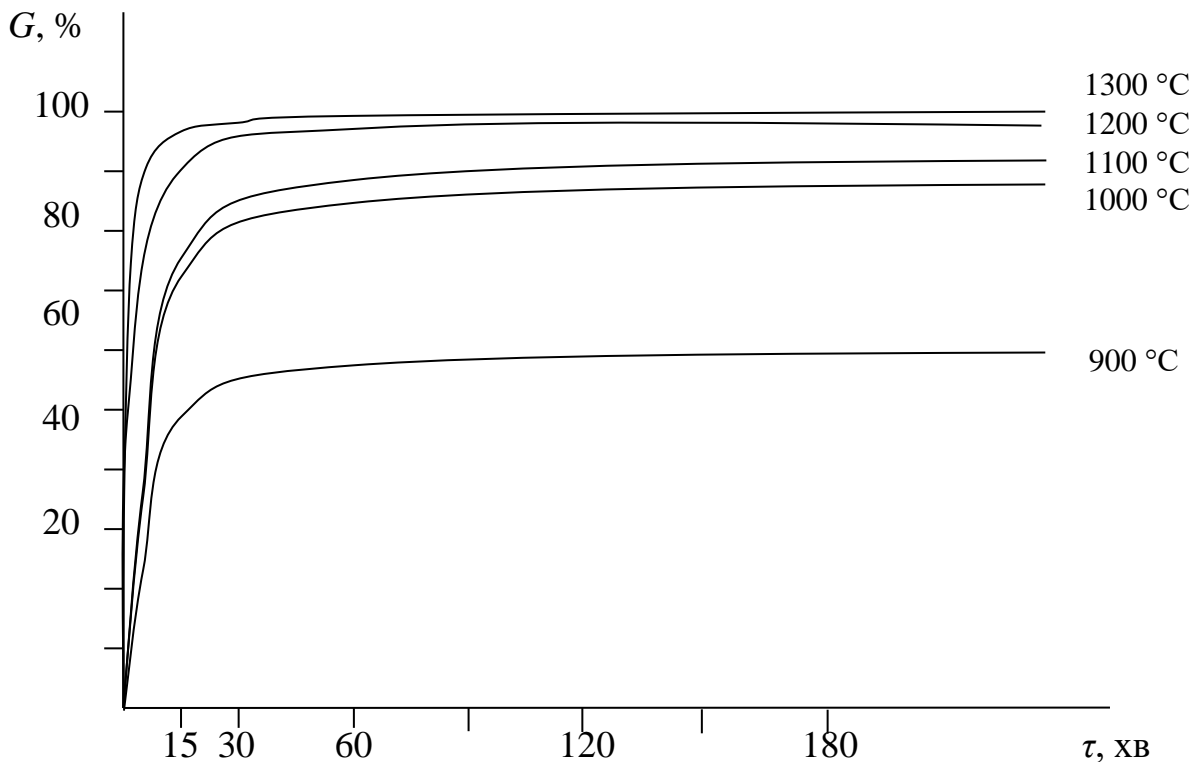


Рисунок 4.2 – Залежність ступеня перетворення від температури

Симбатно змінюється й швидкість взаємодії CaO з іншими компонентами сировинної шихти, розрахована за рівнянням Гінстлінга-Броунштейна:

$$I = 1 - \frac{2}{3}G - (1 - G)^{2/3},$$

де I – швидкість реакції; G – ступінь перетворення реагентів.

Результати розрахунків наведено в табл. 4.7. Графічна залежність $I = f(T)$ для кожної температури показана на рис. 4.3.

На підставі проведених досліджень визначається константа швидкості реакції мінералоутворення для кожної температури.

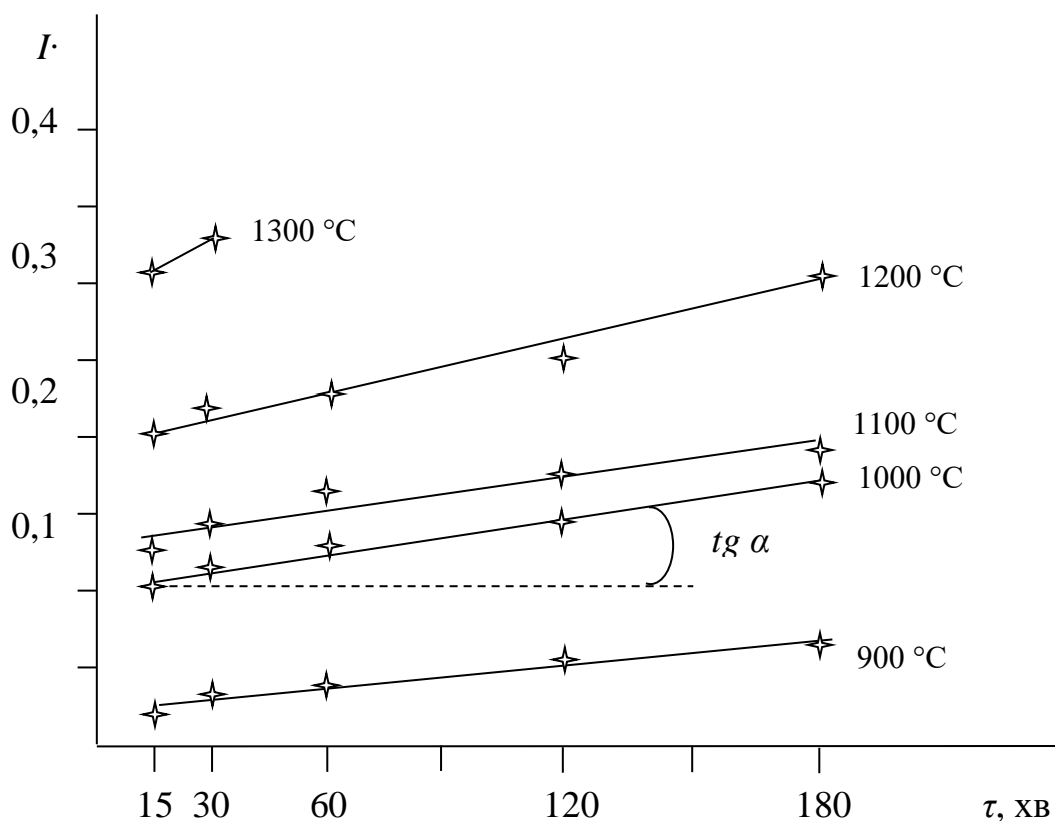


Рисунок 4.3 – Залежність швидкості реакції від температури

Константа швидкості реакції відповідно до закону Больцмана виражається рівнянням Арреніуса

$$K = A \cdot e^{\frac{-Q}{RT}}, \quad (4.1)$$

де A – передекспоненціальний множник; R – універсальна газова постійна: $R = 8,314 \cdot 10^3$ Дж/(моль·К); T – температура, К; Q – енергія активації кристалічної ґратки, кДж/моль.

Числове значення константи швидкості реакції відповідає відношенню між числовими значеннями швидкості реакції й часу витримки для кожної температури ($\operatorname{tg} \alpha$) (рис. 4.4).

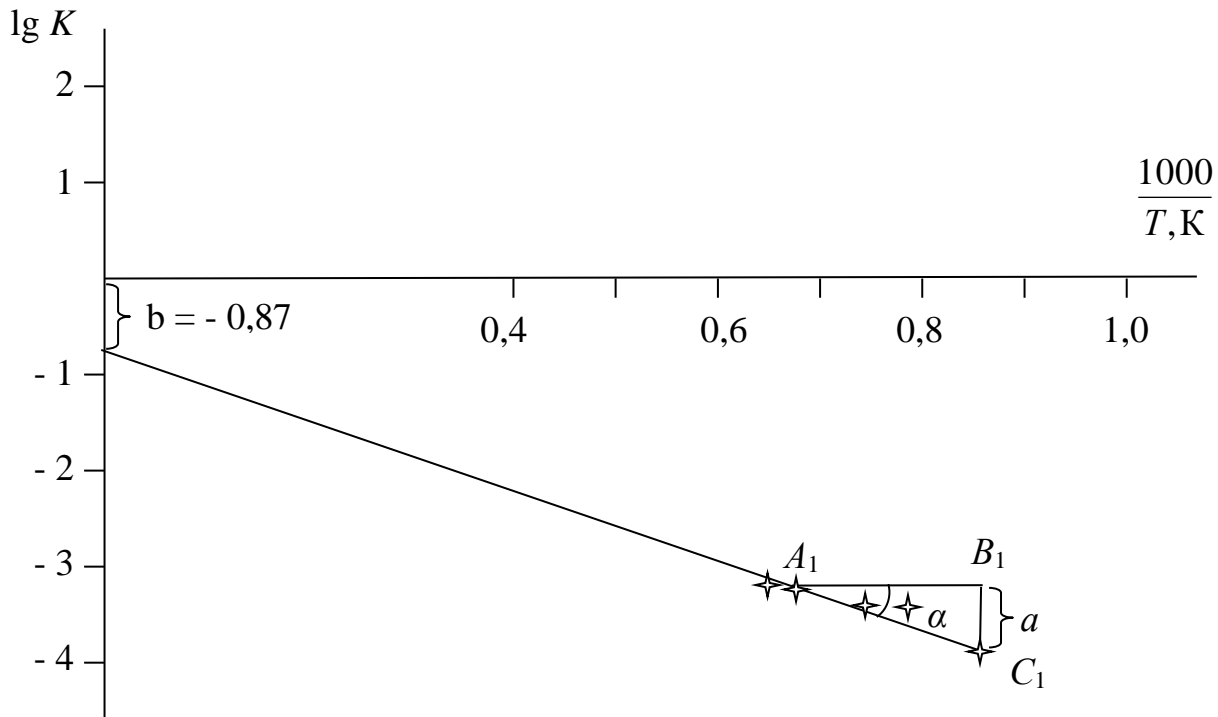


Рисунок 4.4 – Залежність $\lg K$ від температури

Результати розрахунків $\operatorname{tg} \alpha$ наведено в табл. 4.7.

Рівняння (4.1) у логарифмічному виразі має вигляд

$$\ln K = \ln A \cdot e^{\frac{-Q}{RT}} \quad \text{або} \quad \lg K = b - \frac{a}{T}, \quad \text{де} \quad a = \frac{Q}{2,303R}; \quad b = \lg A; \quad \text{звідси}$$

$Q = a \cdot 4,575$; a – значення, що береться із графіка залежності $\lg K = f(T)$ (рис. 4.3) і що чисельно дорівнює відношенню різниці між числовими значеннями координат лінії; b – значення, що дорівнює чисельному значенню відрізка, який відтинається прямою на осі ординат ($\lg K$); 4,575 – коефіцієнт переведення натурального логарифмічного виразу в десятковий.

Результати розрахунків наведено на рис. 4.4.

Визначається числове значення « b » і « a »:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{|3,908 - 3,285|}{(0,853 - 0,679)} = 3,5;$$

$$A = 10^b = 10^{-0,87} = 0,1348 \approx 13,5 \cdot 10^{-2} .$$

За наявності всіх необхідних даних обчислюється значення енергії активації:

$$Q = 3,5 \cdot 4,575 = 16,01 \text{ ккал/моль} = 66,92 \text{ кДж/моль}.$$

Отже, константа швидкості реакції виражається формулою

$$K = 13,5 \cdot 10^{-2} \cdot e^{\frac{-66,92}{RT}} .$$

Результати експериментальних досліджень твердофазних процесів, що відбуваються в сировинній суміші для одержання портландцементного клінкера в інтервалі температур 900 – 1300 °С, показують, що процес взаємодії оксиду кальцію з кислотними оксидами з помітною швидкістю починає перебігати вже при 900 °С і закінчується при 1300 °С. Встановлено, що для всіх значень температур залежність $I = f(\tau)$ є лінійною, що свідчить про перевагу дифузійного характеру взаємодії оксидів. Прямі лінії не виходять із початку координат, а відтинають на осі ординат відрізки; це свідчить про те, що в початковий період перебігу процесу швидкість лімітується хімічною взаємодією компонентів сировинної суміші на границі розподілу фаз, і тільки після утворення безперервного шару продуктів твердофазних реакцій швидкість процесу визначається дифузійним характером.

Процеси мінералоутворення відбуваються за рахунок реакцій у твердій фазі, швидкість яких задовільно описується рівнянням Гінстлінга-Броунштейна.

Кінетична оцінка перебігу реакції викликає як теоретичний, так і практичний інтерес, тому що дає кількісний опис процесів, що відбуваються при синтезі цементів.

З метою підтвердження проведених кінетичних досліджень плавності засвоєння оксиду кальцію й утворення тих або інших сполук при

зазначених температурах і ізотермічних витримках зазвичай проводять рентгенографічний аналіз зразків.

4.4. Оцінка в'язучих властивостей клінкерних мінералів

Відомо, що формування цементного каменю визначається як хімічною природою вихідного мінералу, так і умовами реалізації взаємодії цього мінералу з водою. Зовнішні умови позначаються насамперед на інтенсивності взаємодії цього мінералу з водою. Якщо в певних умовах композиція «мінерал – вода» поводить себе інертно, то вихідний мінерал не має гідравлічної активності, а якщо відбувається активна взаємодія мінералу з водою з утворенням якої-небудь гідратної фази, здатної твердіти, то мінерал має в'язучі властивості.

Із зазначеного випливає, що для виявлення в'язучих властивостей необхідно виконати оцінку реакційної здатності сполуки стосовно води. Оскільки реакції взаємодії силікатів, алюмінатів, феритів кальцію та барію і їх аналогів з водою відносяться до реакцій кислотно-основної взаємодії, то швидкість їх буде визначатися ступенем відмінності кислотно-основних властивостей вихідних реагентів і води.

Враховуючи, що силікати і їх аналоги відрізняються малою розчинністю й нездатні змінити рН-розчинність, С. С. Бацановим було запропоновано використовувати для оцінки кислотно-основних властивостей силікатів, алюмінатів, феритів кальцію та барію значення електронегативності кисеньвмісних сполук, що розраховується як середні геометричні електронегативності елементів, що складають сполуку. Зіставлення значень відносних електронегативностей ($EN_{\text{відн.}}$) сполук, отриманих діленням $EN_{\text{сполуки}}$ на $EN_{\text{води}}$, з наявністю в'язучих властивостей і умовами їх прояву дозволили констатувати таке: в'язучі властивості виявляються лише в тих сполуках, значення яких перебувають у деякому певному інтервалі. Н. Ф. Федоровим встановлено, що сполуки, які відрізняються малими значеннями $EN_{\text{відн.}} (\leq 0,68)$, не утворюють цементного каменю через занадто інтенсивну взаємодію з водою, а сполуки, що мають $EN_{\text{відн.}} \geq 0,83$, не утворюють його через малу реакційну здатність до води. Зіставлення значень EN сполук і умов прояву в'язучих властивостей виявило наявність чітко вираженої тенденції сполуки, що характери-

зуються високими значеннями $EN_{\text{відн}}$, виявляти в'язучі властивості тільки при автоклавній обробці, що прискорює процеси твердіння, а для сполук, що мають $EN_{\text{відн}}$ менш ніж 0,75, автоклавна обробка є неефективною, тобто твердіння мінералів відбувається за нормальних умов.

Таким чином, запропонована методика дозволяє не тільки якісно оцінити наявність в'язучих властивостей, але й підібрати більш сприятливі умови їх твердіння.

Як вихідні дані для оцінки гідравлічної активності клінкерних мінералів використовуються значення, наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Значення електронегативностей деяких елементів

Елемент	Значення електронегативностей
Mg	1,56
Ca	1,22
Ba	1,02
Si	2,62
Al	1,59
Fe	3,52
O	5,21
H	3,55

Розрахунок електронегативностей клінкерних мінералів здійснюється як середнє геометричне з електронегативностей елементів, що складають сполуку. При цьому степінь кореня дорівнює сумі індексів усіх атомів сполуки.

Наприклад, для сполуки Ca_3SiO_5

$$EN = \sqrt[9]{1,22^3 \cdot 2,62^1 \cdot 5,21^5} = 2,9751.$$

Для води H_2O

$$EN = \sqrt[3]{3,55^2 \cdot 5,21} = 4,0343.$$

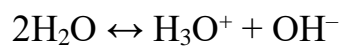
Відносна електронегативність, що характеризує в'язучі властивості сполуки, становить

$$EN_{\text{відн}} = 2,9751/4,0343 = 0,7475.$$

Аналіз отриманих результатів показує, що сполука Ca_3SiO_5 характеризується високими значеннями відносної електронегативності, й тому, враховуючи класифікацію С. С. Бацанова, вона повинна твердіти в нормальних умовах, автоклавна обробка для нього неефективна.

4.5. Потенціометричне визначення рН гідролізу твердих неорганічних матеріалів

Вода – типовий амфотерний електроліт, електролітична дисоціація якого виражається рівнянням



У хімічно чистій воді концентрації іонів H^+ і OH^- дуже малі і рівні між собою. Їх абсолютні значення можна розрахувати, використовуючи значення константи K електролітичної дисоціації води, як слабкого електроліту відповідно до формули

$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,8 \cdot 10^{-16} \quad (\text{при } 25 \text{ }^\circ\text{C});$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{1000}{18 \cdot 1} = 55,5 \text{ моль/л} \quad K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{55,5} = 1,8 \cdot 10^{-16};$$

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,5 = 10^{-14}; \quad K_{\text{в}} = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14},$$

де $K_{\text{в}} = 10^{-14}$ – іонний добуток води (при $25 \text{ }^\circ\text{C}$). У хімічно чистій воді $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$ моль/л, середа нейтральна.

Водневий показник рН – це логарифмічний спосіб вираження дуже малої концентрації іонів у хімічно чистій воді і водних розчинах електролітів:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] \quad \text{або} \quad \text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

В нейтральній середі $\text{pH} = 7$. В кислих середах $[\text{H}^+] > 10^{-7}$, $\text{pH} < 7$.
В лужних середах $[\text{H}^+] < 10^{-7}$, $\text{pH} > 7$.

В загальному вигляді у воді та водних розчинах слабких електролітів виконується рівність $pH + pOH = 14$, де $pOH = -\lg [OH^-]$ – гідроксильний показник.

Кислотно-основні характеристики водних розчинів визначаються співвідношенням концентрацій іонів H^+ і OH^- , яке може змінюватися як у результаті прямого додавання в розчин кислоти або основи, так і в результаті перебігу реакції гідролізу певного типу неорганічних солей при взаємодії з водою.

Зокрема гідролізу може піддаватися портландцемент.

Аналіз складу клінкеру показує, що при контакті портландцементу з водою (водна витяжка) можливий гідроліз солей по аніону, який супроводжується утворенням лужного середовища, що слід враховувати в процесах виробництва і експлуатації будівельних виробів.

Метод вимірювання заснований на потенціометричному визначенні pH як функції ЕРС гальванічного елемента, що складається зі скляного індикаторного електрода і електрода порівняння (хлорсрібного). Потенціал скляного електрода визначається концентрацією (активністю) іонів водню.

Скляний електрод відноситься до мембранних електродів, має вигляд тонкостінної скляної кульки, заповненої розчином соляної кислоти, всередині якої поміщений допоміжний хлорсрібний електрод. Якщо два розчини (внутрішній розчин в скляній кульці електрода і зовнішній досліджуваній розчин) розділені тонкою скляною мембраною, то між її зовнішньою і внутрішньою поверхнями виникає різниця потенціалів, величина якої залежить від активності іонів водню в досліджуваному розчині. Таким чином, потенціал скляного електрода визначається концентрацією іонів водню:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{RT}{F} \ln C_{H^+} = f(C_{H^+}),$$

де ε_0 – потенціал хлорсрібного електрода, В; R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К); T – температура, К; F – стала Фарадея, Кл/моль; C_{H^+} – концентрація іонів водню, моль/л.

Вимірювана за допомогою іономіра (*pH*-метра) ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів вимірювального (індикаторного) скляного електрода і хлорсрібного – електрода порівняння, потенціал якого має постійне значення (при певній температурі):

$$E_{PC} = \varepsilon_{\text{склян.електрод}} + \varepsilon_{\text{хлорсрібн.електрод}};$$

$$E_{PC} = E^0 - \frac{2,303 \cdot RT}{F} \cdot pH;$$

$$E_{PC} = f(C_{H^+}) = f(pH).$$

У сучасних іономірах є можливість включення індикації результату вимірювань як в значеннях мВ (ЕРС), так і в значеннях рН. Крім того, функції індикаторного електрода і електрода порівняння може одночасно виконувати один комбінований електрод.

У загальному випадку при вимірюваннях рН слід враховувати, що потенціал скляного електрода залежить не тільки від активності іонів водню, але і від температури, і кислотно-основних властивостей середовища. В області сильнолужних або сильнокислих середовищ виникають так звані «лужна помилка» і «кислотна помилка» відповідно. Для вимірювань слід застосовувати скляні електроди, призначені для роботи в певних інтервалах, зазначених в їх паспорті. У сучасних рН-метрів є і автоматична температурна компенсація, що дозволяє усунути помилки, якщо змінюється температура аналізованих проб води.

Виконання роботи

1. Зразок портландцементу помістити в фарфорову чашку і сушити до постійної маси при 105 °С в сушильній шафі.
2. Зважити 3 наважки масою по 5,0 г, перенести наважки в конічні колби, додати в колби по 100 мл дистильованої води.
3. Закрити колби щільно пробками, збовтувати протягом години з інтервалом 5–10 хв.
4. Профільтрувати вміст колб через фільтр середньої щільності, зібрати фільтрати в 3 стаканчики.

5. У кожному стаканчику провести вимір водневого показника згідно з інструкцією до іономіра. Результати вимірювань занести в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Результати вимірювань водневого показника

№ зразка	Маса зразка, г	Значення рН зразка	Середнє значення рН
1	2	3	4

За результатами виконаних досліджень зробити висновок.

4.6. Визначення гідралічної активності мінеральних добавок

Мінеральні добавки, одержувані з природної або техногенної сировини, являють собою порошки і відрізняються від хімічних модифікаторів тим, що вони не розчиняються у воді, будучи тонкодисперсною складовою твердої фази бетону або розчину.

Тонкомолоті мінеральні добавки, залежно від їх складу, хімічної активності і переважного механізму дії, поділяються на такі групи:

- неактивні – добавки-наповнювачі, які застосовуються тільки як мікронаповнювачі;
- активні – добавки, що мають самостійну або приховану гідралічну активність або пуцоланічну дію (добавки-наповнювачі або добавки-замінники частини цементу);
- пластифікуючі – дисперсні мінеральні речовини, здатні при змішуванні з водою утворювати колоїдний клей і фізично зв'язувати велику кількість води.

Активні мінеральні добавки-наповнювачі – це речовини природного походження або промислові відходи (техногенні продукти), що знаходяться в тонкодисперсному стані або що подрібнені до тонкості помелу цементу, які мають гідралічну активність або пуцоланічну дію.

Гідралічна активність (ГА, мг/г) мінеральних добавок характеризується масою гідроксиду кальцію (у перерахунку на СаО, мг), сорбованого із розчину протягом 30 діб з розрахунку на 1 г добавки.

Пуцоланічна активність – здатність добавки зв'язувати СаО в низькоосновні гідросилікати кальцію (ГСК).

Активні мінеральні добавки містять речовину, здатну в звичайних умовах вступати в хімічну взаємодію з гідроксидом кальцію. У діатомітах, трепелах та інших добавках осадового походження такою речовиною є полікремнієві кислоти $n\text{H}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$, а у вулканічних і штучних – алюмосилікати. Мінеральна добавка вважається активною, якщо вона забезпечує кінець схоплювання суміші, приготовленої на основі добавки і вапна-пухнянки, не пізніше 7 діб після замішування, і водостійкість зразка не пізніше 3 діб після кінця його тужавіння.

Механізм дії гідравлічно активних добавок в основному обумовлений їхньою хімічною взаємодією з вапном, що утворюється в результаті гідролізу Ca_3SiO_5 при гідратації цементу. При цьому утворюються переважно низькоосновні ГСК типу CSH (В), гідроалюмінати і гідроферити кальцію, які, збільшуючи гелеву складову цементного каменю, покращують міцнісні та деформативні властивості бетону.

Пуцоланічний ефект дії тонкодисперсних добавок у бетонах проявляється в хімічній взаємодії активного кремнезему з вапном за схемою



Утворення ГСК забезпечує підвищення щільності і міцності цементного каменю і відповідно бетону і розчину за рахунок залучення активної частини добавки до структури цементного каменю.

Зменшення вмісту вільного CaO в структурі цементного каменю сприяє підвищенню корозійної стійкості бетону до корозії 1-го виду (вилуговування) і корозії 2-го виду (хімічної корозії), оскільки виключає утворення легкорозчинних гідроксидів магнію, натрію та інших.

Таким чином, введення хімічно активних мінеральних добавок-наповнювачів сприяє не тільки скороченню витрати цементу, але й підвищенню корозійної стійкості бетону, що свідчить про технічну і економічну ефективність використання добавок у бетонах і розчинах.

Як сировину для одержання активних мінеральних добавок-наповнювачів використовують діатоміт, трепел, трепеловидну опоку, кремнеземисту опоковидну породу, вулканічний попіл, вулканічні туфи і пемзи, вітроф, трас, перліт невипалені; а також промислові відходи – золи і шлаки ТЕС (зола-винесення, зола-шлаки); золу горючих сланців; гранульовані доменні шлаки; відвальні доменні шлаки; фосфорні

шлаки – відходи електротермічного виробництва фосфору, що містять у своєму складі CaO і SiO_2 в сумі до 95 %; нефеліновий шлам – відходи глиноземного виробництва, що містять до 80 % мінералу беліту, частково гідратованого; сітроф, червоний бокситовий шлам – відходи алюмінієвого виробництва; мікрокремнезем (ультрадисперсні відходи феросплавного виробництва – пил газоочищення виробництва феросиліцію, кристалічного кремнію, силікомарганцю, феросилікохрому).

Активні мінеральні добавки-замінники частини цементу – це тонкомолоті мінеральні речовини, що складаються з низькоосновних силікатів, алюмінатів та феритів кальцію, аморфного кремнезему та інших речовин, які мають досить помітну гідравлічну і пуцоланічну активність, особливо при твердненні бетону в автоклавах або пропарювальних камерах.

Механізм дії таких добавок зумовлений процесами гідратаційного тверднення. Метою застосування таких добавок є надання бетонній і розчинній суміші необхідної рухливості і заміна ними частини клінкеру, що не призводить до зниження міцності бетону або розчину.

До добавок-замінників частини клінкеру можна віднести тонкоподрібнену кремнеземисту опоковидную породу, доменні гранульовані шлаки, доменне борошно, золи-винесення і гранульовані шлаки ТЕС. Технічні вимоги, яким повинні задовольняти такі добавки, аналогічні сировинним матеріалам, з яких виробляються активні мінеральні добавки: питома поверхня – $200 \div 500 \text{ м}^2/\text{кг}$, розмір зерен – менше 0,1 мм; аморфна, склоподібна та частково кристалізована структура; забезпечення отримання стійких у процесі експлуатації новоутворень.

Мінеральні добавки для бетонів і розчинів вважаються активними, якщо вони забезпечують кінець тужавіння тіста, приготованого на основі добавки і вапна-пухнянки, не пізніше 7 діб після змішування з водою і водостійкість зразків із цього ж тіста не пізніше 3 діб після кінця його тужавіння. Крім того, в добавках, одержуваних з кремнеземистих порід, введено обмеження за вмістом ангідриду сірчаної кислоти (SO_3 має бути не більше 3 мас. %), а в кремнеземистій опоковидной породі SiO_2 має бути не менше 75 мас. %, Al_2O_3 – не менше 5 мас. %, SO_3 – не більше 0,3 мас. %, вигоряючих частинок – не більше 7 мас. % і розчинного глинозему – не більше 2 мас. %.

Хімічні склади доменних відвальних і гранульованих шлаків, а також доменного борошна повинні відповідати EN 197–1:2002.

До добавок, отриманих із золи ТЕС, ставляться вимоги за вмістом сульфатів і вигоряючих частинок незгорілого вугілля, які регламентуються нормативними документами.

На рис. 4.5 наведено зовнішній вигляд дисперсної мінеральної добавки для бетонів і розчинів.

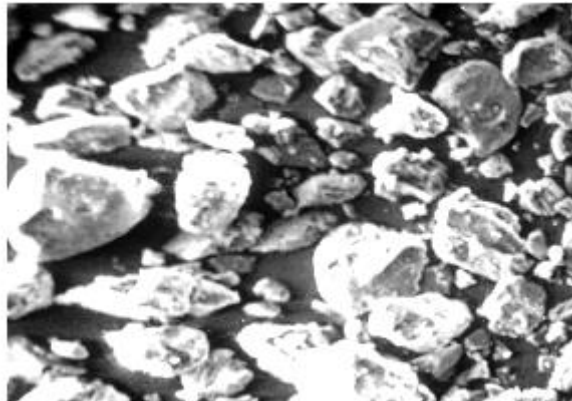


Рисунок 4.5 – Частинки сухої мінеральної добавки розміром 40 – 300 мкм для бетонів та розчинів

Для випробувань необхідно мати:

- сито 008;
- сито 016;
- шафу сушильну лабораторну типу СНОЛ, що забезпечує підтримання температури $(105 \pm 5) ^\circ \text{C}$;
- ваги лабораторні за ДСТУ EN 45501:2007 з похибкою зважування $\pm 0,1$ г;

У приміщенні для проведення випробувань повинна бути температура $(20 \pm 2) ^\circ \text{C}$ і відносна вологість повітря $(50 \pm 15) \%$.

Готують наважку масою 30 – 40 г сухого (висушеного до постійної маси при температурі не більше $105 ^\circ \text{C}$) мінерального порошку з розміром частинок 80 – 160 мкм. Готують розчин 1 гідроксиду кальцію, для чого 0,25 г вапна поміщають у конічну колбу місткістю 500 мл, додають 50 мл 10 %-го розчину сахарози і енергійно збовтують протягом 15 хв. Для поліпшення перемішування у колбу попередньо поміщають 3 – 5 оплавлених скляних стрижнів завдовжки 5 – 7 мм.

1. Визначають вихідну концентрацію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в розчині T_1 , мг/л, сахаратним методом, для чого 50 мл розчину I поміщають в конічну колбу, додають 2-3 краплі фенолфталеїну і титрують 1Н розчином соляної кислоти. Титрування проводять краплями до першого зникнення рожевого забарвлення. Титр розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в перерахунку на CaO , мг/л, обчислюють за формулою

$$T_{(\text{CaO})} = \frac{C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{еквCa}(\text{OH})_2} \cdot 10^3}{M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}},$$

де C_{HCl} – концентрація соляної кислоти, моль/л; V_{HCl} – об'єм розчину соляної кислоти, витрачений на титрування, мл; $M_{\text{еквCa}(\text{OH})_2}$ – молярна маса еквівалента $\text{Ca}(\text{OH})_2$, яка дорівнює 37 г/моль; $V_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ – об'єм розчину гідроксиду кальцію, мл; 10^3 – коефіцієнт переведення маси (г–мг).

З урахуванням вихідних даних маємо

$$T_{(\text{CaO})} = \frac{1 \cdot V_{\text{HCl}} \cdot 37 \cdot 10^3}{50} = 740 \cdot V_{\text{HCl}}.$$

2. Визначають концентрацію гідроксиду кальцію в розчині T_2 , мг/л, після експозиції з мінеральною добавкою певного виду, для чого наважку сухого мінерального порошку (добавки) масою 4 – 5 г поміщають в 200 мл розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$, титр якого розрахований за вищенаведеною формулою. Отриману суспензію перемішують впродовж 30 с, після чого зберігають 30 діб при температурі (20 ± 2) °С, щодоби перемішуючи протягом 30 с. Далі суспензію фільтрують, відбирають 50 мл фільтрату, визначають кінцеву концентрацію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в розчині (за методикою п. 1)

Розраховують гідравлічну активність (ГА) мінеральної добавки за формулою

$$\text{ГА} = \frac{V_{\text{розчину}} \cdot (T_1 - T_2)}{m_{\text{добавки}}},$$

де $m_{\text{добавки}}$ – маса мінеральної добавки, г; T_1 – титр вихідного розчину гі-

гідроксиду кальцію (у перерахунку на CaO), мг/л; T_2 – титр гідроксиду кальцію у фільтраті (в перерахунку на CaO), мг/л; $V_{\text{розчину}}$ – об’єм розчину гідроксиду кальцію, л (у досліді 0,2 л).

Результати досліджень заносять до табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Результати досліджень гідравлічної активності мінеральної добавки

Тип добавки	$m_{\text{добавки}}$, г	T_1 , мг/л	T_2 , мг/л	$\Gamma_A = \frac{0,2 \cdot (T_1 - T_2)}{m_{\text{добавки}}}$
1	2	3	4	5

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7. Технологічні властивості в’язучих матеріалів

4.7.1. Визначення питомої й об’ємної ваги цементу

Питома вага в’язучих речовин у ряді випадків характеризує їх якість. За питому вагу беруть вагу одиниці об’єму матеріалу в абсолютно щільному стані, виражену у грамах на кубічний сантиметр.

Визначення питомої ваги в’язучих речовин може проводитися на різних приладах. Найпоширенішим є прилад Ле-Шательє (рис. 4.6) – посудина ємністю 120 – 150 см³ з вузькою шийкою довжиною 18 – 20 см і діаметром 1 см. У нижній частині шийки є розширення, поблизу якого знизу й зверху нанесені поділки, за якими проводиться відлік з точністю до 0,1 см³.

Прилад (попередньо вивірений та градуйований) поміщають у скляний посуд з водою так, щоб уся градуйована частина його була занурена у воду. Щоб уникнути спливання, прилад закріплюють у спеціальному штативі. Під час визначення питомої ваги необхідно стежити за тим, щоб як при першому, так і при другому відліках температура води в посудині була однаковою й відповідала температурі, при якій градуювали прилад.

