

Л.Й. Дворкін

БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

Навчальний посібник

Київ – 2021

УДК 691.32

Рецензенти:

Лаповська С.Д., доктор технічних наук, Державний науково-дослідний інститут будівельних матеріалів та виробів;

Шинкевич О.С., доктор технічних наук, професор, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування*

Дворкін Л.Й.

Будівельні розчини: Навчальний посібник / Дворкін Л.Й. – Київ.: Каравела, 2021. – 222 с.

ISBN

В навчальному посібнику розглянута характеристика основних видів будівельних розчинів. Висвітлені технологічні особливості отримання розчинів різного призначення, наведені їх будівельно-технічні властивості, шляхи їх покращення. Розглянуто склади та властивості розчинів на основі сухих будівельних сумішей. Показано основні шляхи ресурсозбереження у виробництві будівельних розчинів.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти напряму «Архітектура та будівництво» закладів вищої освіти. Він також може бути використаний працівниками будівельних підприємств та організацій.

УДК 691.32

ISBN

© Дворкін Л.Й., 2021

© Видавництво «Каравела», 2021

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА	4
1. Вихідні матеріали. Виробництво будівельних розчинів	5
1.1 Вихідні матеріали.....	5
1.2 Виробництво будівельних розчинів.....	9
2. Основні різновиди розчинів	15
2.1 Мурувальні розчини.....	15
2.2 Штукатурні розчини.....	19
2.3 Декоративні розчини.....	26
2.4 Спеціальні розчини.....	37
2.5 Полімерні та полімерцементні розчини.....	78
3. Сухі будівельні суміші	103
3