Прилад наповнюють безводним гасом до нижньої нульової риси (по нижньому меніску). Після цього вільну від гасу частину приладу, вище від нульової риси, ретельно протирають тампоном з фільтруваль-

ного паперу. Замість гасу можна застосовувати безводний бензин або бензол.

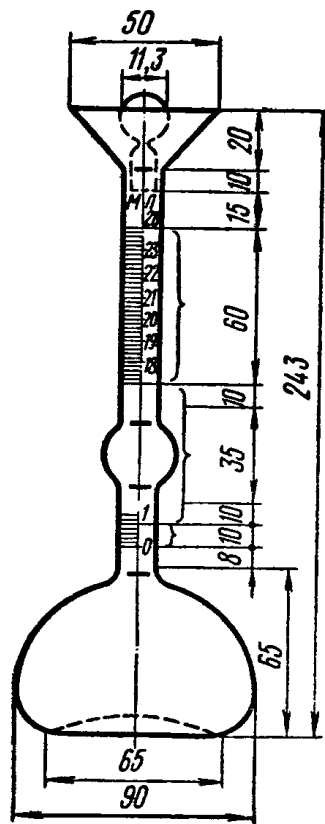


Рисунок 4.6 – Прилад для визначення питомої ваги

Цемент попередньо висушують протягом 2 год. при температурі 105 – 110 °С і потім охолоджують в ексікаторі.

Після цього відважують 65 г з точністю до 0,01 г і всипають через лійку приладу ложечкою, совочком або іншим пристосуванням невеликими, рівномірними порціями доти, поки рівень рідини в приладі не підніметься до однієї з поділок у межах градуйованої частини приладу.

Перед другим відліком для видалення бульбашок повітря прилад виймають із посудини з водою й повертають його в похилому положенні протягом 10 хв.

Після цього прилад знову поміщають не менш ніж на 10 хв. у воду і роблять відлік рівня рідини в приладі.

У випадку якщо цемент застрягне у вузькій частині приладу, його обережно проштовхують униз дротиком.

Питому вагу цементу обчислюють за формулою

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ г/см}^3,$$

де G – наважка цементу, г; V – об’єм рідини, витиснутої цементом, см^3 .

Питому вагу визначають із точністю до $0,01 \text{ г/см}^3$, як середнє арифметичне результатів двох дослідів, що відрізняються один від одного не більш ніж на $0,02 \text{ г/см}^3$.

Результати визначення питомої ваги цементу записують за формою табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Визначення питомої ваги цементу

Найменування цементу	Дата визначення	Номер визначення	Температура води, у яку занурений прилад, °С.	Вага наважки цементу, г	Об’єм рідини, витиснутої цементом, мл	Питома вага цементу, г/см^3
1	2	3	4	5	6	7

Матеріали й апаратура. Випробований цемент; безводний гас, бензин або бензол; фільтрувальний папір; прилад для визначення питомої ваги; скляна посудина (батарейна банка); штатив; технічні ваги з гирьками до них; сушильна шафа; термометри; ексікатор; ложечка; дротик.

У дослідницьких роботах при невеликій кількості матеріалу й при необхідності одержання більш точних результатів питому вагу визначають пікнометричним методом.

Пікнометр являє собою скляну колбу з вузькою шийкою довжиною близько 4 см і внутрішнім діаметром шийки 3,5 – 4,0 мм; верхня її частина має невелике розширення. Ємність пікнометра до риси на шийці становить близько 25 мл. Пікнометр закривають притертою скляною пробкою. На верхній частині шийки й на пробці витравлений номер.

Сухий і чистий пікнометр зважують на аналітичних вагах, після чого наповнюють безводним спиртом, бензином, толуолом або іншою придатною для цієї мети рідиною й закривають пробкою. Закритий пікнометр занурюють до шийки у водяну баню, що має температуру $15 \text{ }^\circ\text{C}$, і залишають у воді на 20 – 40 хв. для вирівнювання температури. Після

цього пікнометр витирають досуха, встановлюють рівень рідини точно по мітці й зважують. Після другого зважування частину рідини (приблизно 1/2 – 2/3 об'єму) зливають із пікнометра й за допомогою спеціальної лопатки вводять наважку цементу, попередньо висушеного протягом 2 годин при температурі 110 ± 5 °С і потім охолодженого. Наважка береться в кількості 5 – 10 г. Повітря, що утримується в порошкоподібному матеріалі, видаляють шляхом витримування під вакуумом в ексикаторі (з ексикатора повітря відкачують за допомогою водоструминного або масляного насоса). Після цього пікнометр охолоджують у тій ж водянній бані, доповнюють рідиною до мітки, насухо витирають і знову зважують.

Питому вагу, г/см^3 , визначають за формулою

$$\gamma = \frac{G \cdot \gamma_{\text{пит.р.}}}{G + G_1 - G_2},$$

де G – вага цементу, г; $\gamma_{\text{пит.р.}}$ – питома вага рідини, г/см^3 ; G_1 – вага пікнометра з рідиною, г; G_2 – вага пікнометра з рідиною й наважкою, г.

Результати двох дослідів не повинні відрізнятись один від одного більш ніж на $0,005 \text{ г/см}^3$.

Орієнтовні питомі ваги в'язучих речовин наведені в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Питомі ваги в'язучих речовин

Найменування матеріалу	Питома вага, г/см^3	Найменування матеріалу	Питома вага, г/см^3
Портландцемент	3,0 – 3,2	Ангідритове в'язуче	2,8 – 2,9
Пуцолановий портландцемент	2,7 – 2,9	Високовипалювальний гіпс	2,9 – 3,0
Шлакопортландцемент	2,8 – 3,0	Каустичний магнезит	3,1 – 3,4
Глиноземний цемент	3,1 – 3,3	Повітряне вапно (негашене)	3,1 – 3,3
Вапняно-пуцоланове в'язуче	2,2 – 2,8	Повітряне вапно (гідратне)	2,0 – 2,4
Будівельний гіпс	2,5 – 2,7	Гідравлічне вапно	2,2 – 3,0

Під **об'ємною вагою** розуміють вагу одиниці об'єму матеріалу в природному стані, включаючи пори. Для порошкоподібних матеріалів розрізняють два види об'ємної ваги: у пухкому й ущільненому стані.

Об'ємну вагу матеріалу в пухкому стані визначають за допомогою лійки або похилої площини. Лійка (рис. 4.7) складається з переверненого усіченого конуса 1, який переходить у трубку 2 із засувкою 3. У середині усіченого конуса розташоване сито 4 з отворами діаметром 2 мм, що охороняє трубку 2 від влучення в неї великих часток.

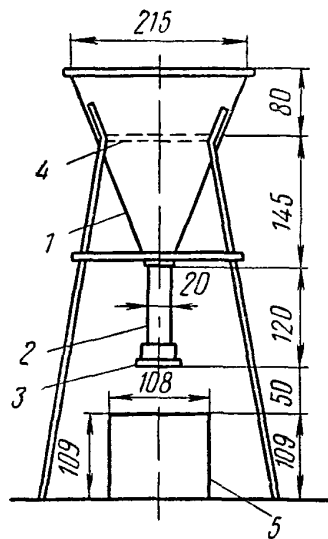


Рисунок 4.7 – Лійка для визначення об'ємної ваги

Конус спирається на триногу підпору. Під трубкою конуса міститься літрова посудина 5. Відстань між верхнім обрізом посудини й засувкою дорівнює 50 мм.

У лійку приладу при закритій засувці насипають 2 л висушеного матеріалу, після чого відкривають засувку й, помішуючи порошок на ситі, змушують його проходити крізь сито й наповнювати літрову посудину.

Коли посудина наповниться з деяким надлишком, засувку закривають, а надлишок порошку зрізують металевою або дерев'яною лінійкою урівень із краями посудини, тримаючи лінійку в похилому положенні й притискаючи її до країв посудини. При цьому слід уникати поштовхів, що сприяють ущільненню матеріалу. Потім посудину з матеріалом зважують і визначають об'ємну вагу, г/см^3 , за формулою

$$\gamma_{об} = \frac{G_1 - G}{V},$$

де G – вага порожнього посуду, г; G_1 – вага посуду з матеріалом, г;
 V – об’єм посуду, см³.

Похила площина (рис. 4.8) являє собою металевий або дерев’яний, оббитий залізом лоток, розташований під кутом 45°.

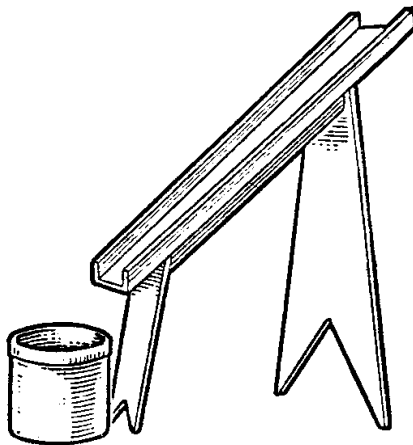


Рисунок 4.8 – Похила площина для визначення об’ємної ваги

Під нижнім обрізом лотка розміщується літрова посудина, причому відстань між нижнім обрізом похилої площини й верхнім краєм посудини повинна дорівнювати 50 мм. Цемент насипають на верхню частину площини совком, тримаючи його на відстані 50 мм над площиною. Коли посудина наповниться матеріалом з деяким надлишком, надлишок зрізують і далі виконують дії, що описані вище.

Визначення об’ємної ваги виконують три рази й беруть середнє арифметичне із трьох визначень.

Об’ємну вагу матеріалу в ущільненому стані визначають за допомогою приладу, наведеного на рис. 4.9.

Цей прилад може служити й для визначення тонкості помелу. У даному досліді коробка із ситами 1, що розташовується над літровою посудиною 2, вилучається. Літрова посудина має верхні наставні борти висотою 30 мм. Ущільнення досягається тим, що літровій посудині передаються рівномірні поштовхи, причому щосекунди посудина зазнає

сильного удару об плоску залізну підбивку. У міру осідання матеріалу в посудині туди засипають цемент.

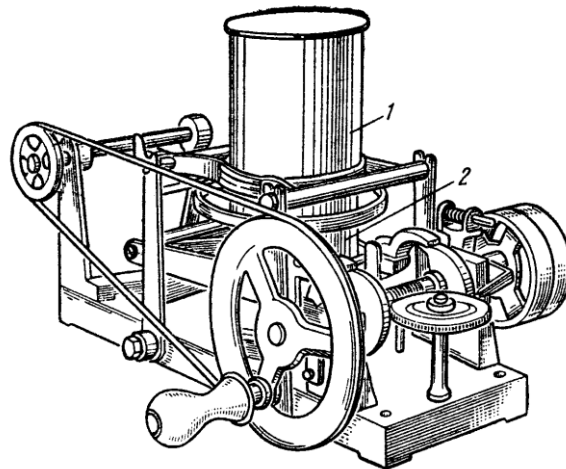


Рисунок 4.9 – Прилад для визначення об’ємної ваги в ущільненому стані

Коли об’єм цементу, що знаходиться у посудині, стане постійним, посудину зважують і визначають об’ємну вагу, як описано вище.

Результати дослідів записують за формою табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Визначення об’ємної ваги в’язучих речовин

Найменування цементу	Дата визначення	Номер визначення	Пухкий або ущільнений стан	Вага порожньої посудини G , г	Вага посудини з матеріалом G_1 , г	Вага наважки цементу ($G_1 - G$), г	Об’єм посудини, см^3	Об’ємна вага цементу, $\text{г}/\text{см}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Матеріали й апаратура. Випробований цемент; лійка або похила площина для визначення об’ємної ваги цементу в пухкому стані; прилад для визначення об’ємної ваги цементу в ущільненому стані; металева посудина ємністю 1 л і 2 л; ваги чашкові з гирьками до них; металева або дерев’яна лінійка; ложка або совок.

Орієнтовні об’ємні ваги в’язучих речовин наведені в табл. 4.14.

Крім визначення об’ємної ваги в’язучих речовин, при контролі виробництва необхідно визначати **об’ємну вагу сировинної суміші й напівфабрикату.**

Так, у виробництві портландцементу визначають об'ємну вагу або, що те ж саме, вагу 1 л клінкеру, а також вагу 1 л шламу або сировинного борошна.

Таблиця 4.14 – Об'ємні ваги в'язучих речовин

Найменування матеріалу	Об'ємна вага, кг/м ³	
	У пухкому стані	В ущільненому стані
Портландцемент	900 – 1300	1500 – 2000
Пуцолановий портландцемент	800 – 1000	1200 – 1600
Глиноземний цемент	1000 – 1300	1600 – 2000
Вапняно-пуцоланове в'язуче	600 – 800	900 – 1200
Вапняно-шлакове в'язуче	800 – 900	1200 – 1400
Будівельний гіпс	800 – 1100	1250 – 1450
Ангідритове в'язуче	850 – 1100	1200 – 1500
Високовипалювальний гіпс	900 – 1200	1300 – 1700
Повітряне вапно (пухлянка)	400 – 450	500 – 700
Гідравлічне вапно	500 – 800	850 – 1100

Вага 1 л клінкеру зазвичай становить 1550 – 1650 г та служить характеристикою ступеня його спікання. Чим більша величина об'ємної ваги, тим вищий ступінь спікання клінкера.

Вага 1 л шламу становить 1550 – 1750 г/л і характеризує кількісне співвідношення між сировинною сумішшю (сухою речовиною) і водою. Збільшення ваги 1 л шламу вказує на зниження його вологості, і, навпаки, зменшення ваги 1 л шламу свідчить про збільшення його вологості.

Вага 1 л клінкеру або сировинного борошна визначається так само, як об'ємна вага цементу в пухкому стані. Для визначення ваги 1 л шламу в металеву або керамічну мірну посудину ємністю 1 л, попередньо висушену і зважену, наливають шламу, а надлишок його видаляють ножем, яким вирівнюють поверхню шламу. Потім посудину зі шламом зважують і за різницею між його вагою й вагою порожньої посудини визначають вагу 1 л шламу.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.2. Визначення текучості шламів

Сировинні шлами цементних заводів, що працюють за мокрим способом виробництва, містять необхідну кількість води (це зазвичай

32 – 45 %) для забезпечення нормальної текучості шламів. Чим менше води застосовується для цієї мети, тем вище продуктивність печі й менше витрат палива на випал. Тому визначення нормальної текучості шламу має велике значення для організації контролю виробництва.

Для визначення текучості шламів користуються вимірником текучості ТН-2, запропонованим М. С. Негинським (рис. 4.10).

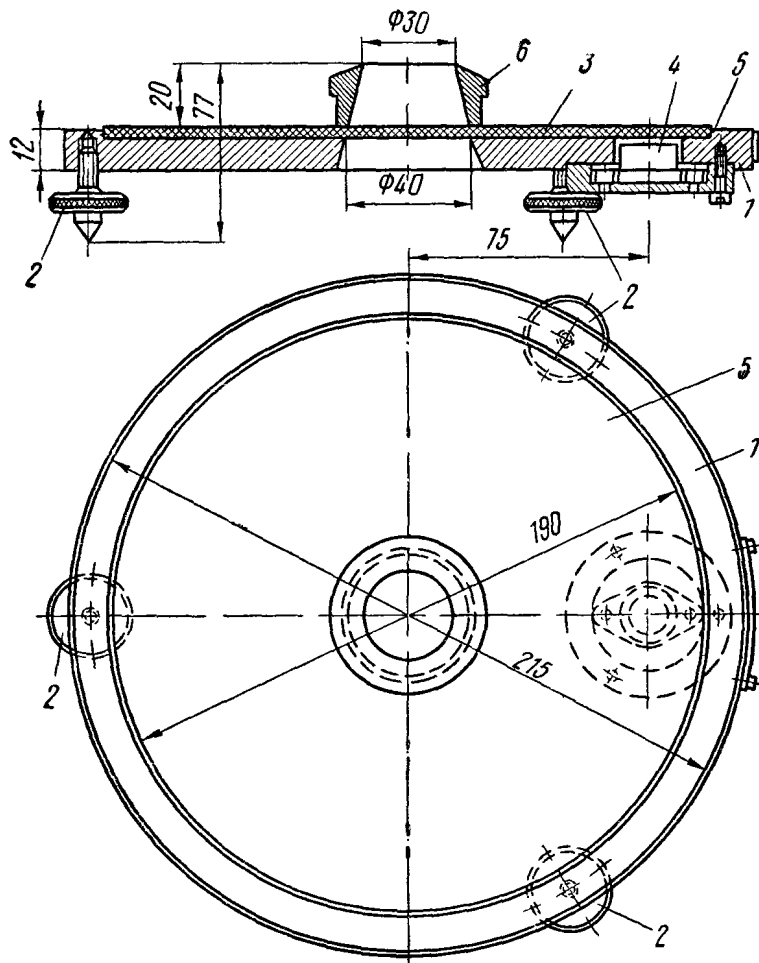


Рисунок 4.10 – Вимірник текучості ТН-2

Прилад являє собою столик з металевим диском, дзеркальним склом, кульовим рівнем і круговою шкалою. Металевий диск 1 діаметром 215 мм і товщиною 12 мм має три ніжки 2, які обладнані регулювальними гвинтами для установаження приладу в горизонтальному положенні.

Диск має концентричне поглиблення в 2 мм діаметром 190 мм для скла; у центральній частині диска знаходиться отвір діаметром 40 мм

для того, щоб зручно було виймати скло, і отвір для кульового рівня. На диску на кінцях двох взаємно перпендикулярних осей, нанесено чотири риски. Дзеркальне скло 3 діаметром 190 мм і товщиною 3 мм зі скоше-ним шліфованим краєм поміщене в поглиблення диска так, що воно ви-ступає на 1 мм над площиною зовнішнього краю диска столика. Кульо-вий рівень 4, вмонтований у диск столика, служить для горизонтального установа приладу. Кругова шкала 5 діаметром 190 мм нанесена на білий папір із центральним отвором діаметром 40 мм, який укладається під скло столика. Шкала являє собою ряд концентричних кіл діаметром від 40 до 150 мм, проведених через кожні 2 мм. На шкалі нанесено чоти-ри риски (кінці двох взаємно перпендикулярних осей шкали) для цент-рального розташування кругової шкали на столику приладу, що досяга-ється сполученням цих рисок із чотирма рисками на буртику столика. Конічне кільце 6 має такі розміри: діаметр унизу 40 мм, угорі 30 мм, висота 20 мм і зовнішній діаметр унизу 50 мм. Кільце повинне бути ретельно відшліфоване (дозволяється допуск за розмірами +0,1 мм). Верхня площина дзеркального скла, на яке встановлюється ко-нічне кільце, повинна бути горизонтальною, що досягається виведенням бульбашки повітря кульового рівня на середину за допомогою регулю-вальних гвинтів ніжок столика приладу.

Конічне кільце встановлюють на скло розширеною частиною вниз точно по центру кругової шкали (без ексцентриситету), при цьому зов-нішній контур кільця повинен бути сполучений з окружністю шкали ді-аметром 50 мм. У конічне кільце наливають ложкою шлам з посудини, у якій зберігається відібрана проба. Набираючи ложечкою шлам, його що-раз ретельно перемішують цією ж ложечкою. Кільце заповнюють шла-мом доверху (до верхнього обріза кільця), усувають за допомогою неве-ликого порцелянового шпателя-лопатки нерівності на поверхні шламу. При цьому можна також користуватися ножом. Правильність заповнення кільця шламом перевіряють щораз, спостерігаючи за поверхнею шламу не зверху, а збоку. Потім кільце беруть двома пальцями й швидко, але без ривка, піднімають по можливості вертикально.

Текучість шламу визначають по діаметру розпливання конуса з точністю до 1 мм. Для цього роблять чотири відліки показань шкали в протилежних кінцях двох взаємно перпендикулярних діаметрів, ведучи

відлік за годинниковою стрілкою, починаючи зверху. Середня арифметична величина цих чотирьох показників і буде характеризувати текучість шламу випробовуваної проби. Щоб уникнути викривлення, відліки слід робити, дивлячись на прилад зверху по його осі й за умови, що шлам, який розплився на склі, не дає тіней. При різкому відхиленні контуру розпливання від окружності кільце знову заповнюють шламом і ще раз визначають його текучість.

Конічне кільце, ложку, лопаточки–шкребки й шпатель після визначення текучості кожної проби шламу слід ретельно вимити водою й витерти насухо або висушити. Шлам знімають зі скла за допомогою двох невеликих мідних лопаточок-шкребок з рівними краями, стуляючи їх від периферії розпливання конуса шламу до центру по черзі у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Потім скло ретельно витирають насухо якою-небудь м'якою тканиною або фільтрувальним папером.

Можна також на основне кругле дзеркальне скло приладу покласти інше дзеркальне скло (краще прямокутне розміром 120×220 мм і товщиною не більш 3 мм) і встановити конічне кільце поверх нього. Після кожного визначення текучості це скло знімають з приладу, шлам змивають під водопровідним краном і потім скло витирають насухо. При цьому необхідно мати на увазі, що верхня поверхня скла, на яке встановлюють конічне кільце, повинна бути строго горизонтальною.

При нормальній текучості розпливання конуса шламу становить 45 ± 2 мм.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.3. Визначення нормальної густоти цементного тіста

Під нормальною густиною розуміють таку консистенцію цементного тіста або розчину, яка забезпечує достатню їх зручнооброблюваність або рухливість і яка дозволяє щільно укладати їх у форму. Нормальну густоту прийнято виражати кількістю води (%), необхідної для одержання тіста або розчину зазначеної консистенції.

Визначення нормальної густоти цементного тіста повинне передувати визначенню терміну тужавіння, рівномірності зміни об'єму й механічної міцності в'язучих матеріалів (при випробуванні зразків з розчинів жорсткої консистенції). Разом з тим визначення нормальної густоти

цементного тіста має й самостійне значення, тому що характеризує водопотребу в'яжучого матеріалу, що є важливим показником.

Зазвичай для перебігу хімічних реакцій гідратації цементів потрібно значно менше води, ніж для одержання тіста нормальної густоти. Чим менше береться води для одержання розчину нормальної густоти, тим вище буде міцність затверділого в'яжучого. Цим пояснюється прагнення до зниження водопотреби цементу шляхом уведення різних добавок або іншими способами.

Визначення нормальної густоти цементного тіста з гідравлічних в'яжучих речовин виконують за допомогою приладу Віка (рис. 2.2 а), що складається із циліндричного стрижня 1, що вільно переміщається в обоймі станини 2. Стрижень закріплюють на потрібній висоті за допомогою затискного гвинта або іншого стопорного обладнання 3. Показчик 4 служить для відліку переміщення стрижня щодо шкали 5, прикріпленої до станини й розділеної на міліметри. Вага стрижня з голівкою та устаткуванням становить 265 ± 1 г.

При визначенні нормальної густоти цементного тіста в нижню частину стрижня вставляють металевий циліндр – товкачик 6 (рис. 2.2 б). Він виготовляється з нержавіючої сталі, має поліровану поверхню. Діаметр товкачика $d = 10 \pm 0,2$ мм, а довжина $l = 50$ мм. Діаметр частини товкачика, що закріплюється, $d_1 = 5$ мм, довжина $l_1 = 14$ мм. Вага товкачика 35 ± 1 г.

При визначенні термінів тужавіння товкачик заміняють голкою 7, (рис. 2.2 в). Діаметр голки $d = 1,1 \pm 0,04$ мм, а довжина $l = 50$ мм. Діаметр частини голки, що закріплюється, $d_1 = 5$ мм, а довжина $l = 14$ мм. Голка виготовляється зі сталевого твердого нержавіючого дроту й важить $7,5 \pm 0,5$ г. Поверхня товкачика й голки повинна бути гладкою й чистою, голка не повинна мати скривлень. Вага всієї частини приладу, що переміщається, становить 300 ± 2 г; при заміні товкачика голкою на стрижень накладають додатковий вантаж 8 (рис. 2.2 а) вагою $27,5 \pm 0,5$ г.

Кільце для укладання тіста й пластинка, на яку встановлюють кільце під час випробування, виготовляють із матеріалу, що не усмоктує воду (нержавіюча сталь, пластмаса й ін.). Вони мають такі розміри: внутрішні діаметри – верхній $d = 65 \pm 5$ мм і нижній $d_1 = 75 \pm 5$ мм; висота кільця $h = 40 \pm 5$ мм (рис. 2.2г).

Для замішування рекомендується застосовувати металеву чашку сферичної форми діаметром 400 мм, висотою 100 мм і товщиною стінок 2 – 3 мм. Для перемішування слід користуватися сталеву лопаткою діаметром 100 мм і товщиною 1 – 2 мм.

Нормальну густоту цементного тіста визначають шляхом занурення товкачика в кільце приладу, заповнене тістом, причому товкачик повинен не доходити до пластинки, розташованої під кільцем, на 5-7 мм.

Відповідно до ДСТУ EN 196-3:2007 визначення нормальної густоти тіста 400 г цементу, з точністю до 1 г, поміщають у чашку, роблять у цементі поглиблення, куди в один прийом вливають воду, що відміряна з точністю до 0,5 мл. Після цього поглиблення негайно заповнюють цементом і через 30 с обережно перемішують, потім енергійно розтирають сталеву лопаткою попеременно у взаємно перпендикулярних напрямках. Тривалість перемішування цементу з водою становить 5 хв. з моменту вливання води.

Перед випробуванням слід переконатися в тому, що стрижень приладу вільно опускається, а також перевірити нульове показання приладу, привівши товкачик у зіткнення з металеву або скляною пластинкою, на якій розташовано кільце. У випадку відхилення від нуля шкалу приладу відповідним чином пересувають. Кільце й пластинку протирають машинним маслом.

Кільце, заповнене в одне приймання цементним тістом, 5 – 6 разів струшують, постукуючи пластинкою по столу. Потім надлишок тіста зрізують змоченим водою ножом і їм же загладжують поверхню тіста.

Після цього товкачик в центрі кільця приводять у зіткнення з поверхнею тіста й закріплюють стрижень гвинтом, слідом за чим, швидко відгвинчуючи закріплюючий гвинт, звільняють стрижень і надають товкачику можливість вільно поринати в тісто. Через 30 с з моменту звільнення стрижня виконують відлік занурення по шкалі.

Якщо товкачик опускається нижче 5 мм або вище 7 мм, змінюють кількість води й знову зачиняють тісто, домагаючись досягти консистентії, відповідної до нормальної густоти. Кількість води, що додається для одержання тіста нормальної густоти, виражають у відсотках від ваги цементу й визначають із точністю до 0,25 %.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.4. Визначення термінів тужавіння цементу

Для визначення термінів тужавіння цементу готують відповідно до ДСТУ EN 196-3:2007 цементне тісто нормальної густоти й укладають його в кільце приладу.

Голку приладу доводять до зіткнення з поверхнею тіста, стрижень закріплюють гвинтом, після чого, відгвинчуючи гвинт, звільняють стрижень і дають голці вільно поринати в тісто.

На початку досліду, поки тісто настільки рідке, що можна побоюватися сильного удару голки по пластинці, голку при зануренні слід злегка затримувати; як тільки тісто загустіє, голці дають вільно опускатися.

Голку занурюють у тісто через кожні 5 хв. до початку тужавіння й із проміжками в 15 хв. після нього; при цьому кільце щораз пересувають для того, щоб голка попадала в різні місця.

При витягуванні голки з тіста її слід витирати.

За початок тужавіння беруть час, що перебігає від початку замішування з водою до того моменту, коли голка не буде доходити до дна на 1 – 2 мм.

За кінець тужавіння беруть час від початку замішування до моменту, коли голка буде опускатися в тісто не більше ніж на 1 мм.

При визначенні термінів тужавіння кільце повинне перебувати у затіненому місці без впливу на нього протягів, не повинне зазнати яких-небудь струсів, і голка повинна опускатися вільно.

Результати визначення нормальної густоти цементного тіста й термінів його тужавіння записують за формою табл. 4.15 і табл. 4.16.

Таблиця 4.15 – Визначення нормальної густоти цементного тіста

Найменування цементу	Дата визначення	Номер визначення	Вага цементу, г	Кількість цементу, г	Висота опускання товкачика, мм	Нормальна густина, %
1	2	3	4	5	6	7

Матеріали й апаратура. Випробуваний цемент; машинне масло; прилади для визначення нормальної густоти й термінів тужавіння цементного тіста; товкачик для визначення нормальної густоти цементного тіста; голка для визначення термінів тужавіння цементного тіста; кільце для укладання цементного тіста; металеві й скляні

пластинки; металева чашка сферичної форми; сталеві лопатки для перемішування тіста; мішалка; ваги чашкові з гирьками до них; мірні циліндри на 100 і 250 мл; секундомір; годинник; пісковий годинник; ніж.

Таблиця 4.16 – Визначення термінів тужавіння цементного тіста

Найменування цементу	Дата визначення	Номер визначення	Час замішування з водою, год-хв	Час, при якому голка не доходить до дна на 1-2 мм, год-хв	Час, при якому голка опускатиметься в тісто не більше ніж на 1 мм, год-хв	Терміни тужавіння, год-хв	
						Початок	Кінець
1	2	3	4	5	6	7	8

Значення нормальної густоти цементного тіста гідравлічних в'язучих речовин наведено в табл. 4.17.

Таблиця 4.17 – Нормальна густина гідравлічних в'язучих речовин

Найменування матеріалу	Нормальна густина, %
Портландцемент	24 – 28
Пуцолановий портландцемент	30 – 40
Шлакопортландцемент	26 – 30
Глиноземний цемент	23 – 28
Вапняно-пуцоланове в'язуче	30 – 60
Вапняно-шлакове в'язуче	28 – 40

Терміни тужавіння гідравлічні в'язучих речовин відповідно до мінімальної вимоги стандартів наведено в табл. 4.18.

Як занадто швидко, так і занадто повільне тужавіння цементу є істотним його недоліком.

При роботі з швидкоотужавіючими цементами необхідно швидко транспортувати й укласти їх після замішування з водою, що здійснити досить важко.

Повільне тужавіння цементу часто призводить до істотного уповільнення темпів будівництва.

Для штукатурних робіт зазвичай застосовують швидкоотужавіючі в'язучі, наприклад будівельний гіпс. Відносно більш швидкі строки тужавіння цементів необхідні при роботі на морозі, а також у ряді інших випадків.

Таблиця 4.18 – Терміни тужавіння в'язучих речовин

Найменування матеріалу	Нормативний документ	Терміни тужавіння, год-хв	
		Початок, не раніше	Кінець, не пізніше
Портландцемент	ДСТУ Б В.2.7-46-96	0–45	10–00
Пуцолановий портландцемент	ДСТУ Б В.2.7-46-96	0–45	10–00
Шлакопортландцемент	ДСТУ Б В.2.7-46-96	0–45	10–00
Білий портландцемент	ГОСТ 965-89	0–45	10–00
Глиноземний цемент	ТУ У В.2.7-26.5-24478901-005:2007	0–30	12–00
Гіпсоглиноземний цемент	ДСТУ Б В.2.7-266:2011	0–20	4–00

Визначення уявного тужавіння цементу. У деяких випадках спостерігається уявне схоплювання цементу, яке полягає в тому, що при замішуванні цементу з водою й перемішуванні протягом досить короткого часу маса починає гуснути і тужавіти. При подальшому перемішуванні ці процеси припиняються, маса розробляється й цемент показує нормальні терміни тужавіння. Уявне тужавіння відрізняється від швидкого тужавіння тим, що воно може бути перерване посиленням перемішуванням.

При використанні цементу, що відрізняється уявним тужавінням, спостерігається неприпустимо швидко загустіння бетонної суміші, що викликає втрату легкого укладання. Для усунення загустіння бетонної суміші в неї додають велику кількість води, що знижує міцність бетону, зчеплення його з арматурами й морозостійкість, а іноді викликає й появу тріщин.

У більшості випадків уявне тужавіння викликається дегідратацією двоводного гіпсу в напівводний, який швидко схоплюється і, крім того, прискорює гідратацію трикальцієвого алюмінату з утворенням гідросульфоалюмінату кальцію. Причиною дегідратації двоводного гіпсу є недостатнє охолодження клінкеру перед помелом і нагріванням у процесі помелу в порошок (до 100 – 120 °С і навіть вище).

Для усунення уявного тужавіння рекомендується забезпечити на цементних заводах необхідне охолодження клінкеру перед помелом, а також охолодження млина при помелі. На бетонних заводах подовжують

час перемішування бетонної суміші й застосовують повторне перемішування після невеликої перерви, при якій усувають загустіння суміші внаслідок руйнування зв'язків між частками швидкотужавіючого гіпсу та гідросульфоалюмінату, що утворюється.

Розроблено метод визначення уявного тужавіння з використанням стандартного приладу Віка з товкачиком й форми у вигляді призми.

Відважують по 600 г стандартного піску й цементу й протягом 1 хв. їх ретельно перемішують у сферичній чашці.

Потім у суху суміш додають 210 г води ($V/C = 0,35$) і перемішують ще 1 хв.

Після цього розчин укладають у форму й ущільнюють трикратним струшуванням форми, піднятої на 5 см над столом. Надлишок розчину зрізують ножом, а форму ставлять під товкачик приладу Віка.

Через 3; 5; 10 і 15 хв з початку замішування вимірюють глибину занурення товкачика. Цемент вважається таким, що уявно тужавіє, якщо через 15 хв товкачик проникає вглиб розчину менш ніж на 10 мм.

У деяких країнах випробування цементу на уявне тужавіння здійснюють шляхом повторного (через 5 хв і більше) визначення консистенції цементного тіста або розчину.

Якщо при цьому занурення стрижня зменшується не більш ніж у два рази, цемент визнається задовільним.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.5. Визначення виду цементу

Кожна партія в'язучого матеріалу повинна зберігатися окремо від інших партій і мати заводський паспорт. На будівництві показники паспорта перевіряють відповідно до стандарту на випробування того або іншого в'язучого.

У випадку відсутності паспорта, в першу чергу, слід визначити вид в'язучого матеріалу.

Таке визначення виконують за кольором матеріалу (табл. 4.19), водопотребою при визначенні нормальної густоти цементного тіста, питомою і об'ємною вагою, запахом при замішуванні водою, розподілом цементного порошку у важких рідинах, водовіддачею й капілярним підсмоктуванням, хімічним складом, рентгенофазовим аналізом і т. д.

Таблиця 4.19 – Колір цементів

Найменування цементу	Колір (зразковий)
Портландцемент	Сірувато-зелений різних відтінків
Пуцолановий портландцемент	Ясно-сірий або жовтуватий
Шлакопортландцемент	Сіруватий із блакитним відтінком
Глиноземний цемент	Темно-сірий, сталевий без зеленого відтінку або коричнювато-шоколадний
Романцемент	Світлий, жовтувато-рожевий
Портландцемент із добавкою меленого піску	Світло-сірий зі слабким жовтим відтінком

Водопотребу, питому та об'ємну вагу в'язучих речовин наведено вище, при описі методів їх визначення.

Якщо порошок пуцоланового портландцементу всипати в пробірку із бромформом $\gamma_{\text{пит.}} = 2,9 \text{ г/см}^3$ і вміст пробірки енергійно збовтати, то частина порошку (портландцемент) осяде на дно пробірки, а інша частина (гідралічна добавка) спливе наверх.

Корж шлакопортландцементу для випробування на рівномірність зміни об'єму після пропарювання має в зламі синьо-сірий колір. Магніт, опущений у шлакопортландцемент, при енергійному перемішуванні вкривається дрібними частками металевих ошурок. При невеликому зволоженні шлакопортландцемент має легкий запах сірководню.

Найбільше докладно визначити вид в'язучого можна методом рентгенофазового аналізу, який дозволяє встановити наявність мінералів основного в'язучого та добавок і тим самим віднести матеріал до тієї або іншої групи в'язучих.

4.7.6. Визначення рівномірності зміни об'єму цементу

При тужавінні в'язучих речовин завжди має місце деяка зміна їх об'єму. Якщо зміна об'єму порівняно невелика й перебігає рівномірно, то вона не викликає шкідливих наслідків у вигляді появи тріщин або руйнувань. Якщо ж зміна об'єму викликає такі внутрішні напруження, яким не може опиратись тверднучий цемент, то його не можна застосовувати в будівництві.

Для випробування рівномірності зміни об'єму (сталості об'єму) гідралічних в'язучих речовин відповідно до ДСТУ Б В.2.7-185:2009 ви-

готовляють тісто нормальної густоти, відважують чотири наважки цементного тіста по 75 г, і кожну наважку у вигляді кульки розміщують на скляній пластинці, попередньо протертій машинним маслом. Потім пластинки струшують, ударяючи їх по столу, до перетворення кульок у коржі діаметром 7 – 8 см і товщиною всередині близько 1 см. Для одержання гострих країв і гладкої закругленої поверхні коржів їх пригладжують від зовнішніх країв до центру змоченим водою ножем. Виготовлені коржі протягом 24 ± 2 год. з моменту виготовлення зберігають у ванні з гідравлічним затвором (рис. 4.11) з оцинкованого заліза. У ванні зразки розміщують на ґратці, під якою завжди повинна бути вода. Після цього коржа випробовують на рівномірність зміни об'єму.

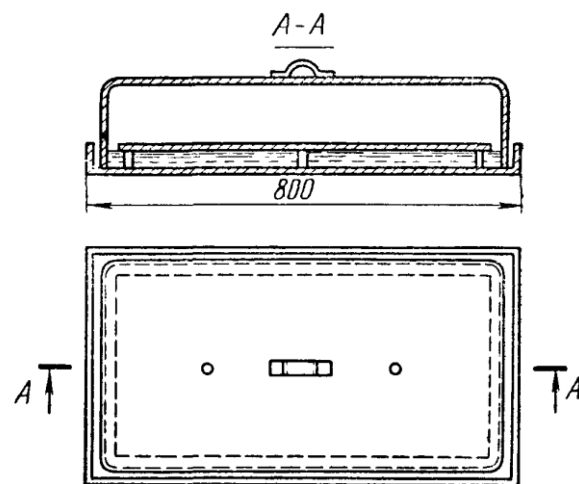


Рисунок 4.11 – Ванна з гідравлічним затвором

Для випробування кип'ятінням рекомендується застосовувати спеціальний бачок (рис. 4.12), який нагрівають на електричній плитці або іншому нагрівальному приладі.

Усередині бачка розміщують знімну ґратчасту полицю, розташовану на відстані не менш 2 см від дна бачка. Рівень води в бачку повинен перекривати коржі на 4 – 6 см. Для рівномірної компенсації випарюваної води до бачка приєднують посуд з водою, яка забезпечена рухливою вертикальною трубкою, що дозволяє встановлювати рівень води в бачку на необхідній висоті.

При випробуванні кип'ятінням коржі знімають із пластинок, витягують із ванни й поміщають у бачок з водою на ґратку. Потім воду в ба-

чку нагрівають до кипіння й витримують його протягом 4 год, після чого коржі залишають у бачку до температури приміщення. Відразу ж після остигання коржі оглядають (рис. 4.13).

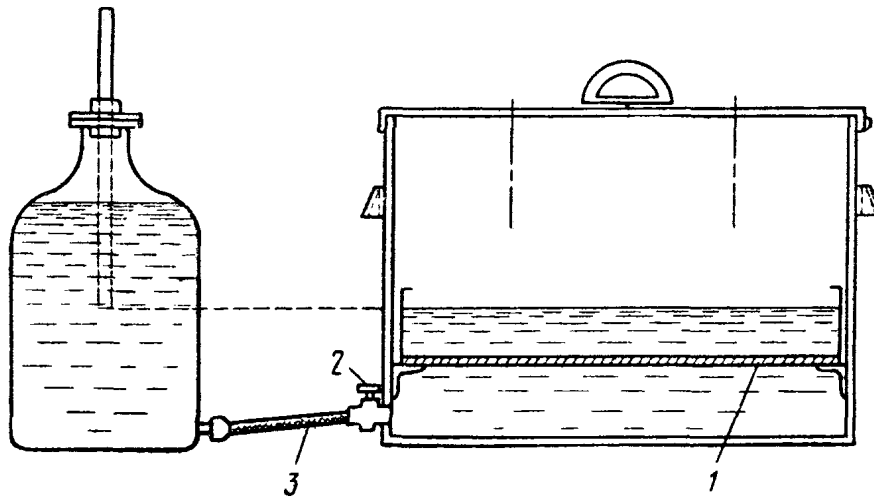


Рисунок 4.12 – Бачок для випробувань кип’ятінням:
1 – ґратка; 2 – кран; 3 – гумова трубка

Цемент визнається таким, що задовольняє вимогу рівномірності зміни об’єму в тому випадку, якщо на лицьовій стороні коржів, підданих випробуванням, не виявиться радіальних тріщин, що доходять до країв, або сітки дрібних тріщин, видних у лупу або неозброєним оком, а також яких-небудь скривлень і збільшення об’єму (рис. 4.13, а, б). Наявність скривлень встановлюють за допомогою лінійки, що прикладається до плоскої поверхні коржа.

Іноді в першу добу після виготовлення коржів на них з’являються тріщини всихання, що не доходять до країв. Ці тріщини не є ознакою недоброякісності цементу за умови, якщо на звороті коржів немає радіальних тріщин, що доходять до країв (рис. 4.13, в), і коржі при постукуванні видають дзвінкий звук. Іноді на коржах, що витримали випробування кип’ятінням, та пролежали потім якийсь час на повітрі, з’являються радіальні тріщини, які є результатом зсідання і тому також не можуть бути ознакою недоброякісності цементу.

Для деяких гідравлічних в’язучих речовин стандартами передбачені відхилення від описаної методики випробування на рівномірність зміни об’єму. Так, при випробуванні на рівномірність зміни

об'єму вапняно-пуцоланових в'язучих і романцементу коржі перед випробуванням витримують у вологому середовищі не 1 добу, а 7 діб.

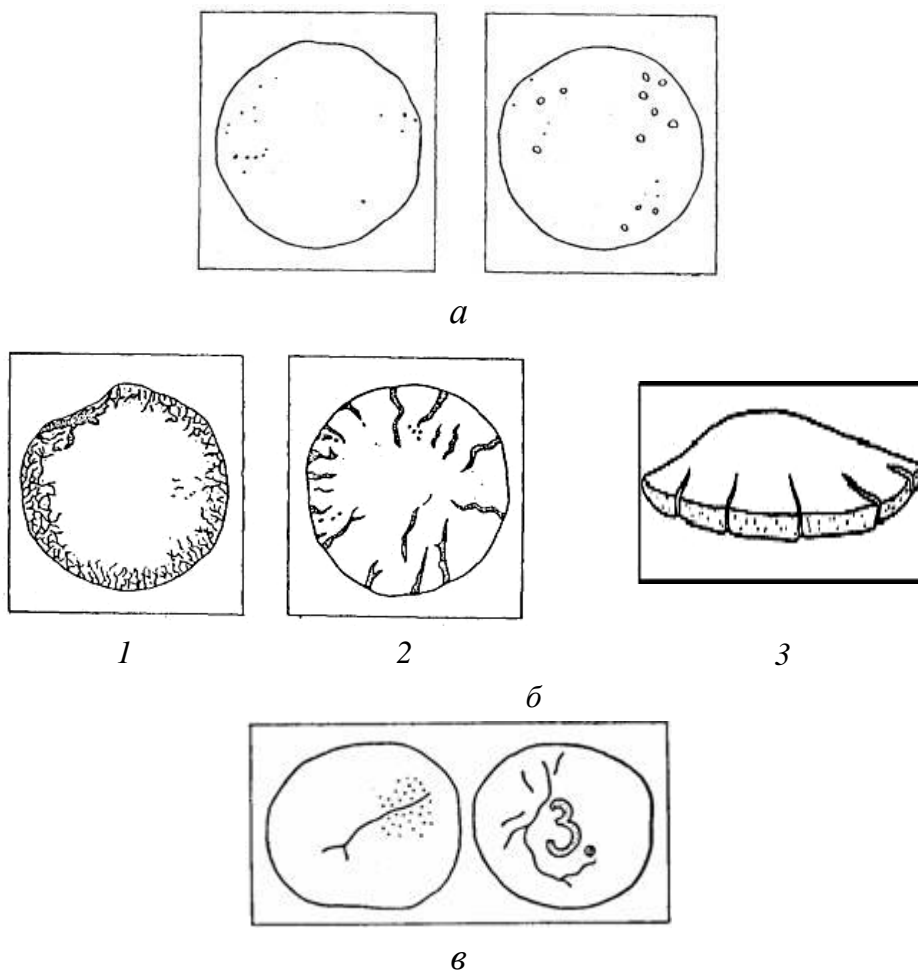


Рисунок 4.13 – Зразки коржів:

- a* – коржі, що витримали випробування на рівномірність об'єму;
- б* – коржі, що не витримали випробування: 1 – руйнування, 2 – радіальні тріщини, 3 – скривлення;
- в* – коржі, що витримали випробування (тріщини всихання).

При випробуванні глиноземного цементу коржі перші 6 год після виготовлення витримують у вологому середовищі у ванні з гідравлічним затвором при температурі 20 ± 2 °С, після чого їх занурюють у воду й зберігають у ній при тій же температурі. Через 24 ± 2 год. з моменту виготовлення коржі випробовують кип'ятінням.

Рівномірність зміни об'єму деяких в'язучих речовин випробовують, піддаючи коржі обробці парою. При цьому в бачок (рис. 4.12) розміщують етажерку із двома ґратчастими полками, з яких нижня перебу-

ває у воді, а верхня вище рівня води не менш ніж на 3 см. Нижня полиця призначена для кип'ятіння зразків, а верхня – для випробування їх парою. Деякі в'язучі випробовуються шляхом витримування зразків у холодній воді протягом 27 діб.

Результати випробування цементу на рівномірність зміни об'єму записують за формою табл. 4.20.

Таблиця 4.20 – Визначення рівномірності зміни об'єму цементу

Найменування цементу	Номер зразків при їхньому маркуванні	Нормальна густота цементного тіста, %	Дата виготовлення коржів	Дата огляду коржів	Порядковий номер коржа-близнюка	Результати огляду коржів після			Характер помічених змін
						кип'ятіння	пропарювання	витримування в холодній воді	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Нерівномірність зміни об'єму може бути викликана надлишком у цементі вільного оксиду кальцію, гіпсу й оксиду магнею. Нерівномірність зміни об'єму, викликана присутністю в портландцементі вільного оксиду кальцію, може бути виявлена при стандартних гарячих пробах.

Шкідливий вплив гіпсу позначається тільки при зберіганні коржів у холодній воді. Для виявлення нерівномірності зміни об'єму, викликаного оксидом магнею, виконують автоклавні випробування цементу.

У випадку відсутності у коржів змін, що характеризуються нерівномірністю зміни об'єму, результати огляду відзначають знаком «+», а при виявленні таких змін – знаком «-».

Матеріали й апаратура. Випробуваний цемент; машинне масло; металева чашка сферичної форми; сталева лопатка для перемішування тіста; скляні пластинки; ваги чашкові з гирьками до них; ніж; ванна з гідравлічним затвором; термометри; бачок для випробувань цементних коржів кип'ятінням і пропарюванням; посуд з водою для компенсації випаровуваної з бачку води; нагрівальний прилад; ванна для випробування цементу в холодних пробах; мірний циліндр на 250 мл; лупа; металева лінійка.

Внаслідок впливу MgO і SO₃ на збільшення об'єму цементу стандартом на портландцемент вміст у вихідному клінкері MgO обмежений до 5 %, а SO₃ – до 3,5 %. Наявність оксиду магнею й гіпсу в цих межах

не викликає нерівномірності зміни об'єму, через що немає необхідності випробовувати коржі в автоклаві або витримувати їх у холодній воді.

Для магнезійного портландцементу допускається вміст MgO до 10 %. При вмісті в клінкері більш 5 % MgO передбачається автоклавне випробування на рівномірність зміни об'єму при 20 атм. Це пояснюється тим, що при температурі випалу портландцементу 1450 °С значна частина MgO залишається у вільному стані. Обпалений при високій температурі оксид магнію гідратується значно повільніше, ніж основні клінкероутворюючі мінерали. Ця запізнена гідратація оксиду магнію, що супроводжується збільшенням об'єму у вже затверділому бетоні, викликає напруги, що тягнуть за собою руйнування бетону.

Описані вище випробування портландцементу на рівномірність зміни об'єму в гарячих пробах і в холодній воді не є показовими для цементу з підвищеним вмістом MgO через досить повільну гідратацію останнього. Для того щоб відтворити в лабораторних умовах процеси, які практично перебігають у дуже тривалий термін, застосовують автоклавні випробування.

Автоклав для випробування на рівномірність зміни об'єму повинен бути розрахований і випробуваний на тиск 20 атм (ДСТУ Б В.2.7-185:2009). Його обладнують приладом для регулювання тиску й запобіжним клапаном. Потужність електропідігрівання має забезпечувати підйом тиску в автоклаві при повному навантаженні до 20 атм протягом 1,5 – 2,0 год. При вимиканні електропідігрівання тиск в $20 \pm 0,5$ атм повинен триматися протягом 1 год. Автоклав слід обладнати клапаном для випуску повітря й зняття тиску, що залишився наприкінці одноденного охолодження, і манометром в 30 МПа з точністю відліку до 1 % і ціною поділки, що не перевищує 1 МПа. В автоклаві є спеціальна етажерка для розміщення зразків над водою.

Два коржі, що витримали випробування кип'ятінням у воді, поміщають на етажерку автоклава, який попередньо на 12 – 15 % об'єму наповнюють водою, при цьому вода не повинна покривати коржі. Потім кришку автоклава закривають, закручуючи по черзі протилежні гайки. Електропідігрівання автоклава включають при відкритому клапані для випуску повітря. Повітряний клапан закривають із появою з нього струменя пари. Тиск в автоклаві повинен піднятися до $20 \pm 0,5$ атм протягом

1 год. 45 хв. – 2 год. і підтримуватися на цьому рівні протягом 3 год. Потім виключають підігрів і за допомогою клапана доводять тиск до нормального за 1 год. Після остигання автоклава відкривають кришку й оглядають коржі.

Цемент визнається доброякісним, якщо після автоклавних випробувань на коржах немає ознак нерівномірності зміни об'єму.

Автоклавне випробування рівномірності зміни об'єму можна виконувати на призмах, виготовлених із чистого цементного тіста з визначенням розширення цементу при автоклавованні. У призмах при їх виготовленні закріплюють металеві вкладні з нержавіючої сталі (або іншого некорозійного матеріалу), що є контрольними вимірювальними точками. Цемент змішують із відповідною кількістю води й отриманим тістом заповнюють форми. Форми зі зразками ставлять на 24 год. у камеру з відносною вологістю повітря не менш 90 %, після чого вимірюють довжину зразків і поміщають їх в автоклав, де зразки закріплюють у рамі таким чином, щоб усі чотири їх сторони зазнали дії насиченої пари. Після автоклавовання за заданим режимом зразки витягують із автоклава та вимірюють їхню довжину.

Довжину зразків треба завжди вимірювати при тій же самій температурі: після виймання зразків з вологої камери рекомендується занурити їх на 15 хв. у воду з такою ж температурою, потім вийняти їх, виміряти довжину й закласти до автоклава. Після виймання з автоклава зразки охолоджують до тієї температури, при якій у перший раз виміряли довжину зразків. Довжину зразків вимірюють із точністю до 0,01 мм за допомогою компаратора або іншого приладу, що служить для визначення зсідання цементу. Правильність показань компаратора перевіряють за допомогою сталевого еталона. Зміну довжини призми після запарювання розраховують із точністю до 0,01 % від первісної довжини зразка. Зміна довжини, що допускається для звичайного портландцементу, становить 0,5 – 1,0 %.

Поряд з описаними методами рівномірність зміни об'єму можна визначати й іншим методом (ДСТУ EN 196–3:2007) із застосуванням приладу Ле-Шательє (рис. 4.14), що являє собою латунний циліндр діаметром і висотою 30 ± 1 мм, виготовлений з листової бронзи або латуні товщиною 0,5 мм.

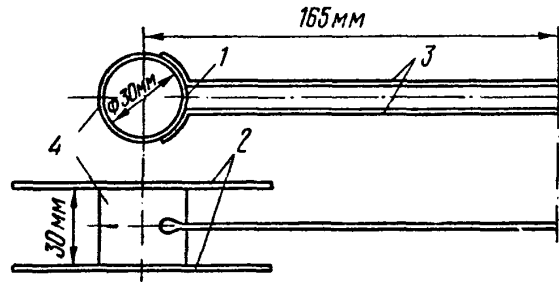


Рисунок 4.14 – Прилад Ле-Шательє для визначення
рівномірності зміни об'єму:
1 – проріз; 2 – скляна пластина; 3 – голки; 4 – кільце

Циліндр розрізаний по утворюючій.

По обидві сторони прорізу припаяні стрілки довжиною 165 см по осі циліндра.

Для перевірки приладу одну зі стрілок затискають у лещата (по можливості ближче до місця пайки) таким чином, щоб друга стрілка перебувала під нею приблизно в горизонтальному положенні.

Пружність кільця має бути такою, щоб під дією зусилля, створюваного вантажем масою 0,3 кг, прикладеного до середини розрізу кільця, відстань між кінцями індикаторних стрілок збільшилось на 15 мм без постійної деформації.

При випробуванні прилад установлюють на скляній пластинці й заповнюють цементним тістом нормальної густоти.

Для того щоб циліндр не розгинався, на підставу стрілок одягають спеціальне кільце, потім ретельно вирівнюють верхню поверхню тіста.

Після цього циліндр покривають іншою скляною пластиною, на яку кладуть невеликий вантаж, і негайно занурюють на 24 год. у воду кімнатної температури.

Потім кільце знімають зі стрілок і вимірюють відстань між ними; кільце зі зразком занурюють у воду кімнатної температури, яку протягом 15 – 30 хв. доводять до кипіння й підтримують у цьому стані 1 год.

Потім кільце витягують із води й знову вимірюють відстань між стрілками.

Різниця, що допускається в різних країнах, між результатами обох вимірів становить 5 – 10 мм.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.7. Визначення міцності цементу на вигин і стиск

Випробування міцності на вигин. Міцність в'язучих речовин на вигин випробовують на приладі типу Міхаеліса (рис. 4.15), що складається зі станини 1, двох важелів 2 і 3, захоплювача для призми 4, цебра 5 і бункера із дробом 6. У верхнього важеля співвідношення плечей становить 1 : 10, у нижнього – 1 : 5, а загальне співвідношення плечей у цьому приладі – 1 : 50.

Точність відліку руйнівного навантаження повинна бути не менш 5 Н, а швидкість наростання навантаження – $50 \pm 0,5$ Н/сек.

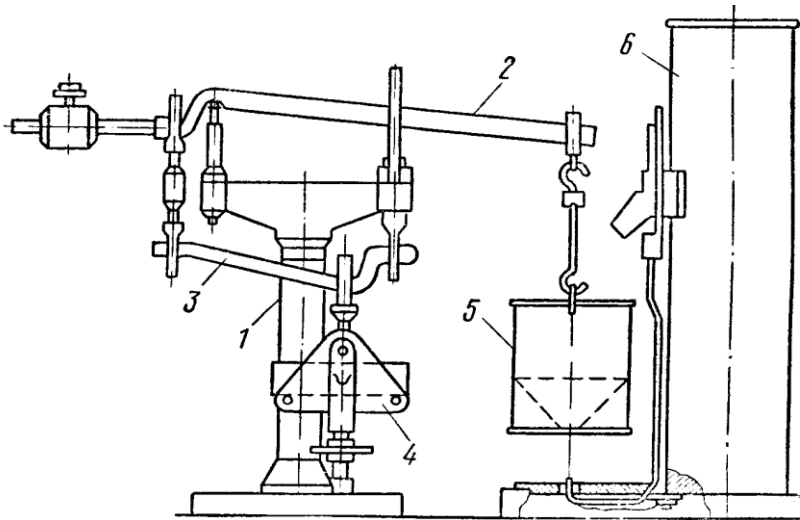


Рисунок 4.15 – Прилад для випробування на вигин зразків – балочок

Валики захоплювача, які є опорними й передають навантаження, розташовують строго паралельно. Валик, що передає навантаження, повинен перебувати в площині, що проходить посередині між опорними валиками. Відстань між центрами опорних валиків має дорівнювати 100 мм, діаметр валиків – 10 мм. Вага цебра не повинна перевищувати 6 кН. Руйнуючим вантажем служить дріб діаметром 2 – 3 мм, що рівномірно падає зі швидкістю $1 \pm 0,1$ кН/сек. Зразки з межею міцності менше $0,1 \text{ Н/мм}^2$ випробовують при врівноваженому цебрі.

Призми можна випробовувати на вигин також у пресах і інших приладах, що забезпечують достатню точність результатів.

Перед тем як помістити балочку ($40 \times 40 \times 160$ мм) у важільний прилад для випробування на вигин, необхідно перевірити опори важелів

і рівновагу приладу (без цебра). Зразок встановлюють на опори згинаючого обладнання таким чином, щоб ті грані його, які при виготовленні були горизонтальними, стали вертикальними. Кінці зразка повинні виступати з опор на однакову відстань. Після установа зразка верхній важіль піднімають за допомогою встановлювального гвинта приладу з розрахунком, щоб у момент зламу зразка важіль перебував якнайближче до положення рівноваги.

Після установа зразка цебро навантажують дробом. Коли вага дробу разом із цебром досягає величини руйнуючого вантажу, зразок ламається, цебро падає на педаль бункера й тим самим припиняє випуск дробу. Цебро із дробом, що перебував у ньому в момент зламу зразка, зважують із точністю до 100 Н. При роботі з урівноваженим цебром із загальної ваги цебра із дробом необхідно відняти вагу цебра.

Межу міцності при вигині, МПа, обчислюють за формулою

$$R_{\text{виг}} = \frac{3Pl}{2bh^2} k \cdot 0.1,$$

де P – вага цебра із дробом, Н; l – відстань між опорами, мм; b – ширина зразка, мм; h – висота зразка, мм; k – коефіцієнт, обумовлений співвідношенням плечей важелів приладу.

Для балочок розміром $40 \times 40 \times 160$ мм при відстані між опорами 100 мм розрахункова формула має вигляд: $R_{\text{виг}} = 11,7 P$ при загальному співвідношенні плечей важелів 1 : 50; $R_{\text{виг}} = 2,34 P$ при випробуванні на приладі зі співвідношенням плечей 1 : 10.

Межу міцності при вигині цементного розчину обчислюють як середнє арифметичне значення із двох найбільших результатів випробування трьох зразків. Усі обчислення виконують із точністю до 0,1 МПа.

Для випробування зразків балочок $40 \times 40 \times 160$ мм на вигин Д. Я. Рояком була сконструйована автоматизована розривна машина МП–100 (рис. 2.5). Випробування проводяться аналогічно запропонованій методиці.

Випробування міцності на стиск. Міцність в'язучих речовин на стиск визначають на пресах. Для більшої точності результатів рекомендують при випробуванні зразків-уламків балочок з робочою пло-

щею 25 см² застосовувати преси потужністю не більш 50 кН; при випробуванні ж зразків з більшою площею грані застосовують преси більш високої потужності. Випробування малих зразків або зразків з дуже малою міцністю роблять на менш потужних (не більш 10 кН) пресах.

Згідно з ГОСТ 28840-90 «Машини для випробування матеріалів на розтягнення, стиск та вигин. Загальні технічні умови» припустимі похибки пресів не повинні перевищувати $\pm 2\%$ від величини вимірюваного навантаження. У пресах має бути забезпечена плавність статичного навантаження без ударів, поштовхів і пульсацій, що діють на зразок і силувимірювальну систему.

Основними частинами пресів усіх видів є насоси, поршні, циліндри й вимірювальні механізми. Насоси бувають гвинтові або плунжерні; силувимірювальні механізми – манометричні, маятникові й пружинні.

Гідравлічний 6-тонний прес (рис. 4.16) працює в такий спосіб.

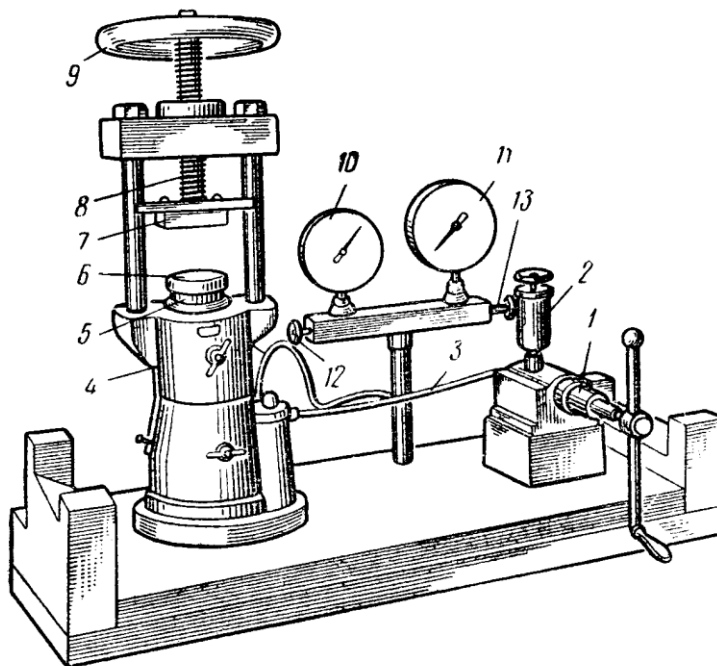


Рисунок 4.16 – Гідравлічний 6-тонний прес

Гвинтовий насос 1 подає з масельнички 2 по трубці 3 масло в циліндр 4, де рухається поршень 5, з'єднаний з нижньою площиною преса 6. Зразок встановлюють на цю площину, після чого верхню площину 7, з'єднану із гвинтом 8 і маховиком 9, наближають до поверхні зразка настільки, щоб між зразком і верхньою площиною залишалась невелика

щілина – не більш 0,5 мм. Манометри 10 і 11, з'єднані трубкою із циліндром, вимірюють тиск масла в ньому. Один манометр розрахований на більший, а другий – на менший тиск. Включають і відключають манометри за допомогою вентилів 12 і 13. Після устанавлення зразка вентиль на масельничці повинен бути закритий (початкове положення). Обертанням рукоятки гвинта поршень приводять у рух і роздавлюють кубики.

На рис. 4.17 наведено 15-тонний прес.

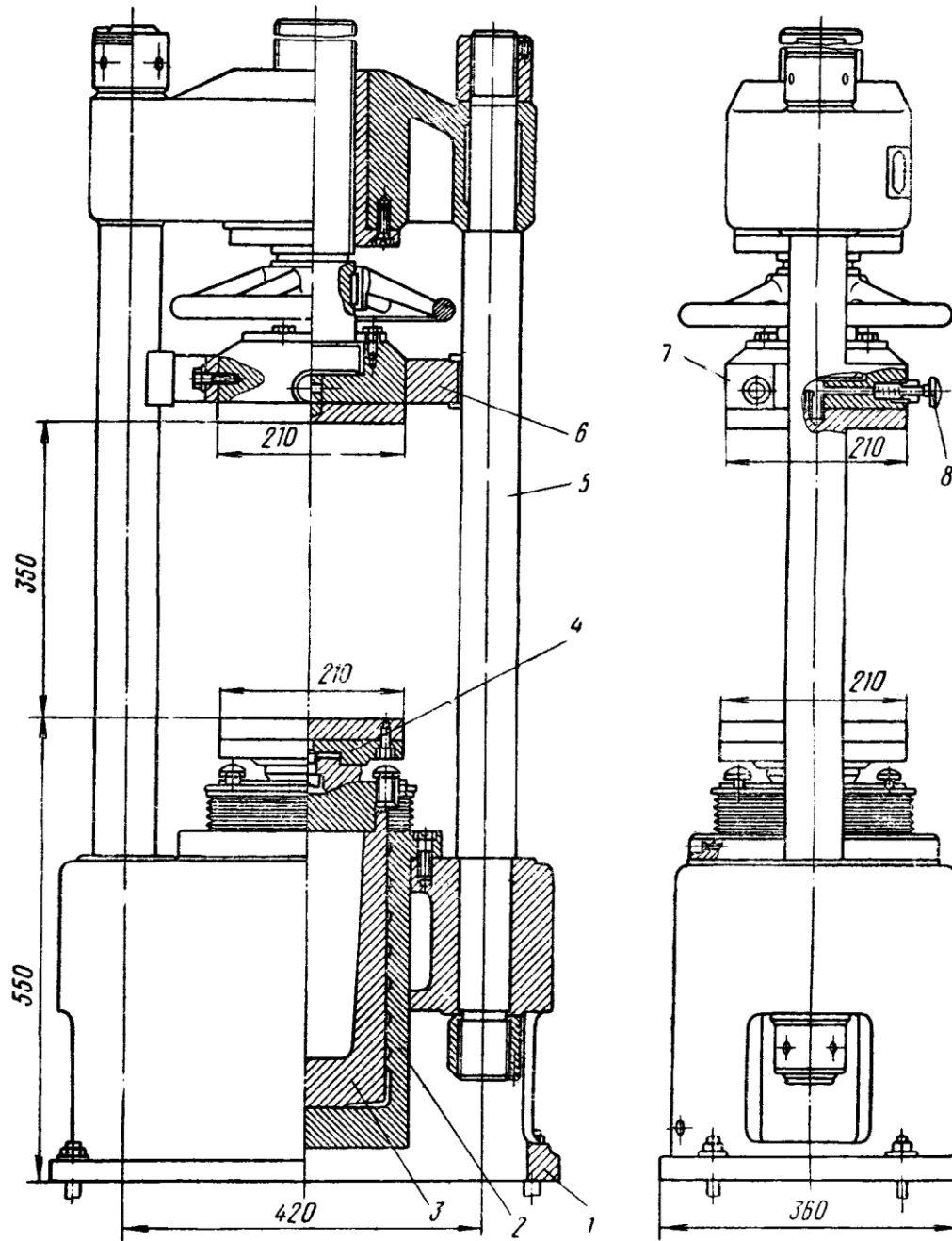


Рисунок 4.17 – Гідравлічний 15-тонний прес

Необхідний тиск на плити преса передається центровано, тому одна із плит преса повинна мати кульову опору. У малих пресах вона іноді відсутня, тоді, щоб уникнути бічного сколювання, між зразком (кубом) і верхньою опорою преса поміщають легкорухому кульову опору.

На рис. 4.18, *а* наведено в загальному вигляді 60-тонний гідравлічний прес.

У масивному циліндричному кожусі *1* рухається поршень *2*, до якого прикріплена нижня площина *3*, що давить. Верхня площина, що давить, *4* з'єднана з поперечиною *5* за допомогою кульового захоплювача *6*, що дозволяє верхній площині, що давить, легко обертатися й установлюватися відповідно до поверхні зразка. Поперечина *5* за допомогою рукоятки *7* може рухатися вгору й вниз уздовж колон *8* і затискати зразок. Через трубку *9* у циліндр преса подається масло під тиском, який створюється насосом *10*, що укріплений на станині динамометра й що приводиться в дію електромотором *11*. Швидкість подачі масла в циліндр регулюється розподільним вентилям *12*, обладнаним покажчиком.

Зусилля, що розвивається в пресі, вимірюється маятниковим силовимірювачем (рис. 4.18, *б*), який з'єднаний із циліндром преса. Тиск масла в трубці *9* завжди дорівнює тиску масла в циліндрі преса. Через вентиль *12* масло під тиском подається по трубці *13* у маленький циліндр *14*, у якому рухається вимірювальний поршень. Цей поршень зазнає такого ж тиску, що і поршень преса, і одержує обертовий рух від шківів *15*.

Масло з насоса *10* (рис. 4.18, *в*) подається по трубці *16* до вентиля *12* і звідти при відкритті вентиля йде двома шляхами: по трубці *9* у циліндр преса *1* і по трубці *17* до вентиля *18* і далі по трубці *13* у циліндр динамометра *14*. Із циліндра преса масло рухається по трубці *19*, проходить через вентиль *18* і потім по трубці *20* надходить назад у резервуар масляного насоса *10*. Під тиском масла вимірювальний поршень висувається із циліндра *14* донизу і за допомогою системи важелів відхиляє маятник *21* доти, поки це відхилення не врівноважиться тиском масла на вимірювальний поршень.

Відхиляючись, маятник *21* за допомогою коліна *22* пересуває стрілку на циферблаті *23*. Відхилення маятника, пропорційне силі тиску на вимірювальний поршень, фіксується стрижнем з олівцем *24* на реєструвальному барабані *25*.

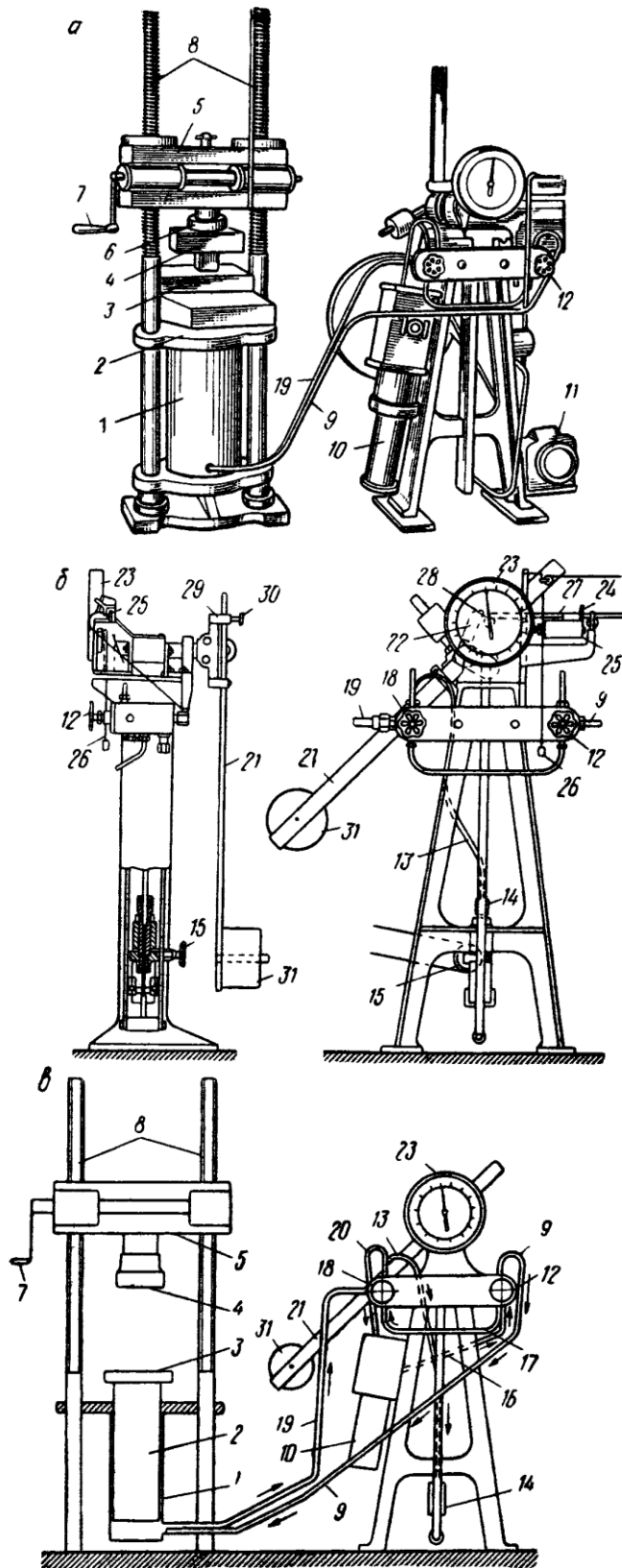


Рисунок 4.18 – Гідравлічний 60-тонний прес
а – загальний вигляд; *б* – силвимірювач;
в – схема руху масла по мастилопроводах

Барабан обтягують спеціальним папером і приводять в обертання за допомогою шнура із вантажем 26. Стрілка циферблата, що реєструє тиск при відхиленні маятника, обертається зубчастою рейкою 27 і шестірнею 28. При знятті тиску маятник 21 опускається в первісне положення: вантаж 26 повертає шестірню 28, приводячи робочу стрілку в нульове положення, контрольна ж стрілка залишається в положенні, відповідному до максимального навантаження.

Маятниковий силівимірювач 60-тонного преса може працювати на чотири шкали: 600, 300, 120 і 60 кН. Відповідно до очікуваної міцності зразка потужність преса можна змінювати. Для переходу з однієї шкали на іншу стрижень маятника пересувають у встановлювальній вилиці 29 і закріплюють у ній за допомогою штифта 30. У стрижні маятника є чотири отвори для штифта, причому над кожним отвором зазначене максимальне навантаження, відповідне до даного положення маятника. У нижній частині маятника є знімний стандартний вантаж 31, яким користуються при навантаженнях в 300 і 600 кН. При навантаженнях в 60 і 120 кН вантаж 31 знімається. До преса додають чотири змінні градуйовані циферблати, розраховані на навантаження 60, 120, 300 і 600 кН; циферблати встановлюють відповідно до положення маятника, закріпленого з урахуванням навантаження. Один повний оберт стрілки на циферблаті відповідає найбільшому зусиллю для кожного навантаження. Усі чотири шкали дозволяють вимірювати тиск від нуля до встановленого максимуму її, однак для більшої точності визначень зразки зі свідомо невеликою міцністю необхідно випробовувати при низьких максимальних навантаженнях.

При роботі на гідравлічному пресі для одержання точних результатів і щоб уникнути ушкоджень преса, слід дотримуватися наступних правил.

1. Площини преса, що дають, перед випробуванням треба ретельно очистити й привести по можливості в паралельне положення.

2. Зразок-куб очистити від задирів і встановити на нижню площину так, щоб підставою служили грані, що стикаються зі стінками форми; при цьому куб повинен перебувати точно всередині площини, для чого користуються наявною на ній квадратною розміткою. Правильність площин робочих поверхонь плит перевіряють по перевіірочній плиті.

3. Перед випробуванням необхідно верхню площину, що давить, наблизити до поверхні зразка, обертаючи рукоятку 7. При цьому не стискають зразок площинами; між зразком і верхньою площиною повинен бути невеликий зазор (не більш 0,5мм), особливо для зразків малої міцності.

4. Правий вентиль 12 (регулятор швидкості подачі масла) треба закрити, а лівий вентиль 18 – відкрити, після чого включити мотор.

5. Перед випробуванням в умовах роботи мотора без навантаження стрілки на шкалі циферблата треба встановити в нульове положення.

6. При роботі мотора лівий вентиль слід щільно закрити й тим самим припинити повернення масла із циліндра 1 у насос 10, а правий вентиль – відкрити, що дозволить маслу надходити під поршень; правий вентиль слід встановити в таке положення, при якому наростання зусилля, що давить (навантаження) буде відповідати 2 МПа/сек (приблизно 8 поділок на шкалі при вентилі).

7. Після руйнування зразка треба повільно відкрити лівий вентиль, щоб уникнути сильного хитання маятника, потім виключити мотор і привести правий вентиль у вихідне положення.

8. Прес необхідно перевіряти не рідше ніж 1 раз на рік, причому точність показника преса повинна бути $\pm 2\%$. Точність показань гідравлічних пресів слід перевіряти за допомогою месдозы або динамометра.

Границю міцності при стиску кожного зразка визначають як частку від поділу величини руйнуючого вантажу (Н) на площу грані зразка (мм²).

Відповідно до ДСТУ EN 196-3:2007 отримані після випробування на вигин у результаті зламу балочок шість половинок випробовують на стиск.

При цьому для передачі навантаження на половинки балочок використовують спеціальні пластинки, які поміщають між площинами преса, що давлять, й уламком балочки. Ці пластинки виготовляють із нержавіючої сталі, із плоскими шліфованими поверхнями розміром 40 × 62,5 мм при допуску $\pm 0,2$ мм, робочою площею 25 см².

Кожну половинку призми поміщають між двома пластинками таким чином, щоб ті бічні грані зразка, які при виготовленні прилягали до поздовжніх стінок форми, збігалися з робочими поверхнями пластинок,

а упори пластинок щільно прилягали до торцевої гладкої стінки зразка (рис. 4.19).

Зразок разом із пластинками піддають стиску на пресі зі швидкістю наростання навантаження в середньому $2 \pm 0,5$ МПа/сек.

Границю міцності при стиску окремого зразка обчислюють як частку від поділу величини руйнуючого навантаження (Н) на робочу площу пластинки, тобто на 2500 мм^2 .

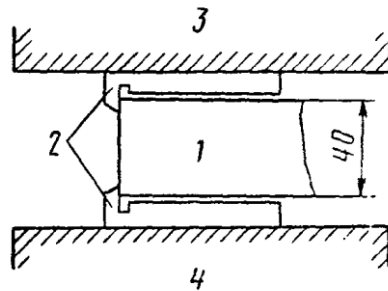


Рисунок 4.19 – Положення зразка (половинки балочки) при випробуванні на стиск:

1 – половина балочки; 2 – пластинки; 3 – верхня плита преса;
4 – нижня плита преса

Границю міцності при стиску цементного розчину обчислюють як середнє арифметичне значення чотирьох найбільших результатів випробувань шести зразків.

При випробуванні кубів $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см величину руйнуючого навантаження (Н) ділять на площу грані зразка – 5000 мм^2 .

За границю міцності при стиску в цьому випадку беруть середнє арифметичне значення із двох найбільших результатів.

Деякі преси, які використовують у лабораторіях для випробування міцності, наприклад 50-тонні гідравлічні преси ПСУ-50 з перемиканням силовимірювача на 20-тонний діапазон, мають масивні затискні плити й недостатньо рухливу кульову опору.

У цих умовах навіть невелике порушення паралельності граней зразка або затискних плит преса викликає нерівномірний розподіл навантаження по всій площі зразка й спотворює результати випробування.

Усунути це явище можна, використовуючи сконструйований прилад (рис. 4.20), установлюваний по центру на нижню плиту преса.

4.5.8. Мала методика М. І. Стрелкова

Фізико-механічні випробування цементу здійснюються з метою визначення якості цементу та його придатності для використання в різних галузях промисловості.

Випробування цементу здійснюється відповідно до ДСТУ EN 196-1, 196-3:2007.

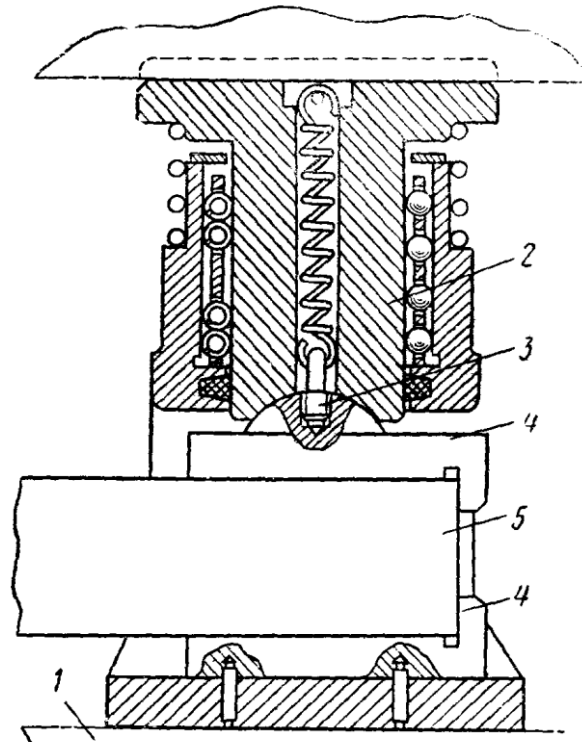


Рисунок 4.20 – Прилад при випробуванні на стиск половинок балочок:
1 – плита преса; 2 – натискний шток; 3 – кульова опора;
4 – натискні плити; 5 – випробуваний зразок

Але дослідження в'язучих властивостей нових видів цементів, отриманих у лабораторних умовах у невеликих кількостях, а також клінкерних мінералів, що важко синтезуються, не можуть виконуватися стандартними методами, через те, що потрібно 4 – 5 кг матеріалу.

У зв'язку з цим М. І. Стрелковим була запропонована методика для випробування цементів у малих зразках.

Згідно з цією методикою визначаються нормальна густина, терміни тужавіння цементного тіста, а також границя міцності на стиск цементних зразків.

Нормальною густотою називають таку консистенцію цементного тіста (суміш цементу з водою) або розчину (суміш цементу, піску та води), яка забезпечує достатню рухливість і дозволяє щільно укласти їх у форму. Нормальна густина характеризується кількістю води замішування, що необхідна для одержання тіста або розчину вищевказаної консистенції, яка виражається у відсотках від ваги цементу. Визначення нормальної густоти цементного тіста повинне передувати визначенню терміну тужавіння та механічної міцності в'язучих матеріалів.

Поряд з цим визначення нормальної густоти тіста має самостійне значення, тому що характеризує водопотребу в'язучого матеріалу, яка є важливим показником.

Зазвичай для здійснення хімічних реакцій гідратації потрібно значно менше води, ніж для одержання тіста нормальної густоти. Чим менше береться води для отримання легкоукладуваного тіста нормальної густоти, тим вище буде міцність цементного каменю. Цим пояснюється прагнення до зниження водопотреби цементу шляхом введення різноманітних добавок або іншими способами.

Визначення нормальної густоти та термінів тужавіння цементного тіста, виготовленого з гідравлічних в'язучих речовин, здійснюють за допомогою зменшеного приладу Віка.

Процес тверднення супроводжується рядом хімічних, фізичних та фізико-хімічних перетворень. Початком тверднення є тужавіння. У процесі тужавіння пластичне тісто, яке має велику рухливість, починає ущільнюватись і густішати, що відповідає початку тужавіння, потім воно остаточно втрачає рухливість, перетворюючись на землісто-крихке тверде тіло, яке не має істотної міцності, що відповідає закінченню тужавіння. Наступні хімічні й фізико-хімічні процеси зумовлюють поступове наростання міцності, тобто тверднення.

Початок тужавіння цементу має наставати не раніше ніж через 45 хв., а кінець – не пізніше ніж через 10 год. з моменту змішування. За строками тужавіння цементу поділяються на три групи:

- швидкоотужавіючі (А) з початком тужавіння раніше ніж через 45 хв з моменту замішування;
- нормальнотужавіючі (Б) – початок тужавіння через 45 хв., а кінець – не пізніше ніж через 10 год. з моменту замішування;

- повільнотужавіючі (В) – кінець тужавіння пізніше ніж через 10 год.

В'яжуче тим цінніше, чим швидше наростає його міцність після початку тужавіння, а отже, чим менший проміжок часу між початком і кінцем тужавіння. Тужавіння прискорюється з підвищенням температури, збільшенням тонкості помелу, зниженням кількості води замішування. Цінність цементу як будівельного матеріалу визначається насамперед його механічною міцністю у затверділому стані.

На міцність цементу впливають численні чинники, найважливішими з яких є мінералогічний склад і структура клінкеру, тонкість помелу цементу, водоцементне відношення, умови тверднення (температура й вологість). Випробування міцності в'яжучих матеріалів на стиск здійснюється на гідравлічних пресах або за допомогою запропонованого М. І. Стрелковим прес-патрона.

Прилад Віка (рис. 4.21) має циліндричний металевий стрижень 1 вагою 80 г, який вільно переміщується в обоймі станини 2. Для закріплення стрижня на потрібній висоті використовується затискний гвинт 3. Стрижень обладнаний покажчиком 4 для відліку його переміщення відносно шкали 5, яка прикріплена до станини. Шкала має ціну поділки 1 мм.

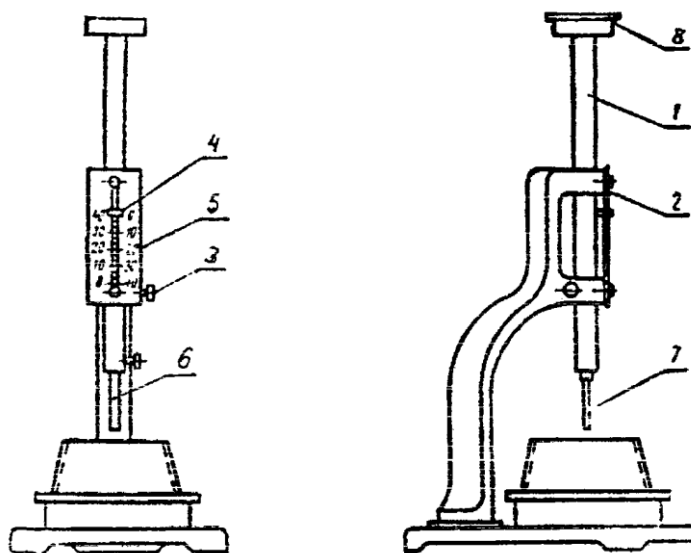


Рисунок 4.21 – Прилад Віка:

1 – стрижень; 2 – станина; 3 – затискаючий гвинт; 4 – покажчик;
5 – шкала; 6 – товкачик; 7 – голка; 8 – вантаж

Для визначення нормальної густоти тіста в нижню частину стрижня уставляють металевий циліндр – товкачик 6, вага якого 8,30 г, діаметр 2,5 мм, висота 30 мм.

Під час визначення термінів тужавіння товкачик замінюють голкою 7, вага якої 3,95 г, діаметр 0,4 мм, довжина 22 мм.

Для роботи з голкою необхідно брати додатковий вантаж 8 вагою 4,35 г, який накладають зверху стрижня.

Перед проведенням випробувань слід перевірити, чи вільно опускається стрижень приладу Віка, а також перевірити нульове показання приладу шляхом зіткнення товкачика з пластиною, виготовленою з нержавіючої сталі, пластмаси або скла, на якій розташоване металеве кільце, висота якого 20 мм, верхній діаметр 19,4 мм, нижній діаметр 24,6 мм.

Кільце та пластинка перед початком випробувань змащуються тонким шаром машинного масла. Крім того, необхідно перевірити чистоту та відсутність скривлення голки.

Визначення нормальної густоти цементного тіста. Для приготування цементного тіста необхідно відважити 20 г цементу, висипати в чашку, яка попередньо протерта вологою тканиною, зробити в цементі поглиблення та влити туди в один захід воду в кількості, яка необхідна (орієнтовно) для одержання цементного тіста нормальної густоти.

Після заливання води поглиблення засипають цементом, спочатку обережно перемішують, а потім енергійно розтирають тісто лопаткою, виготовленою з нержавіючої сталі впродовж 2 хв. Відразу після закінчення перемішування треба заповнити кільце в один захід цементним тістом та 5 – 6 разів струснути його, постукуючи пластинкою по твердій поверхні. Потім поверхню тіста вирівнюють з краями кільця, зрізуючи надлишок тіста ножем. Негайно після цього товкачик приладу стикається з поверхнею тіста в центрі кільця, а стрижень закріплюється за допомогою затискного гвинта, потім, швидко відкручуючи гвинт, звільняють стрижень 1 і надають товкачику можливість вільно заглиблюватись у тісто.

Через 30 с з моменту звільнення стрижня здійснюють відлік заглиблення товкачика за шкалою. Кільце з тістом під час визначення не повинне зазнавати поштовхів.

Нормальною густиною цементного тіста називається така його консистенція, при якій товкачик приладу Віка, що заглиблюється в кільце, заповнене тістом, не доходить 5 мм до пластинки, на якій розміщено кільце.

При невідповідній консистенції цементного тіста змінюють кількість води і знову замішують тісто з метою досягнення занурювання товкачика на глибину, що вказана в даній методиці. Кількість води, що додається, для отримання тіста нормальної густоти, яка виражається у відсотках від ваги цементу, визначається з точністю до 0,25 %.

Визначення термінів тужавіння цементного тіста. Кільце заповнюють цементним тістом нормальної густоти згідно з викладеною вище методикою. Голку приладу доводять до стикання з поверхнею цементного тіста й у цьому положенні закріплюють стрижень затискним гвинтом; далі звільняють стрижень, після чого голка повинна вільно заглиблюватися в тісто.

На початку випробування, доки тісто перебуває в рідкому стані, щоб запобігти сильному удару голки об пластинку, допускається трохи її затримувати під час заглиблювання в тісто.

Як тільки тісто загусне настільки, що зникне загроза пошкодження голки, їй надають можливість вільно занурюватися в тісто. Момент початку тужавіння визначається під час вільного опускання голки.

Голку заглиблюють у тісто через кожні 5 хв до початку тужавіння та через 15 хв. у подальшому, кожного разу пересуваючи кільце для того, щоб голка не влучала в те саме місце. Також після кожного занурювання голку слід витирати вологою тканиною.

Початком тужавіння цементного тіста вважається час, який минув від початку замішування (моменту вливання води) до того моменту, коли голка не доходить 0,5 – 1 мм до пластинки, на якій розміщено кільце. Кінцем тужавіння цементного тіста вважається час від початку замішування до моменту, коли голка буде опускатися в тісто не більше ніж на 0,5 – 1 мм.

Визначення границі міцності на стиск. Для виготовлення циліндричних зразків, які випробуються на стиск, застосовують дев'ятигніздову форму: висота форми 14,15 мм, верхній діаметр гнізда 16,25 мм, нижній 15,75 мм, середній 16,00 мм.

Форму встановлюють більшим діаметром гнізд догори на скляну пластинку розміром 9×9 см. Перед виготовленням зразків внутрішню поверхню стінки форми та пластинку змащують тонким шаром машинного масла. Цементне тісто нормальної густоти заливають у гнізда форми з невеликим надлишком, і масу штикують 10 разів металевим стрижнем діаметром 3 мм. Форму з цементним тістом поміщають у вологе середовище і, після того як тісто трохи затвердне, зачищають ножом врівень з краями форми.

Зразки зберігають у формі 24 ± 1 год, а потім витягують шляхом натиснення великого пальця на поверхню зразка з боку меншого діаметра.

Випробування здійснюються після 2; 7 та 28 діб тверднення. Зразок піддають стисканню на гідравлічному пресі і фіксують показання манометра.

Обчислення границі міцності на стиск $R_{ст}$ (МПа) здійснюється за формулою

$$R_{ст} = \frac{63,6 \cdot 0,8 \cdot n \cdot 10^{-1}}{S_{зр}},$$

де 63,6 – площа плити преса, см^2 ; 0,8 – показання однієї поділки манометра; n – фіксоване показання манометра; $S_{зр}$ – площа зразка, см^2 .

За результатами виконаних випробувань роблять висновок.

4.7.9. Вплив режимів тверднення зразків на міцнісні характеристики цементів

Залежно від роду в'язучої речовини і її призначення при випробуваннях устанавлюють різні режими тверднення зразків: їх витримують на повітрі, у воді, у вологому середовищі; застосовують комбінований режим зберігання, водотеплову обробку при атмосферному й підвищеному тиску.

Повітряне тверднення, необхідне при випробуванні повітряних в'язучих, полягає в тому, що зразки витримують на повітрі при кімнатній температурі.

Водне тверднення застосовують при випробуванні гідравлічних в'язучих речовин, для чого зразки попередньо витримують у вологому середовищі, а іноді й на повітрі, щоб вони набули достатньої міцності, здатної протистояти дії води.

Термін попереднього витримування у вологому середовищі залежить від швидкості тверднення цементів. Чим швидше твердне цемент, тим скоріше він набуває необхідної міцності і тим раніше зразки можуть бути занурені у воду. Так, зразки з портландцементу необхідно попередньо витримувати у вологому середовищі протягом 1 доби, зразки із глиноземистого цементу – 6 год., а зразки з романцементу – 7 діб.

Вологому твердненню зразки піддають при випробуванні гідравлічних цементів, коли водне зберігання недоцільне. Наприклад, перебування малих зразків у воді викликає посилене вилуговування вапна й створює умови, що різко відрізняються від практичних. Для водного зберігання великих зразків при випробуванні бетону потрібні були б більші резервуари. Нарешті, зразки з повільнотужавіючими цементами можна занурювати у воду тільки через тривалий час після виготовлення; разом з тим вони не можуть тверднути на повітрі, де немає умов для реакції гідратації цементів. Усе це викликає необхідність їх зберігання у вологому середовищі, яке полягає в тому, що зразки витримують над водою в закритих посудинах або в камерах з відносною вологістю повітря не менш 90 %. Вологий режим тверднення можна створити також, витримуючи зразки в ошурках або піску, насичених водою, при цьому необхідно стежити за тим, щоб ошурки або пісок не висихали.

Комбінований режим тверднення полягає в тому, що зразки протягом 1 доби витримують у вологому середовищі, потім 6 діб – у воді, далі – на повітрі. Тверднення бетону в практичних умовах не цілком відповідає умовам випробування цементу при водному, а іноді й вологому зберіганні, тому що бетон поливають водою на початку тверднення протягом досить короткого періоду часу, надалі ж бетон твердіє на повітрі. Навіть гідротехнічні споруди, наприклад греблі, часто піддають дії води тільки через тривалий строк (до 1 – 2 років) після укладання бетону, тобто вони досить тривалий час твердіють на повітрі. Тому умови комбінованого зберігання в ряді випадків ближчі до умов тверднення цементу в спорудах.

При всіх режимах тверднення терміни випробування обчислюють з моменту виготовлення зразків.

У заводських умовах переважно поширені прискорені режими тверднення при водотепловій обробці – пропарюванні вологою парою за атмосферного й підвищеного тиску.

Пропарювання в лабораторних умовах здійснюють у спеціальних апаратах, куди подається пара. У камерах цих апаратів доцільно автоматично підтримувати заданий режим пропарювання. При цьому підйом температури повинен проводитися протягом певного періоду часу для того, щоб за кожну одиницю часу температура підіймалася на задану величину. Те ж відноситься й до спаду температури після пропарювання. Максимальна температура пропарювання, при якій витримують зразки, повинна також автоматично підтримуватися на необхідному рівні. При автоматичному регулюванні режиму пропарювання паралельні випробування того самого цементу дають близькі між собою результати.

У лабораторних умовах пропарювання при атмосферному тиску можна здійснити й спрощеним способом. Після однодобового витримання у вологому середовищі зразки поміщають в ексікатор на дірчасту підставку, попередньо наливши у нього підігріту воду в кількості, достатній для створення вологого середовища. Ексікатор зі зразками поміщають у сушильну шафу, у якій підтримують температуру 80 – 90 °С. При такому режимі зразки витримують 8 – 24 год., після чого подачу струму припиняють і зразки поступово остигають. Через 2 доби після виготовлення зразки випробовують. Зразки можна пропарювати відразу ж після виготовлення, у цьому випадку їх випробовують через добу (з моменту виготовлення зразків). Зразки можна також пропарювати в бачках, аналогічних тим, які застосовуються при випробуванні рівномірності зміни об'єму.

Обробку парою при підвищеному тиску (запарювання) виконують в автоклаві, подібному до того, що застосовується для випробування рівномірності зміни об'єму. Автоклав обладнують електричним обігрівом, манометром і запобіжним клапаном. На дно наливають воду, яка займає близько 10 % об'єму автоклава. Цієї кількості води досить для утворення потрібної кількості вологої пари. Запарювання зразків в автоклаві виконують здебільшого при тиску $8 \pm 0,5$ атм, що відповідає тем-

пературі 172 – 177 °С; величину тиску можна змінювати. Зразковий режим запарювання такий: підйом тиску 1 – 2 год., витримка при заданому тиску 6 – 8 год., падіння тиску 1 – 2 год. До запарювання зразки зазвичай витримують 1 добу у вологому середовищі. Встановлений режим запарювання доцільно регулювати автоматично.

В автоклаві зразки встановлюють на підставці з дірчастими полицями; це забезпечує рівномірну обробку зразків парою. Нижня полиця повинна перебувати на відстані не менш 8 см над водою.

4.7.10. Визначення водовідділення

Як при лабораторних випробуваннях, так і в процесі виготовлення розчинів і бетонів на будівництві спостерігається різне відношення цементів до води замішування. Деякі цементи під час тужавіння міцно утримують воду замішування, інші відокремлюють деяку її кількість. Вода, що відділилася, або покриває верхню поверхню зразків у вигляді шару тієї чи іншої товщини, або впливає через зазори між формою й піддоном.

Зі зменшенням кількості води замішування знижується й водовідділення цементів. Однак навіть при визначенні термінів тужавіння цементного тіста, коли В/Ц $\approx 0,25$, можна вже побачити, що деякі цементи дають у кільці досить помітний відстій води. Це явище ще яскравіше виражене в бетоні.

Водовідділення має велике значення для одержання однорідного бетонного тіла й для надійного зчеплення цементу, що твердне в бетоні, з великим заповнювачем і залізною арматурою. Шар води, який відділяється від бетону, збирається над шарами бетону, що послідовно укладаються. Це заважає зчепленню шарів між собою й викликає утворення між ними більш слабкого за міцністю прошарку з відносно більшим вмістом води. Таке розшаровування бетону порушує однорідність бетонного моноліту й, в остаточному підсумку, знижує його міцність.

Розшаровування відбувається не тільки по поверхні шарів покладеного бетону, але й усередині нього, поблизу заповнювачів. Вода, що відділяється від цементного розчину, усередині бетонного тіла, зазвичай збирається під нижньою поверхнею великих заповнювачів і арматури, що викликає ослаблення зв'язку цементного каменю із заповнювачем і

арматурами. Крім того, при випаровуванні води, що відділилася, утворюються пори, які полегшують проникнення води усередину бетону.

Іноді велике водовідділення може виявитися навіть корисним, як, наприклад, при бетонуванні конструкцій невеликого поперечного перерізу, опалубка для яких заповнюється бетонною сумішшю в один прийом, або при виготовленні бетонних труб відцентровим способом. У цих випадках відділення води викликає деяке зменшення водоцементного відношення масі, що в твердне; це підвищує її механічну міцність.

Існує ряд методів визначення водовідділення цементів. При випробуванні одним з них на аркуші щільного паперу відважують 350 г цементу з точністю до 1 г, відмірюють 350 мл води з точністю до 1 мл. З відміряної води відливають близько 250 мл у порцелянову склянку ємністю 1 л; у цю же склянку висипають наважку цементу, одночасно перемішуючи її металевим шпателем; операція триває близько 1 хв. Отримане цементне тісто перемішують ще 4 хв. і обережно переливають у градуйований циліндр ємністю близько 500 мл.

Цементне тісто, що залишилося після переливання на шпателі, дні й стінках порцелянової склянки, ретельно змивають у той же циліндр залишком води близько 100 мл. Після цього циліндр із цементним тестом, для досягнення гарного перемішування цементу з водою, десять раз повільно перевертають догори дном, при цьому щільно затискаючи отвір рукою. Циліндр із цементним тестом ставлять на стіл і негайно ж відраховують об'єм цементного тіста V_1 ; при цьому не враховують тісто, що осіло на верхній частині стінок циліндра. Під час досліду циліндр повинен стояти нерухомо й не зазнавати поштовхів. Досліди виконують при температурі 25 ± 1 °С. Вода для замішування й цемент повинні мати ту ж саму температуру.

Для спостереження ходу процесу водовідділення цементу залежно від часу, що пройшов від початку досліду, об'єм осілого цементного тіста відзначають через кожні 15 хв. протягом 1 год. і через кожні 30 хв. при подальших спостереженнях. За початок досліду при цьому беруть момент першого відліку об'єму цементного тіста. При збігу двох останніх відліків подальші спостереження припиняють і вміст циліндра виливають.

Термін повного водовідділення характеризується часом, що прой-

шов від початку досліду до закінчення процесу водовідділення, тобто до останнього відліку по циліндру. Звичайне відділення води від цементного тіста складу 1 : 1 – цемент : вода (за вагою) припиняється не пізніше ніж через 3 год.

Коефіцієнт водовідділення в даний термін обчислюють за наступною формулою

$$K_B = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100,$$

де V_1 – початковий об'єм цементного тіста, см^3 ; V_2 – об'єм осілого цементного тіста в даний термін, см^3 , $V_1 - V_2$ – об'єм води, що відділився за даний термін, см^3 .

Також водовідділення рекомендують визначати в металевих або порцелянових склянках із плоским дном діаметром близько 10 см і висотою близько 15 см, із гладкими внутрішніми поверхнями, бажано з носиком. Для цієї мети замішують два зразки діаметром близько 10 см (внутрішній діаметр склянки) і висотою 6 см.

Кількість цементу на кожен зразок при $B/C = 0,5$ визначають за формулою

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\gamma_{\text{пит.ц}}} + \frac{B}{C}} = \frac{V}{\frac{1}{\gamma_{\text{пит.ц}}} + 0,5},$$

де V – об'єм зразка, що становить $\pi d^2 \cdot h / 4 = \pi d^2 \cdot 6 / 4 = 4,71 \cdot d^2$, см^3 ; d – внутрішній діаметр склянки, см; $\gamma_{\text{пит.ц}}$ – питома вага цементу.

Кількість води $B = C \cdot 0,5$. Цемент і воду перед випробуванням витримують у приміщенні з температурою 20 ± 3 °С.

Наважки цементу й води розміщують у сферичній чашці, попередньо зволоженої ганчіркою. Суміш перемішують вручну протягом 2 хв. Отримане тісто із чашки переносять у склянку (попередньо протерту вологою ганчіркою) і додатково перемішують на механічній пропелерній мішалці протягом 5 хв. Після закінчення перемішування склянку вста-

новлюють на тверду підставу й, щоб уникнути випаровування води, накривають склом. Під час відстоювання зразок не повинен зазнавати струсів.

Водовідділення цементу визначають шляхом безпосереднього зливання в градуйовану пробірку або циліндр ємністю 25 мл (із ціною поділки не більш 0,5 мл) води, що виділилася на поверхні зразка через 3 – 4 год. з моменту приготування. У випадку якщо при зливанні разом з водою потече й цементне тісто, зразок слід замішати знову й збільшити тривалість відстоювання на 1 – 2 год.

Питоме водовідділення ($B_{\text{пит.}}$) визначають за формулою

$$B_{\text{пит}} = \frac{B \cdot 100}{V} \%,$$

де B – кількість води, що відділилася, мл; V – початковий об'єм цементного тіста, тобто $4,71 d^2$, см³ (d – діаметр склянки).

Питоме водовідділення визначають із точністю до 0,1 %. За остаточний результат беруть середнє арифметичне із двох значень, причому якщо відхилення окремих значень від середнього перевищує ± 5 %, то випробування повторюють.

Можна визначати водовідділення й у такий спосіб. У скляну посудину досить великого діаметра укладають свіжовироблене цементне тісто й обережно наливають воду. На поверхню цементного тіста в середині посудини поміщають поплавець із матеріалу такої питомої ваги, щоб поплавець міг вільно поринати у воду, але не поринав би в цементне тісто. У поплавці укріплений скляний стрижень, що має у верхній своїй частині позначку, положення якої фіксується за допомогою мікрометричного мікроскопа. У такий спосіб визначається опускання цементного тіста, а відповідно із цим і його водовідділення.

За методом, запропонованим С. В. Шестоперовим і Ф. М. Івановим, для визначення водовідділення три форми кубів розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см встановлюють одну на одну. У дві нижні форми засипають із ущільненням пісок. У верхню поміщають певну кількість цементного тіста. Через 1 добу зразки розформовують, зважують і за різницею ваги визначають кінцеве В/Ц і кількість витеклої води. Тісто за-

кривають для збереження його від випаровування води. Об'єм піску у двох нижніх формах забезпечує вільне стікання води з тіста.

Водовідділення розчинної суміші можна визначити також у такий спосіб. У високий металевий циліндр із дном, що вигвинчується, поміщають цементний розчин і загладжують його поверхню урівень із краями форми. Потім на верхню частину циліндра щільно надягають металеве кільце; стик між кільцем і циліндром покривають гумовим кільцем. На поверхню розчину кладуть два аркуші фільтрувального паперу й насилають наважку сухого піску. Після цього посудину покривають покривним склом, яке притискають до неї другим гумовим кільцем. Через певний термін, що приблизно дорівнює часу початку схоплювання цементу, знімають покривне скло, витягають адсорбуючий пісок і зважують його разом з одним аркушем фільтрувального паперу. За збільшенням ваги судять про водовідділення цементного розчину.

За ДСТУ Б В.2.7-239:2010 на методи випробувань будівельних розчинів визначають водоутримуючу здатність розчинної суміші, під якою розуміють її здатність утримувати у своєму складі достатню для твердіння в'язучого кількість води в умовах інтенсивного відсмоктування її пористим матеріалом. Водоутримуючу здатність обчислюють на основі результатів визначення рухливості розчинної суміші до й після вакуумування.

Рухливістю (консистенцією) розчинної суміші називають її здатність розтікатися під дією власної ваги або прикладених до неї зовнішніх сил. Рухливість визначають за глибиною занурення (см) у розчинну суміш сталевого нагостреного конуса *1* (рис. 4.22).

Прилад для цього визначення складається зі штатива, на стійці *2* якого закріплені утримувачі *3* і *4*. У пересувному утримувачі *3* є пружинна кнопка *5*, за допомогою якої втримується ковзний стрижень *6* конуса. На утримувачі *4* закріплені штанга *7* і циферблат *8*, що має дві шкали, по яких проводяться відліки глибини занурення (см). Вага конуса *1* зі стрижнем *6* і баластом повинна дорівнювати 300 ± 2 г. Висота конуса *145* мм, діаметр підставки *75* мм. Посуд *9* для розчинної суміші виготовляють із листової сталі у вигляді конуса, що має діаметр підставки *150* мм і висоту *180* мм. Посуд *9* наповнюють розчинною сумішшю до рівня, що приблизно на *1* см нижчий від його країв.

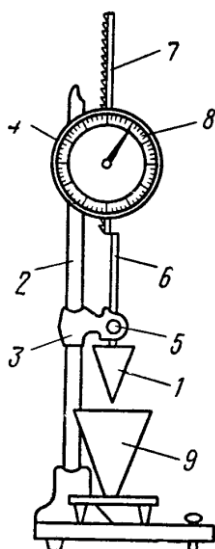


Рисунок 4.22 – Прилад для визначення рухливості розчинної суміші

Суміш ущільнюють штикуванням 26 разів сталевим стрижнем діаметром 10 – 12 мм і струшують посуд 5 – 6 разів легким постукуванням по столу. Вістря конуса приводять у зіткнення з поверхнею розчинної суміші, опускають штангу до зіткнення зі стрижнем конуса й установлюють проти стрілки нуль циферблата. Натискають пружинну кнопку, дозволяючи конусу вільно поринати в розчинну суміш. Через 10 с опускають штангу до зіткнення зі стрижнем конуса й виконують відлік по циферблату з точністю до 0,2 см глибини занурення в розчинну суміш конуса 1. Величину рухливості розчинної суміші обчислюють як середнє арифметичне результатів двох випробувань.

При визначенні водоутримуючої здатності користуються приладом (рис. 4.23), що складається із порцелянової або металевої лійки із внутрішнім діаметром 154 – 156 мм і внутрішньою висотою 60 мм, і фільтра з діаметром отворів 1,4 – 1,6 мм. Прилад обладнаний вимірником розрідження й повітряним насосом для створення розрідження.

Після визначення початкової рухливості розчинної суміші на фільтрувальну поверхню лійки розстеляють фільтрувальний папір, на який кладуть розчинну суміш товщиною 3 см. Потім розчинну суміш при розрідженні в 50 мм рт. ст. частково зневоднюють протягом 1 хв. і викладають у вільний посуд. Випробування повторюють три рази, відбираючи проби одну за одною. Потім, ретельно перемішавши зневоднені проби, знову визначають рухливість розчинної суміші.

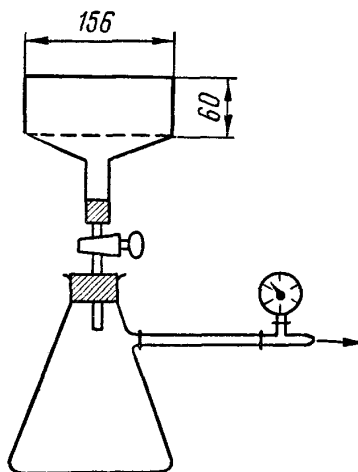


Рисунок 4.23 – Прилад для визначення водоутримуючої здатності розчинної суміші

Показник водоутримуючої здатності визначають за формулою:

$$P_B = \frac{S_2 \cdot 100}{S_1} \%,$$

де S_1 і S_2 – рухливість розчинної суміші відповідно перед і після вакуумування, см.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-176:2008 для гідротехнічного бетону водовідділення бетонної суміші визначають у такий спосіб. Мірні посудини ємністю 5 або 15 л заповнюють бетонною сумішшю приблизно рівними за обсягом частинами в три шари. Кожний шар штикують рівномірно по всій площі 16 і 35 разів (для меншої й більшої мірної посудини) сталевим стрижнем із закругленим кінцем (діаметром 16 мм, довжиною 600 мм).

Після штикування кожного шару постукують дном посудини об підлогу або лабораторний стіл 15 разів, після чого в посудину поміщають наступну частину бетонної суміші. Нижній шар штикують на всю його товщину, а при штикуванні наступних шарів стрижень повинен проникати у шар, що розташований нижче, на глибину не більш 2 – 3 см.

Після заповнення циліндра й закінчення штикування верхнього шару поверхню бетонної суміші зрізають і вирівнюють кельмою урівень із краями циліндра. Циліндр установлюють на вивірений горизонталь-

ний майданчик і залишають у спокої протягом 1,5 год. Для попередження сильного випарювання води, що відділилася, особливо в літню пору, рекомендується мірну посудину накривати перекинутим металевим або зволженим дерев'яним ящиком.

Після закінчення 1,5 год. сталеву лінійкою вимірюють висоту води, що відділилася з поверхні шару. Вимір виконують зануренням лінійки у воду до поверхні бетонної суміші. Довжину змоченого водою кінця лінійки вимірюють із точністю до 1 мм. Для кожної проби бетонної суміші виконують два окремі визначення, з яких обчислюють середню величину. Відносне водовідділення, що характеризує зв'язність, визначають за формулою

$$B = h/H,$$

де h – висота шару води, що відділилася з поверхні бетонної суміші, мм;
 H – висота циліндричної мірної посудини, мм.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.11. Визначення усадки й набухання

При твердненні цементу або виготовленого з нього розчину й бетону спостерігається деяка зміна об'єму, що виникає внаслідок ряду причин, найбільш важливими з яких є: екзотермія процесу тверднення, пов'язана з підвищенням температури тужавної в'язучої речовини; поверхневі натяги, що викликають зменшення розмірів зразків при висиханні на повітрі й збільшення розмірів при набряканні у воді; об'ємні зміни в результаті хімічних реакцій і фізико-хімічних процесів, що відбуваються при твердненні цементу.

У масивних спорудах особливо сильно позначається екзотермія процесу тверднення; у спорудах з невеликим поперечним перерізом більш помітний вплив виявляють поверхневі натяги. Дія хімічних і фізико-хімічних процесів на об'ємні зміни тужавного цементу спостерігається тією чи іншою мірою в спорудах обох типів.

У лабораторних дослідженнях при роботі зі зразками порівняно невеликих розмірів вплив екзотермічного ефекту позначається незначно.

У цих умовах більше значення мають дві інші причини. При зберіганні зразків у воді зазвичай спостерігається їх набухання, а при зберіганні на повітрі – усадка.

Величина об'ємних деформацій залежить від мінералогічного складу цементу, тонкості його помелу, виду й кількості добавок, вологості середовища. При збільшенні кількості $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, більшій тонкості помелу, введенні активних мінеральних добавок осадового походження й підвищеному випаровуванню води в сухих умовах, усадочні деформації зростають. При значних усадочних деформаціях тужавних цементів виникають такі шкідливі напруження, які призводять до утворення тріщин.

Для визначення деформацій усадки й набухання існує ряд приладів, що відрізняються як за своєю конструкцією, так і за виглядом зразків, які підлягають виміру.

Прилад для вимірювання усадки (рис. 4.24) має індикаторний мікрометр *1* з поділками до 0,01 мм і двома стрілками, з яких більша вказує частки міліметра, а менша – міліметри, що відповідає повному оберту великої стрілки.

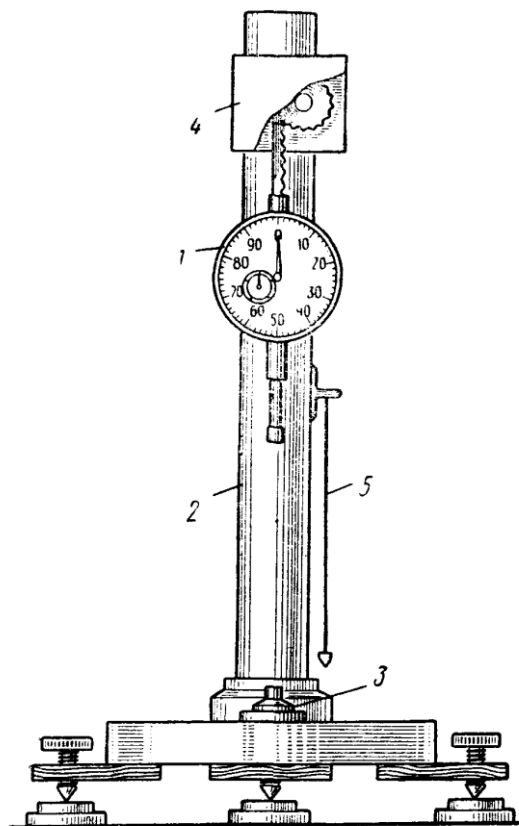


Рисунок 4.24 – Прилад для вимірювання усадки

Індикатор міцно закріплений на станині 2 встановлювальними гвинтами. Таким чином, відстань між кінцем стрілки індикатора й нижнім конусом 3 залишається завжди постійною. Індикатор для установалення зразків піднімають за допомогою зубчастої передачі, що знаходиться в коробці 4. Схил 5 на станині служить для перевірки вертикального установалення приладу.

У цьому приладі вимірюють балочки $40 \times 40 \times 160$ мм, які виготовляють у формах, зображених на рис. 4.25. У центрі торцевих стінок кожної балочки є гнізда, які заповнюють пластиліном.

У нього на 2 – 3 мм вдавлюють сталеві кульки діаметром 5 – 6 мм. Потім раму струшують кілька разів, ударяючи об край столу, для перевірки міцності укладання кульок. Місця зіткнення рами з аркушем ретельно замазують гарячою сумішшю з 3 частин парафіну й 1 частини каніфолі. Потім форми заповнюють розчинною сумішшю й ущільнюють так само, як це роблять при виготовленні зразків для випробування міцності.

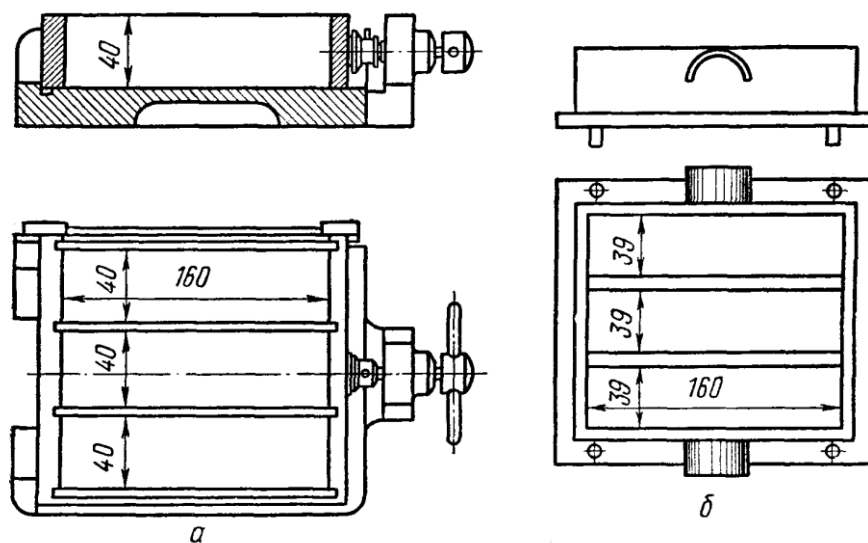


Рисунок 4.25 – Форма для виготовлення зразків:
а – форма для виготовлення балочок; *б* – насадка до форми

Через 48 ± 2 год. після замішування балочки витягують із форм, маркують і негайно опускають у воду з температурою 20 ± 2 °С на 5 діб, після чого зразки поміщають в ексікатор, який заздалегідь заряджають 200 г сухого поташу й 150 мл пересиченого його розчину. Зразки зберігають у закритому ексікаторі над розчином при температурі повітря в приміщенні 20 ± 2 °С.

За інструкцією перший раз зразки вимірюють через 7 діб після змішування, а потім через 8, 14, 28, 56, 90 і 180 діб. При розрахунках усадочних деформацій вихідною довжиною вважається довжина зразків через 8 діб.

Для обліку поправки на температурну деформацію служить еталон, що являє собою сталевий стрижень довжиною 160 мм, закріплений у дерев'яну оправу із сухого матеріалу. На одній із граней еталона є стрілка, що вказує напрямком, у якому еталон вставляється в прилад.

Перед виміром зразків кожної серії й після нього визначають довжину еталона. Для того щоб встановити еталон у прилад, обережно підіймають стрижень індикатора, ставлять еталон на нижній конус і підводять інший кінець еталона під стрижень індикатора, який потім опускають. Еталон повертають кілька разів навколо осі й після легкого постукування пальцем по стрижню індикатора роблять перший відлік. Перед другим відліком трохи піднімають стрижень індикатора, не виймаючи еталона. Еталон вставляють у прилад завжди в тому самому напрямку.

Довжину зразків вимірюють таким же шляхом, причому й тут дотримуються сталості положень їх при установленні в прилад.

Довжину зразків вимірюють із точністю до 0,01 мм, причому й відхилення при повторних вимірах того самого зразка не повинні перевищувати цю величину, що відповідає точності відліків до 0,2 – 0,3 %. З повторних вимірів зразків еталона беруть середнє значення.

Результат виміру одного зразка виражають як різницю (мм) між показаннями приладу при вимірі даного зразка й еталона. Усадочну деформацію за певний проміжок часу виражають у вигляді різниці між результатами виміру в початковий період і в даний термін. Усадочні деформації подаються в міліметрах на метр, для чого отримані величини в міліметрах множать на 6,25 (1000/160).

Згідно з інструкцією Гіпроцементу, результати визначень усадки та набухання зразків цементу записують за формою табл. 4.21.

Лінійне розширення гіпсоглиноземного цементу, що розширюється, визначають відповідно до ДСТУ Б В.2.7-266:2011 шляхом вимірювання зразків балочок за допомогою приладу, наведеного на рис. 4.26.

Він складається зі стійки 1, утримувача 2, нижньої опори 3 і індикатора 4, що дозволяє встановлювати зміну довжини зразків. Індикатор приладу має шкали: одну – з малою стрілкою, що реєструє міліметри; іншу – з великою стрілкою, що реєструє соті частки міліметра (ціна поділки 0,01 мм).

Таблиця 4.21 – Визначення усадки та набухання цементу

I. Показання індикатора, мм (середнє із трьох вимірів)							
№ зразка	7 діб	8 діб	14 діб	28 діб	56 діб	90 діб	180 діб
1							
2							
3							
4							
Еталон виміру							
Еталон після виміру							
Еталон (середнє значення)							
II. Різниця між показаннями для зразків і еталона, мм							
№ зразка	7 діб	8 діб	14 діб	28 діб	56 діб	90 діб	180 діб
1							
2							
3							
4							
III. Усадка зразків відносно розміру в 8-добовому віці, мм							
№ зразка	14 діб	28 діб	56 діб	90 діб	180 діб		
1							
2							
3							
4							
IV. Усадка зразків, мм/м							
№ зразка	14 діб	28 діб	56 діб	90 діб	180 діб		
1							
2							
3							
4							
Середнє значення							

Для контролю показань приладу застосовують спеціальний еталон, виготовлений з матеріалу з малим коефіцієнтом термічного розширення, у торці якого забиті сталеві кульки діаметром 6 мм. Довжина еталона 160 мм.

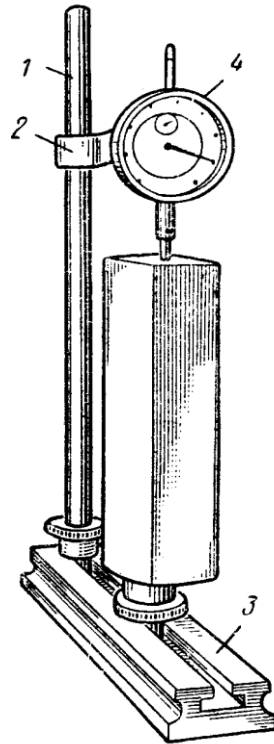


Рисунок 4.26 – Прилад для визначення лінійного розширення

Вимірювальний стрижень індикатора має на кінці напівкульове поглиблення. На підставці стійки 1 на одній осі з вимірювальним стрижнем розташована нерухома опора з напівкульовим поглибленням.

За допомогою еталона індикатор закріплюють на стійці в такому положенні, щоб стрілка на малій шкалі зупинилася на поділці 5; стрілку на великій шкалі поворотом останньої встановлюють на оцінці 0. Усі виміри зразків виконують відносно довжини еталона, оцінюючи за допомогою індикатора абсолютну величину різниці довжини еталона й зразка.

Зразки-балочки для виміру лінійного розширення виготовляють із цементного тіста нормальної густоти.

Розмір зразка-балочки $40 \times 40 \times 160$ мм.

При виготовленні зразків у форму, у спеціально висвердлені напівкульові поглиблення (луночки), закладають із кожної торцевої сторони

сталеві кульки діаметром 6 мм із припаяними дротиками, які відгинають усередину форми. На кожний вид зберігання виготовляють по три зразки-балочки, для виготовлення яких беруть наважку в 1500 г цементу. Цемент замішують із водою в кількості, необхідній для одержання тіста нормальної густоти. Отримане тісто укладають у гнізда форми, внутрішні стінки яких попередньо змазують машинним маслом. Тісто в кожному гнізді штикують 15 разів ножем, яким потім акуратно зрізують надлишок тіста й згладжують поверхні зразків, пересуваючи ніж від середини до країв призм.

Зразки звільняють від форм і нумерують не раніше ніж через 1 год від початку замішування цементного тіста.

У приміщенні, де виконують вимір зразків, повинна підтримуватися постійна температура 20 ± 2 °С і відносна вологість не менш 60 %.

Попередньо обміряні зразки, призначені для визначення лінійного розширення при водному зберіганні, повинні бути занурені у воду з температурою 20 ± 2 °С не пізніше ніж через 1 год. після кінця тужавіння цементу й повинні знаходитися в ній до наступних вимірів 1; 2 і 28 діб. При комбінованому водно-повітряному зберіганні зразків після першого виміру їх поміщають у воду на 3 доби, після чого витягують із води й поміщають на відкриті стелажі до наступних вимірів.

Лінійні виміри зразків виконують у такий спосіб.

Перед кожним виміром встановлюють за допомогою еталона нульову точку відліку приладу, потім вимірювальний стрижень індикатора піднімають настільки, щоб зразок проходив між вимірювальним стрижнем і нижньою нерухомою опорою, яка знаходиться на підставці стійки.

Зразок встановлюють нижньою кулькою в поглиблення на кінці нерухомої опори й відпускають вимірювальний стрижень таким чином, щоб верхня кулька зразка ввійшла в поглиблення на кінці вимірювального стрижня.

Обертають зразок доти, поки кульки зразка щільно не ввійдуть у поглиблення опори вимірника, а стрілка великої шкали при обертанні зразка не буде давати відхилень.

Після цього роблять відлік показань індикатора й знімають зразок.

Лінійне розширення обчислюють за формулою

$$m = \frac{(n_2 - n_1)}{l} 100 \%,$$

де n_1 – початковий відлік, зроблений при вимірі свіжоприготовленого зразка; n_2 – відлік при наступних вимірах зразка; l – початкова довжина призми.

За результат лінійного розширення беруть середнє арифметичне вимірів трьох зразків. Розбіжність між результатами трьох визначень не повинна перевищувати 15 %.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-266:2011 на гіпсоглиноземний цемент, що розширюється, лінійне розширення зразків із цементного тіста повинне становити при зануренні у воду через 1 год після виготовлення: у віці 1 доби – не менш 0,15 %; у віці 28 діб – не менш 0,30 % і не більш 1 %; при твердненні протягом перших 3 діб у воді, потім на повітрі до 28 діб – не менш 0,10 %.

На рис. 4.27 наведено прилад Н. Н. Аістова, С. Л. Вольфсона й С. Д. Огорокова.

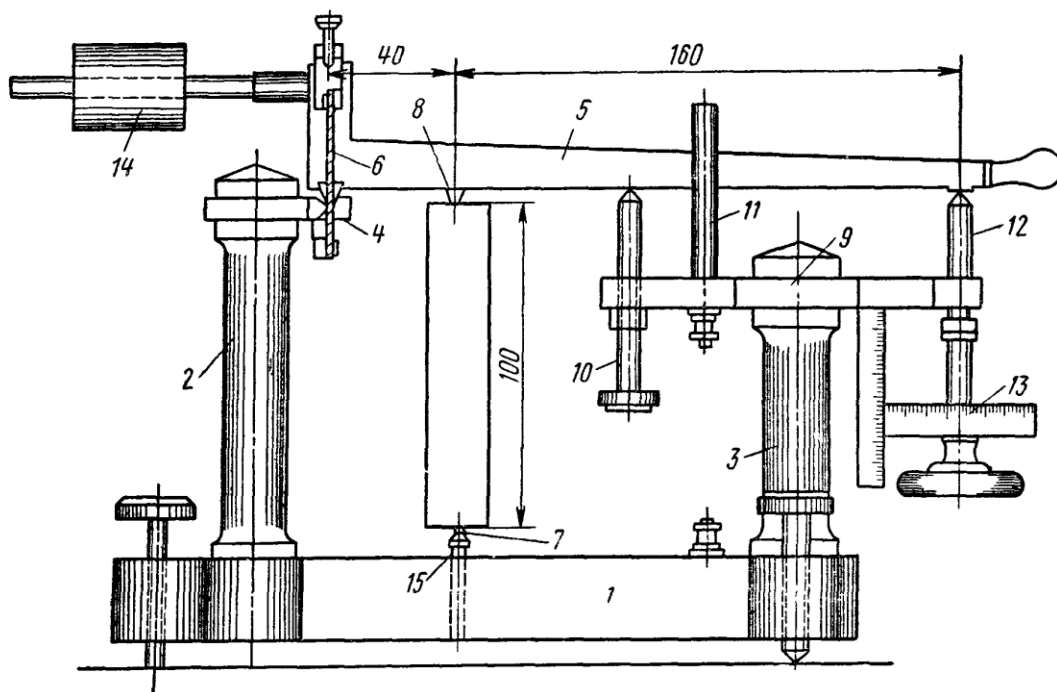


Рисунок 4.27 – Прилад Н. Н. Аістова, С. Л. Вольфсона й С. Д. Огорокова для вимірювання усадки

На станині 1 із трьома встановлювальними гвинтами укріплені стовпчики 2 і 3. Стовпчик 2 має упор 4, до якого торкається ребро призми, закріпленої на колінчатому стрижні 5. До бічних виступів повзунка на стрижні 5 прикріплюють кінці гнучких пластинок 6, протилежні кінці яких прикріплені до виступів на колонку 2. Еталон або зразок одним кінцем упирається в сталевий корпус 7, поміщений на станині 1, а іншим стикається зі сталевим конусом 8, укріпленим на стрижні 5. На колонці 3 закріплено із прокладкою ізоляції планку 9, що несе на одному кінці встановлювальний гвинт 10 і хомут 11, а на іншому – мікрометричний гвинт 12 з барабаном 13, на якому є шкала з поділками. До планки 9 і станини 1 прикріплені затискачі для проводів від сигнального дзвінка або лампочки. Для врівноважування стрижня 5 до нього прикріплюється знімна противага 14 на гвинтовому стрижні. Установлення зразка полегшує й прискорюється тим, що він упирається в конус, розташований на нерухливій станині. Противага 14 дозволяє регулювати силу натискання стрижня 5 на зразок. Конус 7 зроблений знімним на штифті, що входить в отвір на станині. Це дозволяє змінювати висоту розташування конуса, підкладаючи під нього шайбочки 15 різної товщини.

Зразки вимірюють завжди в тому самому положенні, для чого на них роблять відповідні позначки.

Крок мікрометра дорівнює 0,5 мм; укріплений на ньому обертовий рахунковий диск розбитий на 100 поділок, що при обраному відношенні плечей важелів 1 : 5 дає можливість вимірювати довжину зразка з точністю 0,001 мм, причому кожна поділка на нерухомій шкалі 13 відповідає 0,1 мм, а на обертовому барабані – 0,001 мм.

Одночасно з виміром кожного цементного зразка вимірюють також еталон, що являє собою сталевий стрижень довжиною точно 100 мм, поміщений у дерев'яну оправу. Зміна довжини цементних зразків виражається як різниця між обмірюваною довжиною зразка й довжиною еталона. Завдяки цьому усуваються помилки в результаті зношування окремих частин приладу. Через те, що в результаті тривалого застосування робочого еталона довжина його може змінюватися, робочий еталон перевіряють за допомогою контрольного.

Для виміру розмірів зразків при визначенні усадки та набухання може бути використаний вертикальний оптичний довжиномір ІЗВ-1 (рис. 4.28).

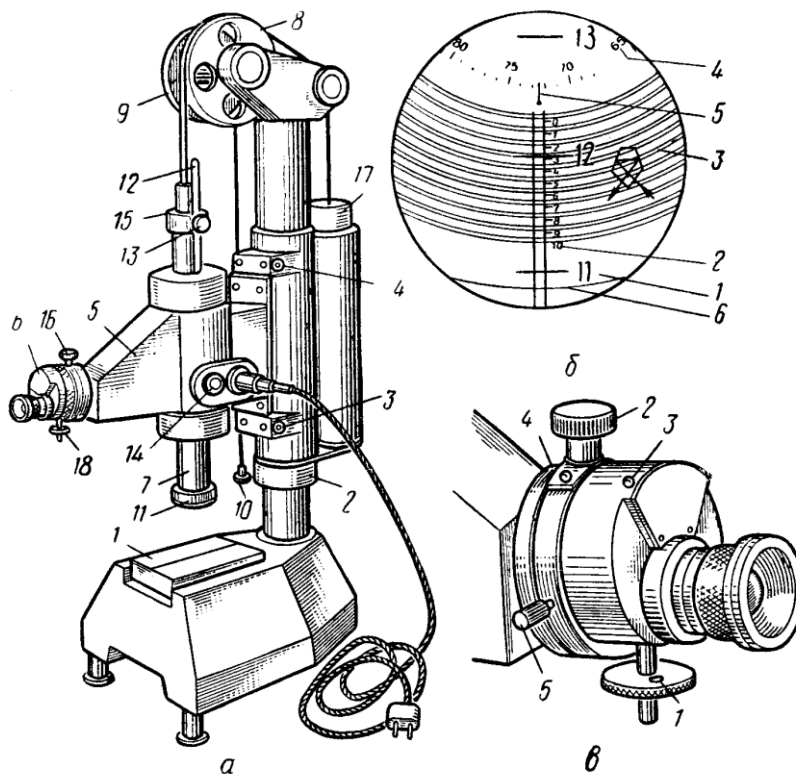


Рисунок 4.28 – Оптичний довжиномір ІЗВ-1 для виміру усадки:
а – загальний вигляд; *б* – поле зору мікроскопа;
в – відліковий мікроскоп

Він являє собою оптичний штриховий вимірювальний прилад; на ньому можна контактним способом вимірювати зразки довжиною до 250 мм.

Вимірювальний стрижень приладу опускається під дією власної ваги, й вимірювальний наконечник стикається з поверхнею зразка. Вага стрижня врівноважується противагою. Завдяки застосуванню напрямних роликів у вигляді шарикопідшипників стрижень рухається дуже легко.

У стійку підстави приладу запресована голівка з різью для підйому або опускання всієї вимірювальної голівки. Три регульовані ніжки дозволяють правильно встановити прилад за рівнем. На підставі закріплений ребристий вимірювальний столик *1*, куди встановлюють зразок.

Прилад обладнаний вимірювальною голівкою, що складається з корпуса з резервуаром масляного демпфера, кронштейна для мікроско-

па, роликів для підвішування вимірювального стрижня й противаги та роликів піднімального канатика. Вимірювальна голівка при переміщенні по стовпчику опирається на піднімальну гайку 2. Для закріплення голівки на колонці служать гвинти 3 і 4; у кронштейні 5 встановлений відліковий мікроскоп 6 і рухається вимірювальний стрижень 7. Як напрямні стрижня в цьому кронштейні встановлені обойми із шарикопідшипниками (угорі й унизу по одній обоймі), а як напрямні шпонкового виступу на вимірювальному стрижні встановлено два шарикопідшипники.

На сталевій стрічці, закріпленій на шківі 8, з однієї сторони підвішений вимірювальний стрижень, а з іншої – противага. На одній осі зі шківом сидить ролик 9 натяжного канатика. За допомогою рукоятки 10 канатика піднімають вимірювальний стрижень. У середині вимірювального стрижня встановлена основна міліметрова скляна шкала, а на нижньому кінці його насаджений вимірювальний штифт 11, на який кріпляться вимірювальні наконечники. Вимірювальний стрижень опускається плавно зі швидкістю близько 12 с на 100 мм. У верхній частині вимірювального стрижня є обмежник 12, який закріплюється гвинтом 13. Для зм'якшення ударів при підйомі й опусканні вимірювального стрижня встановлені гумові буфери. За допомогою затискного гвинта 14 вимірювальний стрижень може бути закріплений у будь-якому положенні.

Вимірювальний тиск на об'єкт при накладених трьох вантажних шайбах 15 становить 1500 – 2500 Н. Накладаючи додаткові вантажні шайби або знімаючи частину шайб, можна одержати більший або менший вимірювальний тиск.

Установлена у верхній частині вимірювального стрижня скляна міліметрова шкала відрізняється високою точністю. Поділки цієї шкали висвітлюються особливим освітлювальним обладнанням; штрихи спостерігаються в минаючому ясно-зеленому світлі. Відлік показань проводиться через мікроскоп 60-кратного збільшення зі спіральним окулярним мікрометром. Для встановлення на нуль або інший міліметровий штрих шкали окуляр переміщується нагору або вниз обертанням гвинта 16 доти, поки в полі зору штрих шкали не буде встановлений точно посередині між подвійними штрихами початкового гвинта спіралі. Для установлення на різкість штрихів шкали за допомогою ока спостерігача окуляр має діоптрійну шкалу в межах ± 5 діоптрій.

Поле зору мікроскопа показане на рис. 4.28, б. Горизонтальні штрихи 1, позначені великими цифрами 11; 12 і 13, є зображеннями штрихів основної міліметрової шкали, встановленої у вимірювальному стрижні. Зображення відповідного міліметрового штриха, у цьому випадку позначеного цифрою 12, служить покажчиком для відліку числа десятих часток міліметра по вертикальній шкалі 2, розподіл якої позначено цифрами 0; 1; 2; ...; 10. Для відліку сотих і тисячних часток міліметра служать видимі в полі зору десять витків подвійних штрихів спіралі 3 і сто розподілів кругової шкали 4. Зображення міліметрового штриха встановлюється симетрично між подвійними штрихами найближчого витка спіралі, після чого за покажчиком 5 і круговою шкалою проводиться відлік сотих і тисячних часток міліметра. Видимий інтервал між поділками кругової шкали становить близько 6 мм, що дозволяє виконувати вимір (на око) з точністю до десятих часток мікрометра. Отже, цей прилад відрізняється високою точністю виміру.

Видима в нижній частині поля зору лінія концентричного кола 6 служить тільки для вивірення спіральної шкали.

Прилад потрібно встановити на захищеному від струсів місці в сухому і чистому приміщенні з нормальною температурою 20 ± 2 °С.

Резервуар масляного демпфера закритий ковпачком 17 (рис. 4.28, а), який при заливанні масла обережно знімають. Масло застосовують вазелінове або інше мінеральне з в'язкістю 3° за Енглером при температурі 20 °С. Масло заливають вище від верхнього положення протиагаги так, щоб останній при підйомі не виходив з рідини.

Висвітлення в мережу треба включати тільки через трансформатор з первинною напругою 220 або 110 В, відповідно перемикаючи його на одну із цих напруг.

При виборі того або іншого вимірювального наконечника потрібно стежити за тим, щоб контакт між зразком і наконечником ішов по можливо меншій поверхні (точці або лінії). Так, для виробів з паралельними плоскими поверхнями застосовують сферичний наконечник, а для виробів з кульовою поверхнею – плоский наконечник.

При визначенні усадки цементних розчинів зразки доцільно готувати у вигляді призм довжиною 100 мм і поперечним перерізом 500 мм² або розміром 40 × 40 × 160 мм. У торцевій частині зразків зашпаровують

скляні й металеві (нержавіючі) пластинки. У цьому випадку доцільно застосовувати сферичний наконечник.

Наконечник насаджують на вимірювальний штифт до упору й закріплюють гвинтом. Потім затискний гвинт 13 (рис. 4.28, а) звільняють, обмежник ходу 12 підіймають у найвище положення й також закріплюють гвинтом. Після цього опускають вимірювальний стрижень униз, поки вимірювальний наконечник не торкнеться поверхні стола. Обертанням маховичка 18 штрих 0 кругової шкали з'єднують зі стрілкою вертикального індексу, потім обертають гвинт 16 окуляра доти, поки штрих 0 міліметрової шкали не стане точно симетрично між подвійними штрихами початкового витка спіralі в поділці 0 вертикальної нерухомої шкали десятих часток міліметра. Встановлювати міліметровий штрих на середину між подвійними штрихами початкового витка спіralі треба особливо ретельно, тому що від цього значною мірою залежить точність результатів виміру.

Після цього потрібно зафіксувати положення пристрою, затиснувши гвинт 14 і перевірити, чи не змістився міліметровий штрих щодо середини подвійного штриха спіralі. Необхідно також перевірити рухливість контакту вимірювального наконечника з поверхнею столика, кілька раз піднімаючи й опускаючи вимірювальний стрижень.

Після надійного встановлення на 0 рукояткою канатика піднімають вимірювальний стрижень. Ретельно очищений зразок поміщають на столик і стрижень опускають. Коли вимірювальний наконечник торкнеться зразка, роблять відлік. Відліки потрібно повторити кілька разів, щоб переконатися в надійності контакту й точності показань.

При виконанні відліку індексом для поділок основної міліметрової шкали служить початковий (нульовий) штрих нерухомої вертикальної шкали десятих часток міліметра. Якщо в полі зору окуляра штрих міліметрової шкали розташований нижче від цього індексу, це означає, що даний міліметровий штрих вже пройшов індекс, а найближчий, більший один по одному, міліметровий штрих ще не дійшов до індексу. Цифра, що стоїть біля останнього, уже пройденого штриха вертикальної нерухомої шкали десятих часток міліметра, показує кількість десятих часток міліметра. Точне положення міліметрового штриха в інтервалі останньої десятої визначається спіralлю, частину якої у вигляді концентричних

кіл можна бачити в полі зору. За круговою шкалою, видимою над спіральними витками, проводиться, як уже вказувалася, відлік сотих і тисячних часток міліметра й відзначаються на око десятитисячні частки.

Для відліку спочатку обертають спіральну шкалу за допомогою маховичка так, щоб розташований між витками спіралі міліметровий штрих зайняв симетричне положення між подвійними штрихами витка спіралі. Це симетричне установлення повинне проводитися між двома жирними вертикальними паралельними штрихами. Потім відраховують цілі міліметри, тобто цифру міліметрового штриха між подвійними штрихами витка спіралі. У зображеному на рис. 4.28 випадку він становить 12,000 мм. Відраховують число десятих часток міліметра – цифру вже пройдених міліметровим штрихом поділок вертикальної шкали. На рис. 4.26, б він становить 0,200 мм. За положенням кругової шкали щодо верхньої стрілки відлікового індексу відраховують соті й тисячні частки й на око оцінюють десятитисячні частки міліметра (на рис. 4.28, б – 0,0725). Повний відлік, таким чином, становить 12,2725 мм. До середнього значення ряду відліків додають алгебраїчне виправлення за таблицею атестата шкали, прикладеного до приладу (з урахуванням знака цього виправлення).

Для зміни меж виміру з 100 до 200 або 250 мм виконують наступні дії. Обертаючи маховичок окуляра 1 (рис. 4.28, в), встановлюють витки спіралі у вихідне положення, тобто так, що вертикальна стрілка індексу збігається з 0 кругової шкали. Потім за допомогою гвинта 2 встановлюють поверхні деталей корпусу окулярів 3 і 4 врівень один з одним і закріплюють гвинтом 5. Після цього за допомогою шестигранного ключа звільняють гвинти 3 і 4 (рис. 4.28, а) у корпусі голівки й, обертаючи гайку, піднімають вимірювальну голівку нагору по стовпчику на 100 або 150 мм.

Якщо під вимірювальний наконечник встановити плоскопаралельний кінцевий захід 100 мм або набір в 150 мм, то нульовий міліметровий штрих повинен приблизно перебувати посередині подвійних штрихів верхнього початкового витка спіралі. У цьому положенні необхідно простежити за тим, щоб вісь вимірювального стрижня проходила через середину середнього, трохи більш широкого, ребра стола й, якщо потрі-

бно, повернути корпус на колонку; після цього туго затягти гвинти 3 і 4. Відповідним чином прилад установлюють знову для виміру до 100 мм.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-45-96 для вимірювання зразків з ніздрюватого бетону при визначенні їх усадки застосовують індикаторний прилад (рис. 4.29).

Лінійну усадку визначають на трьох зразках $40 \times 40 \times 160$ мм, випиляних з належних до випробування виробів. Прилад складається зі стійки 1, кронштейна 2, нижньої опори 3 з конусоподібним виступом і індикатором 4, що дозволяє встановлювати зміну довжини зразка.

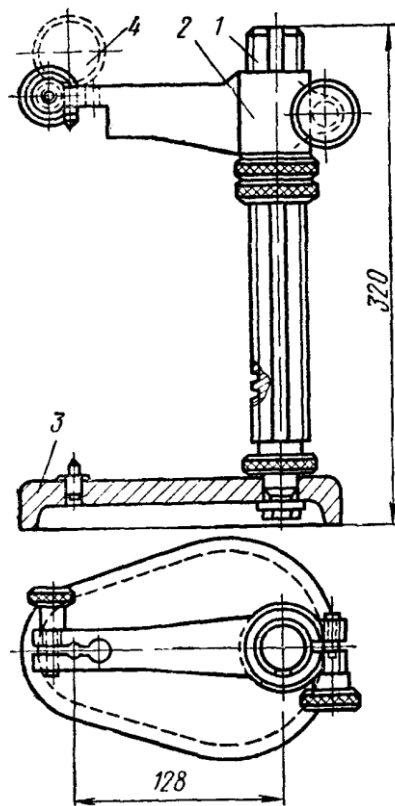


Рисунок 4.29 – Прилад для вимірювання усадки

Індикатор приладу має дві шкали: одну з малою стрілкою, що реєструє показання в міліметрах, іншу з великою стрілкою, що реєструє соті частки міліметрах (ціна поділки 0,01 мм). Вимірювальний стрижень має на кінці форму конуса.

У середину кожної торцевої сторони зразка зашпаровують металевий репер для закріплення зразка в приладі. Зразки шляхом капілярного підсмоктування насичують водою, занурюючи їх у горизонтальному по-

ложенні у воду на глибину 5 мм. Насичення зразків для проведення випробувань на усадку виконують не менш ніж через 6 год після закінчення тепловологої обробки виробів. Після закінчення 3 діб зразки виймають із води й вологою ганчіркою видаляють із поверхні надлишок води, далі зразки встановлюють у прилад, роблять відлік по індикатору й беруть його за початковий.

Потім зразки зважують і поміщають у герметичну ємність (наприклад, в ексікатор) над безводним карбонатом калію (у кількості 200 г) при температурі 20 ± 2 °С і в цих умовах витримують впродовж 28 діб. Через кожні 7 діб перевіряють довжину й вагу зразків, одночасно заміняють зволожений карбонат калію сухим. Після закінчення випробувань на лінійну усадку зразки слід висушити до постійної ваги з метою визначення кінцевої й початкової вологості зразків.

Після закінчення 28-ї доби для кожної призми обчислюють значення лінійних змін за формулою

$$m = \Delta l / l \text{ мм/м,}$$

де Δl – різниця між кінцевим і початковим показаннями індикатора, мм;
 l – довжина призми через 28 діб, обміряна штангенциркулем, м.

Усадку обчислюють як середнє арифметичне результатів визначення трьох зразків. При цьому вказують початкову й кінцеву вологість призм, беручи її як середнє арифметичне результатів випробування трьох зразків.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.7.12. Випробування на морозостійкість

Під морозостійкістю розуміють здатність насичених водою матеріалів витримувати багаторазовий поперемінний вплив заморожування й відтавання без видних на око ознак руйнування (тріщин, розшаровування, викришування і т. д.) і без значного зниження механічної міцності.

Руйнування затверділого розчину й бетону під дією морозу пов'язане із проникненням води в пори затверділого матеріалу. Ця вода, об'єм якої при замерзанні збільшується (приблизно на 9 %), руйнує стін-

ки пор, причому багаторазове поперемінне заморожування й відтавання може викликати появу тріщин, зниження міцності й у кінцевому результаті руйнування матеріалу.

Під морозостійкістю цементу розуміють здатність цементного каменю протистояти руйнуючому впливу замерзаючої в ньому води льоду, що тане, при багаторазовій знакозміні температури.

Морозостійкість бетону залежить від морозостійкості матеріалів, застосовуваних для його приготування (цементу й заповнювачів), його водопроникності в затверділому стані й ряду інших факторів. Морозостійкість цементу в бетоні залежить від величини й характеру пористого цементного каменю, ступеня заповнення пор водою, міцності цементу при розтяганні або вигині, швидкості охолодження або відтавання бетону, температури заморожування й відтавання.

Випробування морозостійкості розчинів і бетонів має у своїй основі часову температурно-тимчасову циклічність. Цей принцип був запропонований в 1884 г. Н. О. Белелюбським. Для цього випробування виготовляють зразки, які занурюють у воду до повного насичення. Потім зразки піддають заморожуванню при встановленій температурі (звичайно від -15 до -20 °С) протягом певної кількості годин. Після цього зразки з холодильника занурюють у воду кімнатної температури, де вони відтають приблизно стільки часу, скільки тривало їхнє заморожування. Відталі зразки знову заморожують, і весь цикл повторюють знову. Число циклів коливається від 25 до 300.

Після кожного циклу зразки оглядають і фіксують замічені ознаки руйнування: тріщини, відшаровування, викришування кутів і ребер. Після закінчення всіх циклів випробування на морозостійкість зразки випробовують на стиск або на вигин. Тим, що витримав випробування, прийнято вважати такий матеріал, у якого зниження міцності після всіх циклів заморожування не перевищує встановленої максимальної величини і який не має після заморожування видних ознак руйнування. У ряді випадків ставляться вимоги й відносно втрати у вазі. Вимоги відносно морозостійкості різних будівельних матеріалів встановлюються залежно від роду споруд і кліматичних умов, у яких ці матеріали застосовуються.

Для випробування на морозостійкість можна застосовувати різне холодильне обладнання.

За ДСТУ Б В.2.7-47-96 при визначенні морозостійкості важкого бетону виготовляють зразки-куби з розміром ребра 70; 100; 150 і 200 мм, які випробовують після 28-добового тверднення в нормальних вологих умовах або 7-добового витримування в цих умовах після тепловологої обробки. Основні й контрольні зразки повинні бути до випробування насичені водою шляхом витримування їх протягом 48 год. у воді при температурі 15 – 20 °С. Насичені водою основні зразки поміщають у морозильну камеру на спеціальні контейнери або на стелажі із сітками з відстанню між зразками не менш 20 мм.

Заморожування зразків можна виконувати в морозильній установці будь-якої конструкції, що дозволяє охолоджувати зразки до –15 °С. Зразки поміщають в охолоджену камеру. Якщо після завантаження температура камери буде вище –15 °С, то початок заморожування вважається з моменту встановлення цієї температури. Тривалість заморожування зразків становить 4 – 6 год. залежно від розміру зразків. Зразки відтають у ванні з водою при 15 – 20 °С протягом не менш 2 – 4 год.; кожен зразок повинен бути оточений з усіх боків шаром води товщиною не менш 20 мм.

Кількість циклів змінного заморожування й відтавання для важкого бетону становить 25 – 200, відповідно до чого бетон має марки щодо морозостійкості *F25*, *F50*, *F100*, *F150* і *F200*. Після проведення потрібних циклів заморожування й відтавання зразки піддають зовнішньому огляду й випробовують на стиск. Якщо величина ушкодженої поверхні хоча б на одній із граней, що прилягають до плит преса при випробуванні на стиск виявиться такою, що перевищує на 10 – 12 % первісну площу грані, то до випробування дефекти усувають шляхом підливання густого цементного тіста, й зразки випробовують через 3 доби після підливання, зберігаючи їх першу добу у вологому середовищі, а потім у воді.

Для встановлення морозостійкості бетону міцність зразків, що зазнають заморожування, порівнюють із міцністю контрольних зразків в еквівалентному віці.

Якщо міцність зразків після проміжних циклів заморожування й відтавання в порівнянні з контрольними зразками в еквівалентному віці (випробуваними в насиченому водою стані) знизиться на 25 %, то випробування на морозостійкість цих зразків припиняють.

Еквівалентний вік визначають за наступними формулами:

$$T_e = a + 0,1n \text{ (при 4-х циклах за добу),}$$

$$T_e = a + 0,2n \text{ (при 2-х циклах за добу),}$$

де a – тривалість тверднення зразків до початку їх заморожування, діб;
 n – число циклів поперемінного заморожування й відтавання зразків до їхнього випробування на стиск.

При визначенні втрати у вазі насичені водою зразки витягають із води, витирають вологою тканиною й зважують. Якщо втрата у вазі перевищить величини, що допускаються, то подальше випробування на морозостійкість припиняють.

При випробуванні на морозостійкість гідротехнічного бетону (ДСТУ Б В.2.7-47-96) число циклів поперемінного заморожування й відтавання становить 50 – 300, відповідно до чого і позначають марки бетону на морозостійкість. При цьому міцність зразків, що заморожуються, при стиску повинна становити не менш 75 % у порівнянні з міцністю зразків, що не зазнали заморожування в еквівалентному віці. Температура заморожування -15 °С. При спільному впливі на гідротехнічне спорудження морозу й морської або іншої мінералізованої води зразки насичують мінералізованою водою даного складу. Воду можна готувати штучно, вводячи в розчин хлориди й сульфати.

При визначенні морозостійкості будівельних розчинів випробування виконують до заданого числа циклів заморожування й відтавання або доти, поки втрата у вазі зразків не досягне 5 %.

Для визначення морозостійкості цементів за методом Гіпроцементу виготовляють із розчину пластичної консистенції зразки-призми розміром $40 \times 40 \times 160$ мм по три зразки на кожний термін випробувань. Через 28 діб зберігання у воді зразки витирають сухою ганчіркою й зважують. Потім їх поміщають у ванночки або кошики й піддають заморожуванню в холодильнику при температурі -20 ± 2 °С. Температуру знижують протягом 3 год. і витримують при найбільш низькій температурі

1 год. Після цього ванночку зі зразками витягують із холодильника й відтають протягом 4 год. у прісній воді, що має температуру не нижче

+10 °С. Потім зразки знову заморожують. Після кожних 25 циклів заморожування й відтавання зразки витирають сухою ганчіркою, зважують і визначають модуль пружності. Три зразки випробовують на вигин, а половинки призми – на стиск. Якщо грані зразків виявляються зруйнованими, то поверхню їх вирівнюють цементним тістом, залишають твердіти у вологому середовищі протягом 24 год., шліфують і випробовують.

Морозостійкість затверділого цементу можна визначати за наступною методикою, застосовуваною в лабораторії в'язучих речовин РХТУ ім. Д. І. Менделєєва. З розчину пластичної консистенції виготовляють зразки-призми розміром 20 × 20 × 130 мм. Після трьох місяців комбінованого твердіння – 1 добу у вологому середовищі й 2; 6 і 27 діб (залежно від швидкості тверднення цементу) у воді, а потім на повітрі – зразки насичують водою у вакуум-ексикаторі до заповнення 60 – 80 % об'єму сполучених пор. Після цього зразки поміщають на 30 хв. у холодильник при температурі –17 °С, а потім їх відтають у воді, що має температуру +4 °С. Для цього можна використовувати холодильну камеру домашнього електрохолодильника. Після кожних 5 циклів проводиться додаткове водонасичення зразків до встановленої норми. Через 25 – 50 циклів визначають падіння міцності зразків на вигин.

Заміна випробувань на стиск випробуванням на вигин пояснюється тим, що руйнування зразків при заморожуванні й відтаванні викликається головним чином, розривними зусиллями льоду, що утворюється. Тому умови випробування на вигин за характером наруг, що виникають у зразках, більш близькі до умов служби бетону, ніж при випробуванні на стиск.

Коефіцієнт морозостійкості при даному ступені водонасичення через n циклів обчислюють за наступною формулою:

$$K_{\text{мс}} = \frac{R_{\text{виг.}n}}{R_{\text{виг.е}}},$$

де $R_{\text{виг.}n}$ – міцність при вигині зразків, які піддавалися заморожуванню й відтаванню протягом n циклів, МПа; $R_{\text{виг.е}}$ – міцність при вигині зразків в еквівалентному віці, що дорівнює віку заморожених зразків, за винятком часу заморожування, МПа.

Випробування затверділого цементу у вигляді розчину 1 : 3 або цементного тіста можна виконувати на зразках – призмах меншого розміру, наприклад 10 × 10 × 30 мм.

Результати випробування на морозостійкість записують за формою табл. 4.22.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Таблиця 4.22 – Визначення морозостійкості

1	2	3	4	5	6	7	8	Межа міцності при стиску або вигині		11	Втрати у вазі		Характеристика зразків за зовнішнім виглядом		
								9	10		12	13	14	15	16
Найменування й склад зразків	Номер зразка при маркуванні	Дата виготовлення	Дата початку випробування на морозостійкість	Дата закінчення випробування на морозостійкість	Порядковий номер зразка-близнюка	Температурний режим заморожування	Кількість циклів заморожування й відтавання	До випробування на морозостійкість, МПа	Після випробування на морозостійкість, МПа	Різниця, %	Вага до випробування на морозостійкість, г	Вага після випробування на морозостійкість, г	Різниця, %	Ознаки руйнування	Кількість циклів до появи ознак руйнування

4.7.13. Визначення граничної напруги зрушення в'язкопластичних тіл

В'язкість – це одна із властивостей рідини, пов'язана з її внутрішньомолекулярною будовою. Вона характеризує величину сил тертя, які виникають при переміщенні одного шару рідини щодо іншого. При прямолінійному ламінарному русі сили тертя, що виникають між дотичними шарами рідини, спрямовані паралельно осі руху.

Шар рідини, що рухається швидше, захоплює за собою шар рідини, що рухається повільніше, із силою, що дорівнює силі тертя. Зі своєї сторони, шар рідини, який повільно рухається, впливає на швидкорухомий шар силами тертя, спрямованими в протилежну сторону. Сили тертя характеризуються напругою, прикладеною до системи; у потоці істинно в'язкої і непружної рідини вони можуть бути обчислені за рівнянням, запропонованим Ньютоном:

$$f = \eta S \frac{dv}{dx}, \quad (4.2)$$

де f – сила, що діє на системи (напруга), Н; η – динамічний коефіцієнт внутрішнього тертя або динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; S – площа зіткнення двох шарів рідини, мм²; dv – різниця швидкостей двох суміжних шарів рідини ($v_2 - v_1$), мм/с; dx – відстань між двома суміжними шарами рідини ($x_2 - x_1$), мм.

Отже, в'язкість чисельно дорівнює силі, яку потрібно прикласти до системи, щоб різниця швидкостей $v_2 - v_1$ двох паралельно дотичних шарів рідини, що відстоять один від одного на $x_2 - x_1$, становила яку-небудь величину. З молекулярно-кінетичних позицій в'язкість є наслідком безперервного руху молекул рідини й взаємодії їх одна з одною.

Досить часто в'язкість також характеризують **кінематичним коефіцієнтом в'язкості** ν , мм²/с

$$\nu = \eta \gamma_{\text{питг}},$$

де η – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; γ – щільність рідини, г/см³.

Величина, зворотна в'язкості, називається **плинністю** (φ), $\varphi = 1/\eta$.

У цьому випадку, якщо графік, побудований у координатах $f/S - dv/dx$, являє собою пряму лінію, що проходить через початок координат, в'язкість рідини підкоряється рівнянню (4.2) (**Ньютонівська рідина**). Якщо ж графік являє собою криву лінію або не проходить через початки координат, то це означає, що в'язкість η вже не буде постійною при різних швидкостях руху рідини. Таке явище звичайно спостерігається в тому випадку, коли рідина структурована, тобто являє собою гетерогенну систему (наприклад, сировинний шлам). У цьому випадку використовують термін «**уявна в'язкість структурованої рідини**» або «**структурна в'язкість**». Коли ж рідина починає текти лише після додавання до неї певної (мінімальної) сили, то її характеризують як таку, що має **граничну напругу зрушення**.

Для визначення в'язкості сировинного шламу найчастіше застосовують ротаційний віскозиметр РВ-8 системи Воларовича. Границі виміру в'язкості на стандартному віскозиметрі становлять 0,5 – 10,7 Па·с, а

напруга зрушення дорівнює 500 – 1050 Н. Однак багато сировинних шламів (особливо при застосуванні поверхнево-активних речовин – «розріджувачей») мають в'язкість до 0,05 – 0,1 Па·с, що приводить до необхідності внесення деяких змін у конструкцію приладу. Цих змін дві: діаметр шківів зменшується з 44,6 до 20 – 23 мм і шлях пробігу вантажу збільшується. У результаті зростає число обертів вала, що припадає на одиницю шляху вантажу, а також підвищується гранична величина напруги, що прикладається до шламу; це дозволяє досягти практично повного руйнування просторової структури шламу (тобто вимірювати в'язкість гранично зруйнованої структури – η_m).

Віскозиметр РВ-8 складається із внутрішнього обертового циліндра ($r = 16$ мм) і зовнішнього нерухомого циліндра (склянки) ($r = 19$ мм), які мають між собою кільцевий зазор, що дорівнює 6 мм. Циліндр приводиться в обертання за допомогою системи, що складається з вала, шківів, нитки, блоків і вантажу. Для гальмування обертання застосовують гальмо. Віскозиметр укріплений на штанзі, а склянка – на плиті за допомогою муфти. Обертовий циліндр має на поверхні поділки, по яких контролюють глибину його занурення в шлам. Для роботи при температурах до 150 °С віскозиметр обладнаний термостатом, у який опускають зовнішню склянку. Для збільшення довжини пробігу вантажу віскозиметр встановлюють на лабораторному столі на висоті близько 2 м.

Сировинний шлам у кількості 30 см³ (у цьому випадку глибина занурення циліндра в шлам становить 7 см) заливають у ретельно вимиту зовнішню склянку, у яку опускають робочий циліндр. Склянку вставляють верхнім кінцем у виточення муфти й закріплюють шляхом повороту. Після складання приладу системі дають спокій приблизно на 5 хв., щоб у шламі відновилася первісна структура, частково порушена при заливанні його в склянку. Потім визначають величину мінімального вантажу, при якому починають обертання циліндра. Для цього на обидві чашечки віскозиметра поступово додають рівні вантажі до початку обертання шківів (початкове зрушення). Після початку руху шківів рух вантажу загальмовують, збільшують його вагу для того, щоб надалі шківів робив близько 30 об/хв. Гальмо відпускають і визначають час руху вантажу й відповідне до нього число обертів робочого циліндра приладу.

Статичну граничну напругу зрушення $Q_{ст}$, Па, визначають за формулою

$$Q_{ст} = \frac{R(P - P_0)}{2\pi r_1^2 h},$$

де R – радіус шківа, мм; P – мінімальний вантаж, що приводить шків в обертання, г; P_0 – вантаж, що долає силу тертя в підшипниках, г; r_1 – радіус внутрішнього циліндра (ротора), мм; h – глибина занурення внутрішнього циліндра в шлам, мм.

Ефективну в'язкість шламу $\eta_{еф}$, Па·с, визначають за формулою

$$\eta_{еф} = k \frac{(P - P_0)}{\omega}$$

де ω – кутова швидкість обертання внутрішнього циліндра, об/с; k – константа приладу, обчислена за формулою

$$k = \frac{R_g}{8\pi^2 \left(\frac{r_1^2 r_2^2 h}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^3 r_2^3}{r_2^3 - r_1^3} \right)},$$

де g – прискорення вільного падіння вантажу, мм/с²; r_2 – радіус склянки віскозиметра, мм.

При $r_1 = 16$ мм, $r_2 = 19$ мм, $R = 122$ мм формула має вигляд

$$k = \frac{1195,6}{683h + 792,9}.$$

При глибині занурення циліндра (h) у шлам, наприклад на 70 мм, $k = 0,214$.

Типова крива зміни в'язкості сировинного шламу наведена на рис. 4.30.

Сировинний шлам являє собою структуровану рідину (**бінгамівську**) і характеризується складною залежністю уявної (ефективної)

в'язкості від прикладеної напруги. Для нього характерні дві області напруг з постійними значеннями в'язкості: найбільшою граничною в'язкістю (η_0) практично не зруйнованої структури й найменшою в'язкістю (η_m) гранично зруйнованої структури. Величина η_0 звичайно дорівнює $10^6 - 10^8$ Па·с. Шлам у цьому стані виявляє властивості пружного тіла і його течія під навантаженням близька за характером до повзучості.

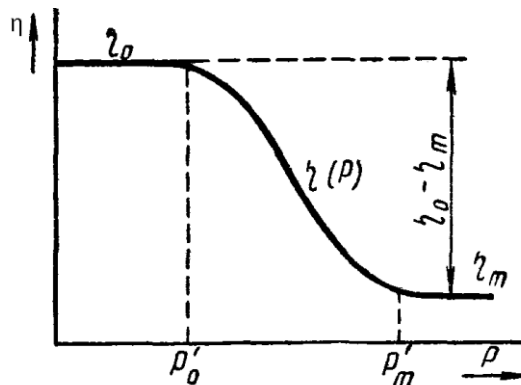


Рисунок 4.30 – Зміна уявної в'язкості сировинного шламу залежно від прикладеної напруги:

η_0 – в'язкість незруйнованої структури; η_m – в'язкість гранично зруйнованої структури; P_0 і P_m – відповідні значення навантаження

При додаванні навантаження більш P_0 хаотична структура шламу починає впорядковуватися: частки дисперсної фази орієнтуються в певних шарах, зменшується число часток, що здійснюють поперечні зв'язки між шарами, зростає кількість молекул води між шарами. Відбувається перехід шламу з ізотропного в анізотропний стан. При навантаженні P_m встановлюється рівновага між числом поперечних зв'язків суміжних шарів шламу, що руйнуються та відновлюються, внаслідок чого в'язкість залишається постійною (η_m), незважаючи на збільшення напруги, що прикладається. Із цього моменту шлам починає поводитися як дійсно в'язка рідина. В'язкість шламу в цьому стані $0,1 - 1$ Па·с, тобто трохи вища, ніж в'язкість дійсної ньютонівської рідини. Тому шлам часто називають псевдоньютонівською рідиною. Після зняття зовнішньої напруги й припинення дії шламу складові його частки за рахунок броунівського руху тиксотропно відновлюють вихідну хаотичну просторову структуру системи.

Статична гранична напруга зрушення сировинних шламів здебільшого становить 10 – 30 Па.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.8. Визначення зв'язаної води

Метод визначення зв'язаної води простий і відрізняється швидкістю. Під зв'язаною водою розуміють воду, що входить в хімічну сполуку із цементом при гідратації останнього. Крім хімічно зв'язаної води затверділий цемент містить, зазвичай, і механічно зв'язану (гігроскопічну) воду. Метод визначення зв'язаної води має той недолік, що швидко відокремити гігроскопічну воду від хімічно зв'язаної, не порушуючи процесу твердіння, досить важко.

Якщо замішаний водою цемент після заданого терміну тверднення піддати сушінню, то при нагріванні, перш ніж вийде вся гігроскопічна вода, буде відбуватися посилена гідратація, що спотворить результати визначення. Тому рекомендується наступна методика визначення зв'язаної води. Зразок гідратованого цементу розбивають на кілька шматочків і заливають безводним етиловим або денатурованим спиртом; потім шматочки виймають, протирають фільтрувальним папером і розтирають у спеціальному ящику з поглиначем вологи (прожареним хлористим кальцієм), до проходження через сито № 0085. Відсівання роблять у цьому ж ящику. Робиться це для того, щоб запобігти поглинанню вуглекислоти й вологи з повітря при розтиранні й просіванні.

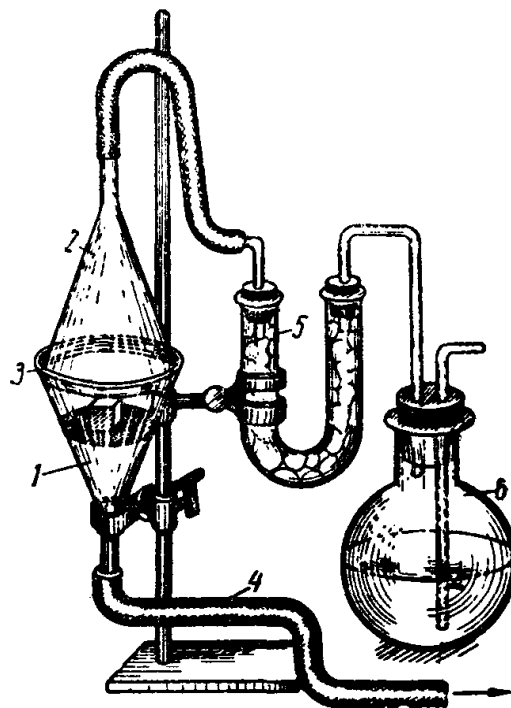
Ящики виготовляють із щільної фанери, причому кришка, що знімається, повинна бути добре пригнана й заклена. У передній стінці ящика роблять два круглі отвори, у які вставляють два рукави із щільної матерії з гумками на кінцях. Рукави натягають на руки, які просовують через отвори в ящик. Протягом усього часу розтирання в ящик нагнітають за допомогою аспіратора повітря, очищене від вуглекислоти й вологи. У якості поглиначів можна застосовувати натронне вапно, прожарений хлористий кальцій, луг (NaOH, KOH).

З відсіяного цементу беруть наважку в 5 г, причому зважування виконують у закритому бюксі. Наважку заливають абсолютним спиртом, ретельно перемішують у стаканчику і проціджують. Потім на фільтрі цемент кілька раз промивають сірчанним ефіром і в невеликій конічній

колбі поміщають у сушильну шафу. Щоб уникнути поглинання вуглекислоти в сушильну шафу подається сухе, позбавлене вуглекислоти повітря.

Висушування роблять при 100 °С до постійної ваги, що вимагає близько двох годин.

Щоб уникнути прискореної гідратації при сушінні попереднє видалення основної кількості гігроскопічної води можна також виконувати в позбавленому вологи й вуглекислоти проточному повітрі, користуючись пристроєм М. Д. Агеєва (рис. 4.31).



до вакуум-насосу

Рисунок 4.31 – Пристрій для попереднього видалення гігроскопічної води до сушіння

При цьому зразок гідратованого цементу розміщують на сітку в лійку 1, до якої впритул приставлена друга лійка 2. Обидві лійки у місці їх стикування охоплені широким еластичним гумовим кільцем 3, що не пропускає повітря в утворений лійками внутрішній простір.

Через трубку 4 із цього простору відсмоктується водострумним насосом повітря, що надходить через трубку з натронним вапном 5 і колбу 6 із сірчаною кислотою. Зразок протягом 1,5 год. витримують у проточному повітрі, позбавленому вологи й вуглекислоти. Після такої

обробки зразки досушують у сушильній шафі до постійної ваги описаним вище способом.

З висушеного тим або іншим способом гідратованого цементу береться наважка в 1 – 2 г, у якій визначають кількість зв'язаної води шляхом нагрівання при 1000 °С до постійної ваги.

Кількість зв'язаної води обчислюють за формулою

$$x = \frac{a - b}{a},$$

де x – кількість зв'язаної води, %; a – висушена наважка, г; b – наважка, прожарена при 1000 °С, г.

Визначивши кількість зв'язаної води для кожного заданого терміну, а також при повній гідратації, обчислюємо ступінь гідратації для кожного терміну за формулою.

Після визначення ступеня гідратації у відсотках від повної гідратації може бути обчислена глибина гідратації за наступною формулою

$$h = \frac{d_m - l}{2},$$

де h – глибина гідратації, мкм; d_m – середній діаметр зерна до гідратації, мкм; l – діаметр негідратованої частини зерна, мкм.

Діаметр негідратованої частини зерна може бути визначений за формулою

$$l = \sqrt[3]{d_m^3 \cdot a},$$

де a – кількість негідратованого цементу в частках одиниці.

Як приклад у табл. 4.23 наведено результати дослідів з визначення швидкості гідратації однієї зі складових частин портландцементу – трикальцієвого силікату (Ca_3SiO_5).

Слід зазначити, що при ретельному проведенні аналізу метод визначення зв'язаної води дає цілком задовільні результати.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

Таблиця 4.23 – Результати дослідів по дослідженню ступеня й глибини гідратації Ca_3SiO_5

Показники	3 доби	7 діб	28 діб	3 міс.	6 міс.	При повній гідратації
Вміст зв'язаної води, %	4,88	6,15	9,20	12,49	12,59	13,40
Ступінь гідратації, % від повної гідратації	36,4	45,9	68,7	93,2	94,0	–
Глибина гідратації, мкм	3,5	4,7	7,9	14,5	15,0	–

4.9. Випробування стійкості цементів до дії різних видів корозії

Для дослідження методом зміни міцності при зануренні зразків в агресивні розчини виготовляють малі зразки із цементного розчину за методикою, аналогічною тій, яка прийнята для випробувань в'язучих речовин у малих зразках.

Однак при випробуванні цементів на стійкість проти корозії доводиться враховувати ряд особливостей і вносити в методику деякі зміни. Наведемо опис розробленого В. В. Кіндом способу випробування.

Як зразки застосовують призми розміром $10 \times 10 \times 30$ мм. Цемент і пісок для їхнього виготовлення беруть у відношенні 1 : 3,5 за вагою. Цемент попередньо просівають через сито № 09. Пісок застосовують кварцовий річкового або морського походження, тобто із зернами округлої форми й гладкої поверхні. Морський пісок попередньо ретельно промивають прісною водою для видалення солей. Для випробування використовують фракцію піску, що проходить через сито № 05, і що залишається на ситі № 042. Отже, для даного випробування, за пропозицією В. В. Кінда, застосовують більший, ніж звичайно, пісок для того, щоб надати зразкам більш пористої структури. Завдяки цьому агресивні розчини можуть легше проникати вглиб зразка й швидше руйнувати його,

що дозволяє прискорити терміни випробування; застосування малих зразків також сильно сприяє прискоренню руйнування.

Для визначення кількості води, необхідної для замішування розчину, відважують (з точністю до 0,1 г) 20 г цементу й 70 г піску, поміщають у сферичну чашку діаметром 200 – 250 мм і ретельно перемішують ложкою або лопаткою протягом 1 хв. Потім у сухій суміші роблять поглиблення, у яке вливають (відміряні з точністю до 0,05 г) 8 – 12 г води. Після того як вода вбереться, цементний розчин енергійно перемішують тією же ложкою протягом 3 хв.

Виготовлений розчин поміщають у сталеву форму (рис. 4.32, а) і пресують під тиском 30 МПа протягом 5 с.

Для заповнення сталеві форми розчином її ставлять на два бруски перетином 15 × 15 мм і довжиною 80 – 90 мм, вставляють вкладиш, опускають його до рівня стола, після чого зверху у внутрішній простір форми, що звільнився (висотою 15 мм), кладуть розчин, злегка вдавлюючи його у форму пальцем (рис. 4.32, б).

Потім зверху на форму накладають сталеву круглу пластинку товщиною 8–10 мм і діаметром 80–90 мм (для щільного прилягання пластинки до форми необхідно попередньо вилучити розчин, що залишився на її поверхні), перевертаючи форму пластинкою вниз і притримуючи пластинку й вкладиш руками, і ставлять під прес (рис. 4.32, в). Після пресування знімають форму з підставки (відкриваючи її вертикальним підняттям без зрушення) і розглядають відбиток, що залишився на поверхні підставки в місці зіткнення її із цементним розчином.

Кількість води для замішування цементного розчину має бути такою, щоб відбиток на поверхні пластинки (підставки) вийшов у вигляді сильно вологого візерунка (але не суцільного шару води).

Якщо відбиток вийшов іншим, то готують цементний розчин іншої густоти, збільшивши або зменшивши кількість води на 0,45 г. Подібним чином діють доти, поки не вийде необхідний відбиток.

Густота цементного розчину при зазначених вимогах буває на 1 – 2 % вище від нормальної густоти цементного розчину жорсткої консистенції. Кількість води, відповідна до необхідної густоти розчину, виражається у відсотках від ваги сухої суміші цементу з піском і визначається з точністю до 0,5 %.

Призми виготовляють, замішуючи розчин і пресуючи його описаним вище способом, причому щораз для замішування беруть не більш 270 г сухої суміші (60 г цементу й 210 г піску).

У процесі виготовлення зразків цементний розчин увесь час тримають покритим вологою тканиною.

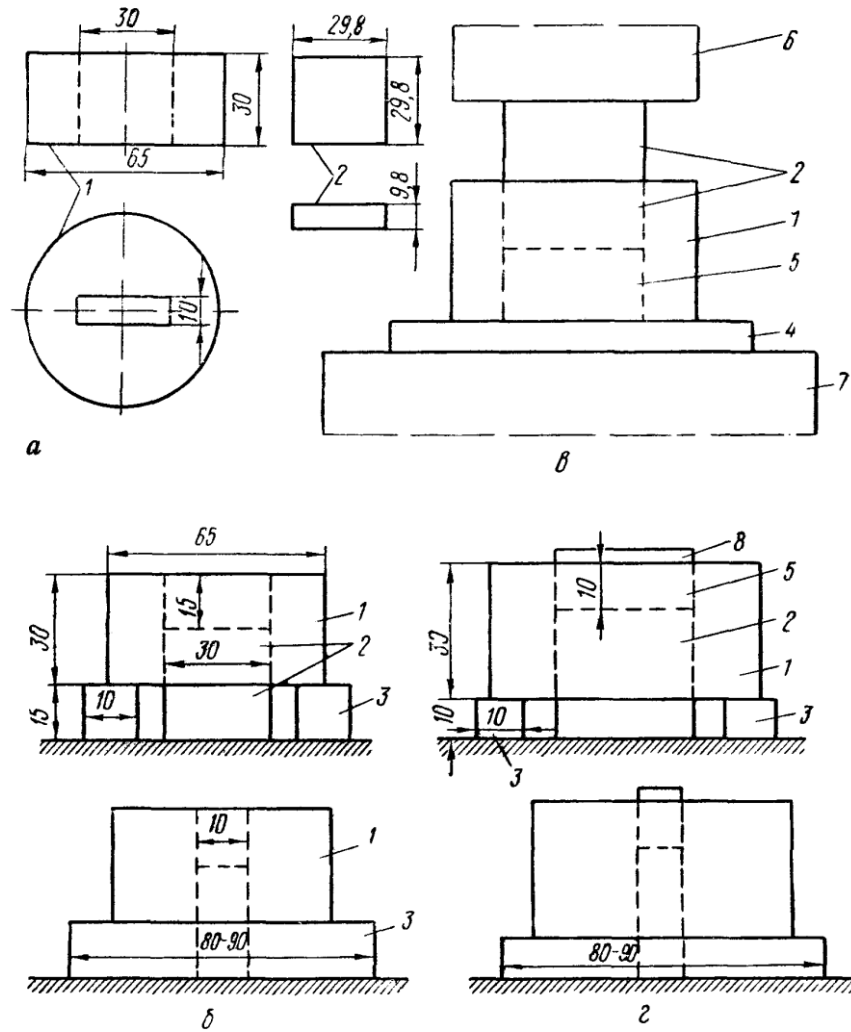


Рисунок 4.32 – Форма для виготовлення зразків-призмочок і положення форми на різних стадіях випробування:

- a* – форма зразка-призмочки; *б* – положення форми при заповненні її цементним розчином; *в* – положення форми під пресом; *г* – положення форми при видавлюванні надлишку цементного розчину;
- 1* – форма; *2* – вкладиш; *3* – бруски (підставка); *4* – пластинка (підставка);
5 – цементний розчин; *6, 7* – верхня й нижня дошки преса;
8 – надлишок цементного розчину

Після пресування форму перевертають, притримуючи руками вкладиш, і потім видавлюють надлишок розчину з таким розрахунком, щоб у формі розчин заповнював простір відповідно до розмірів призми. З цією метою на рівну й плоску поверхню стола або металевої пластини кладуть паралельно один одному на відстані 2 – 3 см два бруски перетином 10×10 мм і довжиною 80 – 90 мм; кінець вкладиша, що виходить з форми, впирають у поверхню столу між брусками й, тримаючи форму за краї, надавлюють униз аж до опускання її на бруски (рис. 4.32, з). Надлишок розчину, що видавився з форми, зрізують ножом і загладжують поверхню розчину урівень із поверхнею форми. Потім бруски виймають з-під форми, притримуючи її рукою, і, натискаючи на форму, опускають її до поверхні столу. Після цього, піднявши форму, трохи висувають вкладиш знизу нагору пальцем таким чином, щоб інший торцевий кінець вкладиша разом з призмою, що лежить на його поверхні, піднявся б над поверхнею форми приблизно на 0,5 см. До висунутої з форми призми збоку підносять скло розміром $2,5 \times 4$ см і, обережно нахиляючи форму, переносять призму на скло.

Форму й вкладиш після кожного пресування необхідно протирати ганчіркою, а після закінчення роботи – змазувати машинним маслом.

Коли призми виготовлені, їх відразу ж, не знімаючи зі стекол, розміщують у вологому просторі (спеціальна шафа або закритий ексікатор з наливою на дно водою). Після 1 доби зберігання у вологому просторі призми нумерують, знімають зі стекол і розміщують для попереднього тверднення в питну воду. Через 14 діб зберігання у воді зразки, призначені для тверднення в агресивних середовищах, переносять в агресивні розчини, а інші зберігають у питній воді до моменту випробувань.

При виготовленні зразків з цементів, що повільно тужавіють, термін витримування призми у вологому середовищі можна збільшити до 2-3 діб; загальна тривалість попереднього тверднення в цьому випадку може скласти до одного місяця.

Зразки виготовляють і зберігають у вологому просторі, у воді й у розчинах у приміщенні з температурою повітря 20 ± 5 °С. Випробовують зразки або безпосередньо в природних водах, доставлених у лабораторію, або в розчинах аналогічного складу й концентрації, штучно виготовлених на підставі результатів хімічного аналізу природних вод.

Для агресивних розчинів треба використовувати дистильовану або, в крайньому випадку, кип'ячену питну воду. При розрахунку кількості солей необхідно враховувати гідратну воду, що утримується в солях, і здійснювати розрахунок на безводну сіль. Гігроскопічні солі (наприклад, CaCl_2 і MgCl_2) потрібно застосовувати у вигляді міцних розчинів, які вводяться в агресивний розчин, що готується, у кількості, яка відповідає їхній концентрації. Останню визначають з таблиць, що встановлюють зв'язок між концентрацією розчинів і їх щільністю; щільність же встановлюють шляхом зважування виміряного об'єму розчину.

З випробовуваного цементу виготовляють: по 12 призм – для тверднення в кожному з агресивних розчинів, 12 – для тверднення в питній воді й 12 – для випробування після попереднього тверднення. У такий спосіб з кожного цементу необхідно виготовити (при n агресивних розчинах) $12(n + 2)$ основних призм. Понад це рекомендується виготовити з кожного випробовуваного цементу: по 18 призм – для тверднення в кожному з агресивних розчинів і 18 призм – для тверднення в питній воді, тобто всього $18(n + 1)$ призм для випробування їх у проміжний термін.

Тверднення зразків в агресивних розчинах відбувається в закритих ексикаторах на свинцевих, керамічних або скляних полках. Зразки (призми) укладають на полицю із проміжком між ними не менш 0,5 см, на полки попередньо насипають тонкий шар кварцового піску крупністю 0,75–1,0 мм.

Якщо в ексикаторі кілька полиць, то кожна з них встановлюють на підставки (керамічні, скляні або з листового свинцю) висотою 3 – 4 см, покладені на попередню полицю.

Кількість зразків, що укладаються в ексикатор, має бути такою, щоб на початку досліду на кожен призму в ексикаторі доводилося по 100 мл розчину. Розчин повинен на 1 – 2 см перекривати зразки верхньої полиці.

Після закінчення двох і чотирьох місяців тверднення зразків розчини в ексикаторах замінюють свіжими.

Тверднення зразків у питній воді відбувається або в ексикаторах, або в ящиках (ваннах) з листового свинцю або оцинкованої сталі, обладнаних кришками. Рівень води повинен бути таким, щоб вона на 1 – 2 см перекривала зразки. Воду треба поміняти в ті ж строки, що й розчини.

Після закінчення терміну попереднього тверднення (14 діб) випробовують на вигин по 12 призм кожного досліджуваного зразка. Усі інші зразки основної партії цементу (по 12 шт.) випробовують на вигин через 6 місяців тверднення в агресивному розчині або питній воді.

Призми додаткової партії (по 6 шт. для кожного випробовуваного цементу) рекомендується випробовувати на вигин у проміжний термін після 1; 2 і 3 місяців тверднення їх в агресивному розчині або питній воді.

Вийнявши призми з розчину або питної води, кладуть їх на аркуш фільтрувального паперу або на рушник і відразу ж випробовують, не даючи зразкам висихати. Призми закладають у прилад (рис. 4.33) так, щоб вигин здійснювався в площині, перпендикулярній напрямку пресування призми при її виготовленні, тобто перпендикулярної граням призми, зіткненими зі стінками форми.

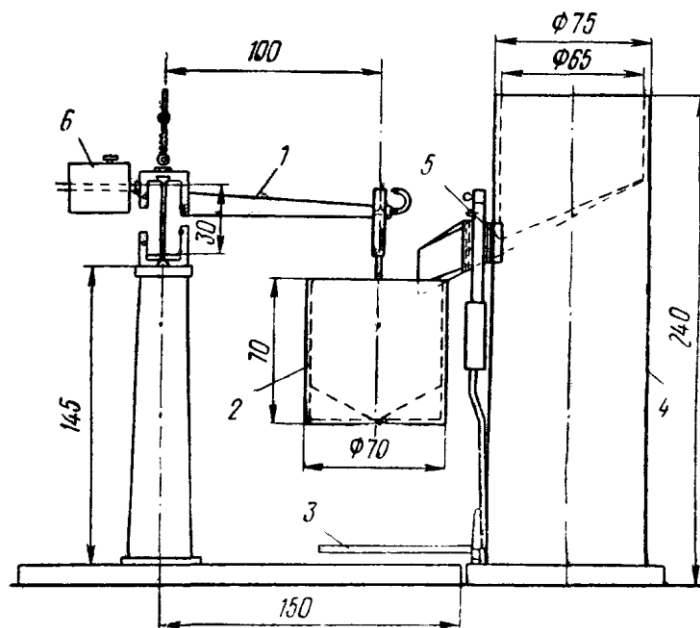


Рисунок 4.33 – Прилад для випробування зразків-призмочок

При випробуванні призми на вигин згинаюче зусилля створюється за допомогою важеля *1* довжиною 10 см, до кінця якого підвішується цебро *2* для випробування дробом. Цебро вагою не більш 60 г повинне мати дно у вигляді конуса, повернутого вершиною вниз.

При зламі призми цебро падає на педаль *3* посудини із дробом *4*, після чого отвір *5* для виходу дробу автоматично закривається. Величи-

на отвору для виходу дробу повинна бути відрегульована (за допомогою наявної для цієї мети заслінки) таким чином, щоб протягом 1 с у цебро надходило 20 г дробу. Важіль приладу повинен бути за допомогою противаги b наведений в урівноважене горизонтальне положення (без цебра); при випробуванні слабких зразків можна врівноважувати важіль при підвішеному цебрі.

Величину межі міцності призм при вигині (МПа) одержують множенням ваги цебра із дробом на 60. Межу міцності обчислюють із точністю до 0,1 МПа. При випробуванні слабких зразків, коли важіль приладу врівноважений при підвішеному цебрі, за величину руйнуючого вантажу слід брати тільки вагу дробу (без ваги цебра). Цебра із дробом зважують із точністю до 1 г.

За даними результатів випробувань призм на вигин визначають їхню середню межу міцності при вигині й коефіцієнт стійкості цементу у воді – середовищі даної агресивності.

Середню границю міцності при вигині призм із кожного випробуваного цементу окремо для кожного агресивного розчину й питної води визначають у такий спосіб: з розгляду виключають 1/3 призм із найменшою міцністю; для інших же зразків обчислюють середнє арифметичне з їхніх показників меж міцності. Коефіцієнт стійкості K_{C_6} обчислюють як відношення величини середньої границі міцності при вигині призм із даного цементу після 6 місяців витримування в агресивному розчині до величини середньої границі міцності при вигині призм із того ж цементу після 6 місяців твердіння їх у питній воді (не враховуючи попереднього тверднення). Коефіцієнт стійкості обчислюють із точністю до 0,01.

Цемент визнається нестійким відносно даного агресивного середовища, якщо $K_{C_6} < 0,9$ – у випадку, коли бетон буде перебувати у воді або фільтруючому ґрунті (крупному піску, тріщинуватій породі і т. д.) або $K_{C_6} < 0,8$ – у випадку, якщо бетон буде оточений слабо фільтруючим ґрунтом (глиною, суглинками і т. д.).

Результати випробування стійкості цементів стосовно різних видів корозії записують за формою табл. 4.24.

Поряд з описаними прийомами в лабораторних дослідженнях застосовують і інші способи випробування корозійної стійкості цементів за зміною міцності при зануренні зразків в агресивні розчини.

Так, замість зразків-призм застосовують куби розміром $14,14 \times 14,14 \times 14,14$ мм із площею грані в 2 см^2 . Слід, однак, відзначити, що призми більш чутливі до руйнуючої дії агресивних розчинів внаслідок меншого поперечного перерізу. Для прискорення випробування зразки виготовляють із цементного розчину пластичної консистенції звичайного складу 1 : 3.

Таблиця 4.24 – Визначення стійкості цементів відносно різних видів корозії

Найменування цементу	Номер зразка	Дата виготовлення зразків	Дата занурення зразків в агресивні розчини	Вид агресивного розчину	Концентрація агресивного розчину	Дата й термін випробування	Порядковий номер зразка-близнюка	Вага цебра із дробом, кг	Руйнуючий вантаж, Н	Межа міцності при вигині, МПа	Коефіцієнт стійкості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

При порівняльному випробуванні стійкості швидко- та повільнотужавіючих цементів доцільно попередньо витримувати зразки у воді (до занурення в агресивні розчини) протягом 28 діб. Це робиться для того, щоб створити по можливості однакові умови гідратації й тверднення для швидко- та повільнотужавіючих цементів, тому що цементи, які повільно тужавіють, в короткий термін не встигають досягти належної міцності й будуть внаслідок цього менш стійкі при зануренні в агресивні розчини.

При випробуванні стійкості застосовують як агресивне середовище й такі розчини: 0; 2; 3 і 5 %-ні розчини Na_2SO_4 ; 0,2 ;1 і 3 %-ні розчини MgSO_4 ; 0,15 %-ний або насичений розчин CaSO_4 ; воду, насичену вуглекислотою, і водопровідну.

Насичення води вуглекислою здійснюється в такий спосіб. Вуглекислоту з балонів подають у промивну посудину й потім пропускають через наповнені дистильованою водою ексикатори, у яких витримуються зразки. Якщо немає вуглекислоти в балонах, її можна одержувати в апараті Кіппа з мармуру; у цьому випадку вуглекислоту промивають у посудині розчином соди. Вуглекислота пропускається через ексикатори щодня протягом 2 год.

При випробуванні стійкості цементу проти впливу морської води застосовують наступний склад агресивного розчину: 80,16 г NaCl; 6,812 г MgSO₄; 9,62 г MgCl₂ і 3,41 CaSO₄ в 1 л води. Співвідношення між розчиненими у воді солями таке ж, як і у воді Чорного моря, але при випробуванні рекомендується в 6,7 разів більша концентрація розчину (100 г сухого залишку в 1 л розчину замість 15 г).

Агресивні розчини можна міняти частіше, ніж це передбачено описаним вище способом, наприклад, через кожні 15 діб. Деякі автори рекомендують міняти розчини при витягуванні зразків для випробування.

У випадку високого коефіцієнта стійкості зразків доцільно поряд зі стандартними термінами робити випробування й у більш тривалий термін (1 рік і більш), виготовляючи для цього додаткову кількість зразків (по 3 – 6 на кожний строк). В окремих випадках проводиться аналіз змінних вод і цементної частини зразків, що зберігалися в агресивних розчинах і у воді.

Досліджують стійкість цементів проти різних агресивних вод на зразках-кубах розміром 31,6 × 31,6 × 31,6 мм із площею грані 10 см², виготовлених з розчину пластичної консистенції 1:3 з нормальним вольським піском. Після 28-добового попереднього тверднення у воді зразки занурюють звичайно в такі агресивні розчини: 5 %-ний Na₂SO₄; 1 %-ний MgSO₄; 0,2 %-ний CaSO₄, у воду певного складу, що відповідає складу природної води, й для порівняння – у водопровідну воду. Зразки поміщають в ексикатори й заливають розчином з розрахунку 200 мл на 1 зразок. Протягом усього часу зберігання зразків в агресивних розчинах рідину щодня перемішують повітрям за допомогою гумової груші й спостерігають за зовнішнім виглядом зразків. Характер руйнування фіксують записами й фотографуванням.

Окремі частини гідротехнічних споруд зазнають поперемінного насичення агресивними розчинами й висихання, причому в цих випадках спостерігаються найбільші ушкодження цементу. Враховуючи це, Б. Г. Скрамтаєв запропонував метод випробування сульфатостійкості цементів у змінних умовах. За цим методом зразки після 28-добового тверднення у воді висушують до постійної ваги, а потім на 24 год. занурюють в агресивний розчин (сульфат натрію або сульфат магнію). Потім зразки витягують із розчину й сушать у сушильній шафі при температурі 105 – 110 °С протягом 8 год., після чого їх охолоджують і знову занурюють в агресивний розчин.

Поперемінне насичення агресивним розчином і висихання виконують встановлене число разів або до руйнування зразків.

У змінних умовах цементні зразки руйнуються значно скоріше, ніж в умовах постійного насичення їх сульфатним розчином.

За результатами виконаних досліджень роблять висновки.

4.10. Дослідження корозійної стійкості бетонів

Корозійна стійкість бетонів – здатність матеріалу зберігати фізико-механічні властивості в агресивному середовищі. Бетонні і залізобетонні конструкції піддаються в процесі експлуатації впливу рідких, твердих і газоподібних агресивних середовищ, в результаті чого змінюються їх властивості. Корозія (від лат. *corrosion* – роз’їдання) – погіршення характеристик і властивостей матеріалу в результаті вимивання (вилуговування) з нього розчинних складових частин; утворення продуктів корозії, що не мають в’язучих властивостей, і накопичення малорозчинних солей, що кристалізуються та збільшують об’єм твердої фази.

Корозія бетонних і залізобетонних конструкцій в промислових, цивільних, житлових, та інших будівлях (рис. 4.34 – 4.36) призводить до зниження довговічності будинків і споруд.



Рисунок 4.34 – Фрагмент несучого залізобетонного виробу, який піддався корозії

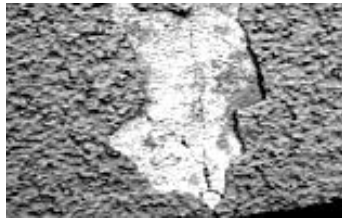


Рисунок 4.35 – Несуча стіна з тепловою ізоляцією із пінополістиролу та з недовговічним захисно-оздоблювальним покриттям

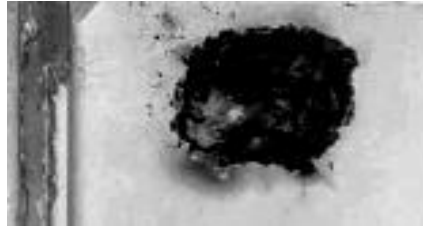


Рисунок 4.36 – Корозія цементного бетону плити перекриття

Вплив агресивних середовищ на цементний і інші види бетону різноманітні. Це обумовлює велику різноманітність корозійних процесів:

1) амонійну корозію бетону (корозія бетону в результаті його взаємодії з розчинами солей амонію);

2) кислотну корозію бетону (корозія бетону в результаті його взаємодії з кислотами);

3) магнезіальну корозію бетону (корозія бетону в результаті взаємодії цементного каменю з розчинами магнезіальних солей);

4) радіаційну корозію бетону (зміна властивостей бетону внаслідок дії на нього потоків іонізуючих випромінювань);

5) сульфатну корозію бетону (в результаті взаємодії цементного каменю з сульфатами);

6) вуглекислу корозію бетону (в результаті взаємодії бетону з вуглекислою, що міститься у воді);

7) лужну корозію бетону (корозія в результаті взаємодії продуктів бетону з лугами);

8) карбонізацію бетону (призводить до зниження лужності рідкої фази бетону) за приблизною схемою:



9) електрокорозію (корозія бетону під дією електричного струму в результаті електрохімічних і електроосмотичних процесів, що виникають під дією постійного або змінного струму);

10) електрохімічну корозію залізобетону (корозія, що відбуваються внаслідок того, що арматурна сталь при зануренні в розчин електроліту починає руйнуватися).

Виділяють три основних механізми корозійних процесів: вилугування – коли складові частини цементного каменю розчиняються і виносяться зі структури бетону; обмінні реакції – коли компоненти цементного каменю і хімічно агресивне середовище вступають у взаємодію, в результаті чого утворюються речовини, легко розчинні у воді, і згодом вимиваються; реакції з утворенням і накопиченням продуктів (в порах бетону) зі збільшеним об'ємом твердої фази.

Виділяють три основних види корозії бетону.

До I виду відносяться всі процеси корозії, в яких під впливом води відбувається розчинення і винесення компонентів цементного каменю зі структури бетону.

До II виду корозії відносяться процеси, при яких відбувається хімічна взаємодія (обмінні реакції) між компонентами цементного каменю і води.

Корозія III виду включає процеси, при розвитку яких в порах бетону відбувається накопичення і кристалізація малорозчинних продуктів взаємодії компонентів цементного каменю та природної води зі збільшенням об'єму твердої фази.

У чистому вигляді корозія кожного з трьох видів зустрічається рідко. Залежно від властивостей бетону, складу агресивного водного середовища, умов їх взаємодії будуть переважати процеси, характерні для певного виду корозії. Вид корозії класифікується за переважною, ведучою ознакою. При розгляді сутності процесу корозії в конкретному випадку повинні бути враховані і вторинні, підлеглі явища, що відносяться до корозії інших видів.

Велика частина бетонних та залізобетонних конструкцій та виробів піддається впливу атмосферних опадів. Рідкі атмосферні опади (дощі) при проходженні шару атмосфери взаємодіють з вуглекислим, сірчанам

та іншими газами атмосфери. Розчинення у воді газів призводить, як правило, до підкислення опадів.

У дощовій воді, яка контактує з природною незабрудненою атмосферою, що містить 0,035 % CO₂, водневий показник рН = 5,6. При наявності в атмосфері сірчистого газу SO₂ підкислення опадів буде сильніше внаслідок утворення в краплях опадів сірчистої та сірчаної кислот. Соляна кислота HCl також є значущим кислотним компонентом рідких опадів, що випадають із забрудненої атмосфери. У природних атмосферних умовах можлива корозія бетону при взаємодії з кислотними реагентами і солями, наприклад, сульфатами або хлоридами. Корозійні процеси знижують довговічність споруд, тобто тривалість часового проміжку, протягом якого споруда відповідає критеріям надійності. Найважливіший показник довговічності – атмосферостійкість.

Корозійна стійкість бетонів – здатність матеріалу зберігати фізико-механічні властивості в агресивному середовищі. Можливий вплив деяких агресивних середовищ, наприклад, кислот і сульфатів, на властивості бетону можна оцінити в процесі спеціальних лабораторних випробувань – корозійних випробувань.

Сутність методів корозійних випробувань полягає в порівнянні значень показників, що характеризують корозійну стійкість:

- 1) досліджуваних зразків бетону в модельному агресивному середовищі і неагресивному середовищі;
- 2) досліджуваних зразків та еталонних зразків бетону в агресивному середовищі однакового складу.

Непрямим показником перебігу процесу корозії може бути: поглинання зразком досліджуваного бетону сульфат-іонів з водного розчину (при дослідженні сульфатної корозії бетону); поглинання зразком досліджуваного бетону іонів гідроксонію, що призводить до нейтралізації зразка на різну глибину (при дослідженні корозії бетону при дії кислих опадів в атмосферних умовах).

У лабораторних дослідженнях як неагресивне середовище застосовують воду, що відповідає певним вимогам: температура, жорсткість, водневий показник і т. д.

Вибір факторів і способів їх впливу має відповідати основному застосуванню бетону. Камери, ємності та інша дослідницька апаратура, а

також пристрої для кріплення зразків повинні бути стійкими до впливу випробувальних середовищ і не повинні впливати на результати випробувань.

Конструкція випробувальної апаратури повинна виключати дію факторів, що впливають на результати випробувань, якщо не досліджується можливість такого впливу.

Допускається застосування прискорених методів випробувань в тих випадках, коли з поведінки зразків у процесі випробувань можна зробити висновок про поведінку матеріалу в реальних експлуатаційних умовах. При цьому умови співвідношення об'єму випробувального середовища до площі поверхні зразків, швидкості обміну агресивного середовища, зміни концентрації агресивного середовища в часі і т. д. повинні відповідати реальним умовам експлуатації бетону. Якщо ця вимога не виконується, то вибирають такі умови випробувань, при яких параметри, що визначають агресивність середовища, не можуть істотно змінитися під час випробувань, або в програмі випробувань передбачають оновлення чи коректування випробувальної середовища в процесі досліджень.

Якщо встановлені інші вимоги або досліджується вплив зміни характеристик випробувального середовища в часі на корозійну стійкість, то при випробуваннях керуються вимогами програми досліджень. Не допускається одночасно досліджувати у випробувальному середовищі в одній ємності, посудині, камері зразки різних складів, якщо це не передбачено програмою випробувань. Зразки розміщують таким чином, щоб вони піддавалися хімічним і/або фізичним діям в однаковому ступені.

Методи вимірювання:

1) визначення поглинання сульфат-іонів зразком бетону – заснований на турбідиметричному визначенні концентрації сульфат-іонів до і після експозиції досліджуваного зразка в розчині сульфату натрію протягом певного інтервалу часу;

2) визначення поглинання іонів гідроксонію зразком бетону – заснований на визначенні величини зміни pH бетону, яку контролюють за зміною забарвлення індикатора, нанесеного на відкол бетону; метод застосовується для оцінки глибини нейтралізації бетонів на основі порт-

ландцементного клінкеру при впливі вуглекислого газу, що міститься в атмосфері.

Підготовка до виконання вимірювань:

1. Підготовка зразків бетону до випробувань. Виготовити зразки бетону з бетонної суміші складу 1 : 1,5 : 3,2 (Ц : П : Щ) (еталонні зразки – при В/Ц = 0,41 без добавок; основні зразки – при В/Ц = 0,38 с пластифікуючою добавкою), в кількості трьох зразків кожного складу.

2. Підготовка розчину сульфату натрію. Розрахувати необхідну масу, приготувати 8 %-ний розчин розчиненням наважки сухої солі в 500 мл дистильованої води.

3. Приготувати 0,1 %-ний розчин фенолфталеїну в етанолі.

Визначення стійкості бетону до сульфатної корозії:

1) Відібрати пробу об'ємом 5 мл з розчину сульфату натрію. Додати 1-2 краплі соляної кислоти (1 : 1) і 5 мл гліколевого реагенту, перемішати, залишити на 20 – 30 хв. для утворення і стабілізації суспензії сульфату барію. Після 20 – 30 хв. експозиції виміряти оптичну щільність суспензії D_0 у кюветі $l = 20$ мм при довжині хвилі 364 нм (відповідно до інструкції до КФК-3).

2) Помістити досліджуваний і еталонний зразки бетону в розчин сульфату натрію (рівні обсяги розчину в двох різних ємностях) таким чином, щоб зразки були повністю покриті розчином. Залишити в розчині на 1,5 год. Після цього відібрати проби з розчинів, отримати суспензію сульфату барію, виміряти оптичну щільність суспензії, отриманої при обробці розчину з еталонним зразком – $D_{\text{еталон}}$, і розчину з досліджуваним зразком – $D_{\text{дослід}}$.

3) Розрахувати коефіцієнт K – відносний показник корозійної стійкості досліджуваного зразка бетону до сульфатної корозії (у порівнянні з використаним еталоном в даному випробувальному середовищі) за формулою

$$K = \frac{C_0 - C_{\text{дослід}}}{C_0 - C_{\text{еталон}}} = \frac{D_0 - D_{\text{дослід}}}{D_0 - D_{\text{еталон}}} = \frac{\Delta D_{\text{дослід}}}{\Delta D_{\text{еталон}}},$$

де $C_{\text{дослід}}$, $C_{\text{еталон}}$ – концентрація сульфат-іону в розчині після експозиції в ньому досліджуваного та еталонного зразків бетону відповідно; $D_{\text{дослід}}$,

$D_{\text{еталон}}$ – оптична щільність суспензії, пропорційна $C_{\text{дослід}}$, $C_{\text{еталон}}$ відповідно.

При $K > 1$ основні зразки бетону є менш стійкими, а при $K < 1$ – більш стійкими до дії агресивного середовища, що містить сульфат-іони. Результати вимірювань внести в табл. 4.25.

Таблиця 4.25 – Результати вимірювання корозійної стійкості бетону

D_0	$D_{\text{дослід}}$	$D_{\text{еталон}}$	$K = \frac{D_0 - D_{\text{дослід}}}{D_0 - D_{\text{еталон}}}$
1	2	3	4

Визначення глибини нейтралізації бетону:

1) Зразок бетону розколоти по площині, перпендикулярній по поверхні, яка піддавалася впливу навколишнього середовища або атмосфери, насиченої вуглекислим газом. Зразки випробовують у стані природної вологості. Якщо перед випробуванням зразок був висушений, поверхню відколу попередньо змочити дистильованою водою. Надлишок води видалити фільтрувальним папером.

2) На підготовлений відкол бетону за допомогою піпетки нанести розчин фенолфталеїну. Через 1 хв після нанесення індикатора лінійкою або штангенциркулем з точністю до 1,0 мм виміряти відстані від поверхні зразка до кордону яскравозабарвленої зони.

Вимірювання повторити не менше 2 разів. У випадку, якщо межа нейтралізованого шару бетону є звивистою, виміряти максимальну і мінімальну товщини цього шару на всьому відколі зразка.

3) Визначити середню товщину нейтралізованого шару бетону за формулою

$$X = \frac{X_{1(\max)} - X_{2(\min)}}{2},$$

де $X_{1(\max)}$, $X_{2(\min)}$ – відповідно результати двох паралельних вимірювань або результати з визначення максимальної та мінімальної товщини нейтралізованого шару бетону, мм.

Результати вимірювань занести до табл. 4.26.

Таблиця 4.26 – Результати вимірювань глибини нейтралізації

$X_{1(max)}$	$X_{2(min)}$	$X = \frac{X_{1(max)} - X_{2(min)}}{2}$
1	2	3

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.11. Стираність

Стираність – властивість матеріалу поступово руйнуватися тонкими шарами під дією стираючих зусиль; оцінюється втратою первинної маси зразка, віднесеної до одиниці його площі або зменшенням товщини матеріалу:

$$C = \frac{m - m_1}{F},$$

де m – маса зразка до випробування, г; m_1 – маса зразка після випробування, г; F – площа стирання, см².

Стираність матеріалу необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації дорожніх покриттів, тротуарів та ін. Матеріали, що мають невелику стираність, є більш зносостійкими. Стираність будівельних матеріалів визначають за ДСТУ Б В.2.7-212:2009 спеціальними приладами, конструкція яких залежить від виду матеріалу. Так, для визначення стираності природних і штучних кам'яних матеріалів використовують установку типу «коло стирання», наприклад ЛКІ-2 або ЛКІ-3 (рис. 4.37).

Попередньо підготовлені зразки кубічної або циліндричної форми витримують не менше 2-х діб перед випробуванням в приміщенні лабораторії, потім зважують і визначають площу грані, що стирається. На диск, що стирає, висипають абразивний матеріал (пісок, шліфувальне

зерно) і встановлюють зразки, прикладаючи до них навантаження, потім включають привід кола.

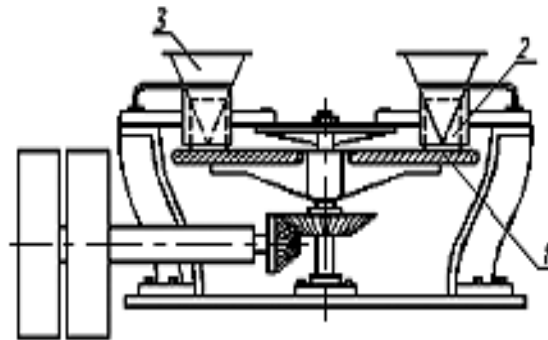


Рисунок 4.37 – Коло стирання:

1 – чавунний диск; 2 – зразок матеріалу; 3 – воронка для абразивного матеріалу

Через певну кількість обертів прилад зупиняють, замінюють абразивний матеріал і знову включають привід кола. Ці операції повторюють певну кількість разів, що становить один цикл випробувань. Після кожного циклу зразки повертають на 90° щодо їх вертикальної осі. Після певної для кожного матеріалу нормованої кількості циклів зразки виймають, протирають сухою тканиною і зважують.

Стираність визначають за формулою з похибкою до $0,1 \text{ г/см}^2$.

За результатами виконаних досліджень роблять висновок.

4.12. Визначення активності гранульованих доменних шлаків

Розроблений М. І. Стрелковим метод визначення активності гранульованих доменних шлаків заснований на їхній здатності хімічно зв'язувати гіпс, причому швидкість реакції між сульфатом кальцію й шлаками є показником їх активності.

З гіпсом зв'язується глинозем, що знаходиться в шлаках, причому тільки той глинозем, який міститься в склоподібній фазі й, отже, перебуває в активному стані. Глинозем же, присутній у кристалічній фазі у вигляді геленіту, є неактивним і не вступає в реакцію з гіпсом.

Активність шлаків залежить від їхнього складу, температури, при якій вони надходять на грануляцію, а також від швидкості охолодження шлакового розплаву.

Для визначення активності шлаків за методом М. І. Стрелкова відбирають середню пробу шлаку вагою близько 1 кг. Шматки крупніше 10 мм подрібнюють. Увесь шлак ретельно перемішують і квартуванням відбирають четверту частину проби. Відібраний шлак просівають через сито з отворами в 5 мм, додатково подрібнюючи великі зерна. Потім квартуванням відбирають 60 – 70 г шлаку і поміщають у порцеляновій чашці в електричний муфель, нагрітий до 600 °С. Через 15 хв. чашку витягують із муфеля й для прискорення охолодження шлаків висипають у холодну чашку.

Висушений шлак подрібнюють у порцеляновій ступці до повного проходження через сито № 09, відбираючи при цьому великі шматки металевого заліза. Порошок перемішують і ділять на дві частини. Одну з них залишають на випадок контрольних випробувань, а іншу розтирають до проходження через сито № 008, перемішують і за допомогою магніту видаляють частки заліза.

Відважують 20 г шлакового порошку й 2 г чистого оксиду кальцію й вносять їх у конічну колбу ємністю 750 мл. У колбу наливають 400 мл гіпсового розчину концентрації 1,5 – 1,6 г сульфату кальцію в 1 л.

Колбу закривають пробкою й, щоб уникнути грудкування, струшують вручну протягом 10 – 15 сек. Потім у колбу вставляють гумову пробку зі зворотним холодильником. Після цього вміст колби кип'ятять на електричній плитці так, щоб кипіння не було бурхливим. Через кожні 15 – 20 хв. колбу струшують, щоб не дати шлакам прилипнути до дна.

Після двогодинного кип'ятіння колбу знімають із плитки й залишають у спокої протягом 2 – 3 хв. Потім усередину колби вводять термометр і, коли рідина остудиться до температури 90 ± 2 °С, відбирають піпеткою в склянки дві проби по 50 мл для паралельних визначень. Якщо проби виявилися мутними, то їх проціджують. Середнє арифметичне показників, отриманих при визначенні вмісту сульфату кальцію у двох паралельних пробах, показує концентрацію гіпсу в розчині (кінцева концентрація). Різниця між початковою й кінцевою концентраціями розчинів відповідає кількості міліграмів сульфату кальцію, поглинених 20 г шлаків.

Концентрацію сульфату кальцію в розчині, відібраному після кип'ятіння, визначають об'ємним методом, заснованим на взаємодії со-

лянокислого бензидину $C_{12}H_8(NH_2)_2 \cdot 2HCl$ с іонами SO_4^{2-} . Утворений сульфат бензидину $C_{12}H_8(NH_2)_2 \cdot H_2SO_4$ піддається гідролізу в водному середовищі з виділенням сірчаної кислоти, за кількістю якої і визначають вміст у розчині сульфату кальцію. Для проведення цього випробування до відібраної порції розчину додають 2 – 3 краплі фенолфталеїну та соляної кислоти ($\gamma_{\text{тит.}} = 1,19 \text{ г/см}^3$) до зникнення рожевого забарвлення. Потім одержану суміш кип'ятять 5 – 7 хв. для видалення сірководню, контролюючи повноту видалення по запаху. Розчин охолоджують, поміщуючи склянку з ним в холодну воду.

До охолодженого розчину доливають 20 мл розчину солянокислого бензидину, перемішують кілька хвилин, дають осад осісти протягом 10 хв. і фільтрують через фільтр діаметром 7 см (біла стрічка). Залишки осаду, що прилипли до стінок склянки, змивають двома порціями фільтрату. Осад на фільтрі двічі промивають холодною дистильованою водою з таким розрахунком, щоб загальна кількість промивних вод не перевищувала 15 мл. Потім фільтр із осадом переносять у конічну колбу ємністю 250 мл, додають 30 – 40 мл дистильованої води й енергійно струшують колбу так, щоб фільтр перетворився в кашоподібну масу. Цю масу нагрівають до кипіння, додають 3 – 4 краплі фенолфталеїну й титрують без охолодження 0,05 н. розчином їдкого натру до появи рожевого забарвлення.

Кількість міліграмів сульфату кальцію, поглинених 20 г шлаків, тобто активність шлаків обчислюють за формулою

$$A_{\text{ш}} = 4(a - b),$$

де a – концентрація вихідного гіпсового розчину, мг сульфату кальцію на 100 мл розчину; b – вміст сульфату кальцію в розчині, який знаходять на підставі визначення; 4 – множник, який показує що зі шлаками реагувало гіпсу в 4 рази більше, ніж прийняте у величинах a й b .

Приклад. Концентрація вихідного гіпсового розчину становить 1,56 г/л сульфату кальцію. Отже, $a = 156$. На титрування пішло 14,5 мл розчину NaOH, титру якого в перерахуванні на мг $CaSO_4$ дорівнює 7,96. Тоді $b = 7,96 \cdot 14,5 = 115$, звідки $A_{\text{ш}} = 4(156 - 115) = 164$.

Для приготування бензидинового розчину 12 г основного бензидину тонко подрібнюють у ступці, перемішують у склянці з невеликою кількістю води й додають 15 мл HCl ($\gamma_{\text{пит}} = 1,19 \text{ г/см}^3$). Потім доливають 150 – 200 мл води, ставлять склянку на електричну плитку й вміст склянки перемішують до повного розчинення бензидину. Якщо бензидин не розчиняється, то додають ще 2 – 3 мл кислоти. Розчин проціджують, переливають у мірну колбу на 1000 мл і доливають водою до мітки. Розчин зберігають у сулії з темного скла.

Гіпсовий розчин готують із концентрацією 1,5 – 1,6 г сульфату кальцію в 1 л розчину, яка також визначається за допомогою солянокислого бензидину.

М. І. Стрелков ділить усі шлаки на три групи: активні ($A_{\text{ш}} > 200$), середньоактивні ($A_{\text{ш}} = 100 - 200$) і низькоактивні ($A_{\text{ш}} < 100$). Оптимальний вміст гіпсу в шлакопортландцементі при використанні шлаків першої групи становить 5 %, другої – 4 %, а третьої – 3 %.

Вміст гіпсу, що хімічно зв'язується шлаками, за припущенням В. Т. Іллімінської можна визначати й *катіонітовим* методом, що полягає у фільтруванні вихідного й кінцевого гіпсових розчинів через катіоніт (іонообмінну смолу). При цьому катіон гіпсу (Ca^{2+}) поглинається катіонітом, а аніон сірчаної кислоти (SO_4^{2-}) проходить через катіоніт у фільтрат, де й визначається алкаліметрично – титруванням їдким лугом. Цей метод вимагає меншої витрати часу, ніж бензидиновий, і дає близькі з ним результати.

НДЦцементом був запропонований *прискорений метод* визначення активності гранульованих доменних шлаків, яка оцінюється за міцністю шлакопортландцементу, виготовленого з досліджуваного шлаку і клінкеру. Шлакопортландцемент подрібнюється до тонкості помелу, що відповідає питомій поверхні 300 і 500 м²/кг. Із цих цементів виготовляють стандартні зразки, які піддають пропарюванню в закритих з усіх боків формах відразу ж після виготовлення.

Режим пропарювання: підйом температури – 2 год, витримка при максимальній температурі (80 – 90 °С) – 4 год, остигання поза камерою – 1 год. Через 8 – 10 год визначають міцність шлакопортландцементу, причому міцність пропарених зразків цементів з питомою поверхнею

300 м²/кг приблизно відповідає 7-добовій міцності шлакопортландцементу, а цементів з питомою поверхнею 500 м²/кг – 28-добовій міцності.

Описаний метод може також застосовуватися для визначення марочної міцності шлакопортландцементу.

Контрольні питання

1. Що називається портландцементом?
2. Основні клінкерні мінерали портландцементу.
3. Модульні характеристики портландцементного клінкеру.
4. Чому дорівнює коефіцієнт насичення?
5. Як здійснюється розрахунок електронегативності клінкерних мінералів?
6. На яких теоретичних передумовах базується оцінка в'язучих властивостей за методом С. С.Бацанова?
7. Які можуть бути причини зміни нейтрального характеру середовища при гідролізі неорганічних будівельних матеріалів?
8. Пояснити сутність потенціометричного методу визначення водневого показника. Які електроди застосовуються при цьому, які їхні функції?
9. Пояснити, чому водний розчин після контакту з портландцементом має рН, відмінне від 7. Яка середа утворюється?
10. Що являють собою «мінеральні добавки, одержувані з природної або техногенної сировини»?
11. Що являють собою «активні мінеральні добавки»?
12. Чим характеризується гідравлічна активність мінеральних добавок?

13. У чому полягає пуцоланічний ефект дії тонкодисперсних мінеральних добавок у бетонах?
14. Основні фізико-механічні властивості, що характеризують портландцемент.
15. Який прилад використовується для визначення питомої ваги в'язучих матеріалів?
16. Який прилад використовується для визначення термінів тужавіння та нормальної густоти?
17. Що таке марка цементу?
18. Як виготовляються зразки для визначення міцності цементу?
19. У чому сутність малої методики М. І. Стрелкова та у яких випадках її застосовують?
20. Визначення водовідділення при дослідженні портландцементу.
21. Фактори, які впливають на зміну об'єму портландцементу.
22. Фізичне значення руйнування портландцементу під дією від'ємних температур.
23. Що називають морозостійкістю?
24. У чому відміна між хімічно та механічно зв'язаною водою?
25. Поясніть, які чинники зовнішнього середовища впливають на корозійну стійкість бетонів в атмосферних умовах.
26. Поясніть сутність різних типів процесів корозії бетону.
27. Поясніть механізм кислотної корозії бетону в атмосферних умовах.
28. Поясніть механізм сульфатної корозії бетону.
29. Чому використовується фенолфталеїн для індикації глибини нейтралізації бетону? Чи можна використовувати інший індикатор?
30. Розрахуйте, яка маса сульфату натрію необхідна для приготування 8 %-го розчину, що містить 100 мл води.
31. За якою формулою визначають стираність будівельних матеріалів?
32. Які прилади використовуються для визначення стираності?
33. Що таке стираність та від чого залежить ця властивість?

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Активні мінеральні добавки – добавки, які мають самостійну або приховану гідравлічну активність або пуцоланічну дію (добавки-наповнювачі або добавки-замінники частини цементу).

Активність (міцність) цементу – фактична міцність на стиск зразків зі стандартного цементного розчину, виготовлених і випробуваних у стандартних умовах, встановлених нормативним документом.

Бетон – композиційний матеріал, що одержується в результаті тверднення в'язучої системи з крупним і дрібним заповнювачем.

Будівельно-технічні властивості цементу – сукупність властивостей цементу, що характеризують його здатність утворювати в результаті твердіння міцний і довговічний цементний камінь.

Вимірювальний прилад – засіб вимірювання, який служить для відтворення вимірювальної інформації у формі, доступній для сприйняття спостерігачем.

Випробування – технічна операція, що полягає у встановленні однієї або декількох характеристик продукції, процесу чи послуги відповідно до встановленої процедури.

Високоекзотермічне вапно – вапно з температурою гасіння вище 70 °С.

Водовідділення цементу – кількість води, що відокремилася при розшаруванні цементного тіста внаслідок осадження цементу.

Водопотреба цементу – водо-цементне відношення, при якому досягається нормована рухливість стандартного цементного розчину.

Водо-цементне відношення (В/Ц) – відношення маси води замішування до маси цементу.

Вологість – вміст вологи в матеріалі в даний конкретний момент, віднесений до одиниці маси матеріалу в сухому стані.

В'язуча композиція – в'язучі системи у поєднанні з іншими матеріалами.

В'язучі речовини – порошкоподібні матеріали, які утворюють при змішуванні з водою або іншими рідинами пластичну легкоукладальну масу, яка через фізико-хімічні процеси спочатку втрачає пластичність (тужавіє), а потім з часом твердне, перетворюючись на міцне каменеподібне тіло.

В'язкість – одна із властивостей рідини, пов'язана з її внутрішньо-молекулярною будовою. Характеризує величину сил тертя, які виникають при переміщенні одного шару рідини щодо іншого.

Гасіння вапна – процес взаємодії вапна з водою, при якому вапно перетворюється на гідрат.

Гідравлічна активність мінеральних добавок – маса гідроксиду кальцію (у перерахунку на CaO, мг), сорбованого із розчину протягом 30 діб з розрахунку на 1 г добавки.

Гідратація цементу – хімічна взаємодія цементу з водою з утворенням кристалогідратів.

Гіпсові в'язучі речовини – матеріали, що складаються з напівводяного гіпсу або ангідриту.

Загальнобудівельний цемент – цемент, основною вимогою до якого є забезпечення міцності і довговічності бетонів.

Замішування цементу – змішування цементу з водою.

Заповнювач – поєднання в'язучої системи з крупними і дрібними фракціями природних або техногенних матеріалів.

Засоби вимірювань – технічні засоби, що використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні властивості.

Кінець тужавіння – час з моменту замішування цементу водою до моменту, коли сталева голка приладу Віка проникає в цементне тісто не більше ніж на 1 мм.

Контрольні випробування цементу – випробування, які проводять для контролю якості цементу з метою визначення його відповідності до встановлених вимог.

Корозійна стійкість бетонів – здатність матеріалу зберігати фізико-механічні властивості в агресивному середовищі.

Лабораторна проба цементу – частина об'єднаної проби, призначена для проведення випробувань.

Марка цементу – показник міцності цементу на вигин і стиск. Вона є головною технічною характеристикою цементу і необхідна при розрахунку і призначенні складів бетону і розчинів.

Метод випробування – встановлені технічні правила проведення випробувань.

Метод повітропроникності – метод, заснований на вимірюванні опору, який чинить ущільнений шар цементу повітрю, просочуючись через нього.

Мінеральна добавка до цементу – матеріал, що вводиться в цемент з метою досягнення певних показників якості та/або економії паливо-енергетичних ресурсів.

Мінеральне (неорганічне) в'язуче – порошкоподібна речовина, що має здатність при змішуванні з водою утворювати пластичну масу, застигаючи в міцне каменеvidне тіло.

Морозостійкість цементу – здатність цементного каменю протистояти багатократному попереми́нному заморожуванню і відтаванню.

Наповнювач – тонкодисперсний заповнювач, розмір частинок якого сумісний з розміром частинок в'язучої речовини.

Насипна щільність – характеристика матеріалів в пухконасипному стані (порошки, гранули, продукти дроблення і т. ін.) з урахуванням всього об'єму, включаючи порожнистість між частинками.

Неактивні мінеральні добавки – добавки до портландцементу, які застосовуються тільки як мікронаповнювачі.

Низькоекзотермічне вапно – вапно з температурою гасіння нижче 70 °С.

Нормальна густина цементного тіста – кількість води у відсотках (від маси цементу), при якій досягається нормативна консистенція цементного тіста.

Об'єднана проба цементу – проба цементу, утворена шляхом ретельного змішування всіх точкових проб, що відносяться до частини партії.

Об'ємна вага сипких матеріалів, або об'ємна насипна вага – це вага одиниці об'єму матеріалу в природному стані.

Основні компоненти цементу – клінкер, гіпс або його похідні, а також мінеральні добавки, вміст яких в цементі складає понад 5 % маси.

Партія цементу – певна кількість цементу одного виду і класу міцності (марки), що виготовлена одним підприємством за однією технологією в однакових умовах і що одночасно подана до приймання та оформлена одним документом про якість.

Питома вага цементу – це вага одиниці об'єму цементного порошку в абсолютно щільному стані, тобто без пор і порожнеч.

Питома поверхня подрібненої (порошкоподібної) речовини – сумарна поверхня всіх зерен, що містяться в 1 м.

Пластифікуючі мінеральні добавки – дисперсні мінеральні речовини, здатні при змішуванні з водою утворювати колоїдний клей і фізично зв'язувати велику кількість води.

Повітряне вапно – в'язуче, отримане помірним випаленням (що не доводить до спікання) карбонатних порід, які містять до 8 мас. % глинистих домішок.

Пористість – ступінь заповнення об'єму матеріалу порами.

Портландцемент – цемент, отриманий на основі портландцементного клінкеру.

Похибки вимірювання – результати взаємного накладення помилок, що викликаються різними причинами:

- похибками, що виникають при користуванні приладом і зчитуванні результатів вимірювань;
- похибкою самих вимірювальних приладів;
- похибками від недотримання умов вимірювання.

Початок тужавіння – час з моменту замішування цементу водою до моменту, коли сталева голка приладу Віка, плавно занурюючись в ті-

сто, проникає в нього на глибину 38-39 мм, тобто не доходить до скляної підставки на 1-2 мм.

Проба цементу – кількість цементу, відібрана від контрольованої частини партії для проведення випробувань.

Пуцоланічна активність мінеральної добавки – здатність добавки зв'язувати СаО в низькоосновні гідросилікати кальцію.

Речовий склад цементу – вміст основних компонентів в цементі, що виражається у відсотках його маси.

Рівномірність зміни об'єму цементу – властивість цементу в процесі тверднення утворювати цементний камінь, деформація якого не перевищує значень, встановлених нормативними документами.

Розширення цементу – збільшення лінійних розмірів цементного каменю при твердінні.

Рухливість (консистенція) розчинної суміші – здатність розтікатися під дією власної ваги або прикладених до неї зовнішніх сил.

Середня лабораторна проба – найменша кількість матеріалу, необхідна для визначення випробування.

Середня проба цементу – невелика кількість матеріалу, відповідна за своїми фізичними, хімічними і механічними властивостями до всієї партії цементу.

Ситовий аналіз – поділ порошку за розміром зерен шляхом просіювання через сита з різним розміром отворів.

Спеціальна добавка до цементу – добавка до цементу, що вводиться для надання йому спеціальних властивостей або для регулювання окремих показників якості.

Спеціальний цемент – цемент, до якого поряд з формуванням міцності ставляться спеціальні вимоги.

Стандарт – документ, що встановлює комплекс норм, правил і вимог до об'єкта стандартизації.

Стандартний пісок – кварцовий природний пісок з нормованим зерновим та хімічним складом, призначений для випробувань цементу.

Стандартний цементний розчин – однорідна суміш цементу, стандартного піску і води у нормованому співвідношенні.

Стираність – властивість матеріалу поступово руйнуватися тонкими шарами під дією стираючих зусиль; оцінюється втратою первинної

маси зразка, віднесеної до одиниці його площі або зменшенням товщини матеріалу.

Твердіння цементного тіста – процес формування міцної структури цементного каменю.

Тепловиділення цементу – кількість теплоти, що виділяється при гідратації цементу.

Терміни тужавіння цементу – час початку і кінця тужавіння цементного тіста, що визначається у нормованих умовах.

Технічні умови – документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинні задовольняти продукція, процес або послуга.

Технологічна добавка до цементу – добавка до цементу, що вводиться для поліпшення процесу помелу і/або для полегшення транспортування цементу трубопроводами.

Тонкість помелу – характеристика дисперсності цементу, яка може бути виражена масовою часткою залишку (проходу) на одному або декількох контрольних ситах або величиною питомої поверхні. Чим тонше подрібнений цемент, тим швидше і повніше перебігає його взаємодія з водою і тим вища його міцність.

Точкова проба – проба цементу, взята з одного місця за одну операцію.

Тужавіння цементу – процес загустівання цементного тіста унаслідок взаємодії цементу з водою, тобто необоротна втрата рухливості цементним тістом в результаті гідратації.

Уявне схоплювання цементу – передчасна часткова або повна втрата рухливості цементним тістом, яка усувається за допомогою механічного впливу.

Цемент – гідравлічний в'язучий будівельний матеріал, що складається з тонкомолотого клінкеру, гіпсу і добавок, який після змішування з водою утворює тістоподібну пасту, яка мимовільно переходить в каменеvidний стан. Цементи розрізняють за складом, видом клінкеру, за міцністю, термінами тужавіння і т. ін.

Цементне тісто – однорідна пластична суміш цементу з водою.

Цементний камінь – матеріал, що утворюється в результаті гідратації та твердіння цементу.

Цементний клінкер – продукт, що отримується випаленням до спікання або плавлення сировинної суміші належного складу і що містить, головним чином, високоосновні силікати та/або високо- або низькоосновні алюмінати кальцію.

Цементний розчин – однорідна суміш цементу, кварцового піску і води в будь-яких співвідношеннях.

Додаток

Таблиця Д1 – Хімічний склад вихідних сировинних матеріалів для розрахунку сировинних сумішей

Найменування матеріалу	Вміст оксидів, мас. %								п.п.п
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O		
Кальційвмісна сировина									
Вапняк (ВАТ «Дніпроцемент»)	51,28	3,89	1,00	1,72	1,51	-	-	-	40,60
Вапняк євпаторійський	52,75	2,47	0,71	0,85	0,83	0,21	-	-	42,18
Вапняк білокам'янський	53,00	2,40	0,81	0,79	1,50	0,02	-	-	41,48
Крейда (ВАТ «Балцем»)	52,03	4,01	0,26	1,13	0,48	0,25	-	-	41,84
Крейда Білогорського родовища	51,02	6,77	0,74	0,42	0,164	-	0,118	-	40,768
Мергель (ВАТ «Будіндустрія»)	36,45	24,29	4,83	2,66	0,80	0,34	-	-	30,63
Кальційвмісні відходи водоочищення ВАТ «Концерн Стірол»	41,29	2,98	-	5,54	7,78	-	0,67	-	41,74
Шлак доменний гранульований (ВАТ «Дніпроцемент»)	47,95	39,14	5,28	0,29	6,08	1,26	-	-	-
Шлак доменний гранульований ВАТ «Алчевський металургійний комбінат»	46,80	39,18	7,12	0,34	5,31	1,09	0,16	-	-

Продовження табл. Д1

Найменування матеріалу	Вміст оксидів, мас. %									
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O	п.п.п		
Алюмосилікатна сировина										
Глина (ВАТ «Балцем»)	8,33	60,15	13,28	5,21	1,94	0,2	-	10,89		
Глина жовтокама'янська	8,14	57,35	12,23	5,01	2,09	1,64	-	13,54		
Глина (ВАТ «Дніпроцемент»)	0,77	51,76	32,96	1,04	0,76	0,02	2,75	9,94		
Каолін (ОАО «Дніпроцемент»)	1,09	45,52	38,18	1,28	0,41	0,14	-	13,38		
Залізовмісна сировина										
Піритні недогарки (ВАТ «Балцем»)	2,25	13,01	3,82	77,76	0,27	2,89	-	-		
Піритні недогарки ВАТ «Красноперекопський металургійний комбінат»	4,05	8,93	2,08	81,58	0,81	2,55	-	-		
Колошниковий пил (ВАТ «Дніпроцемент»)	9,68	9,14	0,99	64,75	0,99	0,89	-	13,56		
Колошниковий пил (ВАТ «Кривий Ріг Цемент»)	10,12	10,50	4,04	72,87	1,09	1,38	-	-		
Шлам залізовмісний Криворізького металургійного комбінату	1,09	1,91	0,10	96,51	0,36	-	-	0,03		

Таблиця Д2 – Хімічний склад бокситів зарубіжних країн

Країна	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	H ₂ O	M* (SiO ₂)
Венгрія	57-66	2-7	12-24	2,2-3,5	0,2-1,0	14-16	9-20
Греція	52-60	2-6	24-29	1,6-2,5	0,2-0,5	11-14	10-26
Гвіана	59-88	1,5-2	3-6	2,0-3,5	ОД	29-30	29-40
Італія	54-58	2-4	22-26	2,0-3,0	-	12-15	17-27
Китай	66-88	5-10	1,5-10	2,0-3,5	0,3-0,5	13-14	8,5-13
Румунія	55-65	2-6	20-30	2,5-3,0	-	10-13	10-27
США (штат Арканзас)	57-60	4-7	2-7	2,5-3,5	0,1-0,18	28-30	8-12
Франція	57-62	3-5	18-26	3,0-4,0	-	10-12	10-15
Югославія (Сербія)	46-56	1-4	20-24	2,5-4,0	-	15-24	14-40
Бразилія	30-65	1,5-2	1-10	Немає відомостей			20-32
Норвегія	20-30	40-50	4-6	Немає відомостей			0,5-0,6
Германія	41-50	5-10	2-3	Немає відомостей			5-8
Гайана	50-60	3-12	1-3	2-3	Немає відомостей	20-31	5-15
Гвінея	45-50	5-8	8-14	1,5-2,5	Немає відомостей		6-10
Камерун	40-46	2-3	20-24	3,5-5,0	Немає відомостей		15-20
Пакістан	68-71	9-13	1,5-7,4	1,8-2,0	Немає відомостей	14-16	5-7
Суринам	60-63	2-3	2-3	2,5-3,5	0-0,6	29-31	24-30

M* (SiO₂) – кремнеземистий модуль, який дорівнює співвідношенню вмістів Al₂O₃/SiO₂

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. КОНТРОЛЬ ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ ДИСПЕРСНИХ І ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ	
1.1. Способи вираження зернового складу й дисперсності порошків	5
1.2. Ситовий аналіз	9
1.3. Визначення питомої поверхні порошків	12
1.4. Седиментаційний аналіз	21
1.5. Аналіз пісків, що використовуються для будівельних робіт	29
Контрольні питання	38
2. ГПС	
2.1. Відбір середньої проби	40
2.2. Визначення тонкості помелу	40
2.3. Визначення нормальної густоти гіпсового тіста	41
2.4. Визначення термінів тужавіння гіпсового тіста	44
2.5. Визначення кінця кристалізації	46
2.6. Випробування рівномірності зміни об'єму	48
2.7. Випробування міцності	48
2.8. Визначення об'ємних змін при твердінні	55
2.9. Визначення водостійкості будівельного гіпсу	57
Контрольні питання	58
3. ВАПНО	
3.1. Визначення тонкості помелу вапна	59
3.2. Визначення часу гасіння повітряного вапна	60
3.3. Визначення вологості гідратного вапна	60
3.4. Визначення вмісту зерен, що не погасилися	61
3.5. Визначення виходу вапняного тіста	62
3.6. Визначення об'ємної ваги вапняного тіста	63
3.7. Визначення рівномірності зміни об'єму вапна	64
3.8. Визначення термінів тужавіння в'язучого на основі вапна	66

3.9.	Визначення міцності гідралічного вапна й в'язучого на його основі	66
3.10.	Визначення міцності повітряного вапна	67
	Контрольні питання	69
4.	ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	
4.1.	Розрахунок технологічних сумішей для в'язучих матеріалів	71
4.1.1.	Розрахунок двокомпонентної сировинної суміші ...	75
4.1.2.	Розрахунок трикомпонентної сировинної суміші ...	79
4.1.3.	Розрахунок чотирикомпонентної сировинної суміші	83
4.1.4.	Особливості розрахунків сумішей для синтезу глиноземного цементу	85
4.2.	Визначення вільного оксиду кальцію в цементі	88
4.3.	Кінетичні дослідження одержання портландцементного клінкеру	95
4.4.	Оцінка в'язучих властивостей клінкерних мінералів	101
4.5.	Потенціометричне визначення рН гідролізу твердих неорганічних матеріалів	103
4.6.	Визначення гідралічної активності мінеральних добавок ..	106
4.7.	Технологічні властивості в'язучих матеріалів	111
4.7.1.	Визначення питомої й об'ємної ваги цементу	111
4.7.2.	Визначення текучості шламів	118
4.7.3.	Визначення нормальної густоти цементного тіста ..	121
4.7.4.	Визначення термінів тужавіння цементу	124
4.7.5.	Визначення виду цементу	127
4.7.6.	Визначення рівномірності зміни об'єму цементу ...	128
4.7.7.	Визначення міцності цементу на вигин і стиск	136
4.7.8.	Мала методика М. І.Стрелкова	144
4.7.9.	Вплив режимів твердіння зразків на міцнісні характеристики цементів	150
4.7.10.	Визначення водовідділення	152

4.7.11. Визначення усадки й набухання	160
4.7.12. Випробування на морозостійкість	175
4.7.13. Визначення граничної напруги зрушення в'язкопластичних тіл	180
4.8. Визначення зв'язаної води	185
4.9. Випробування стійкості цементів до різних видів корозії ...	188
4.10. Дослідження корозійної стійкості бетонів	197
4.11. Стираність	204
4.12. Визначення активності гранульованих доменних шлаків ...	205
Контрольні питання	209
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК	211
ДОДАТОК	217

Навчальне видання

ШАБАНОВА Галина Миколаївна
КОРОГОДСЬКА Алла Миколаївна
ХРИСТИЧ Олена Валеріївна

В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

Практикум

**з дисципліни «Загальна технологія тугоплавких
неметалевих і силікатних матеріалів»**

для студентів спеціальності 05130104

«Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів»

Роботу до видання рекомендував проф. Я. М. Пітак

Редактор Л. Л. Яковлева

План 2013 р., поз. 148

Підп. до друку _____. Формат 60x80 1/16. Папір офсетний.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 11,2.
Обл.-вид. арк. 12,3. Наклад 100 прим. Зам. № _____. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП»
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21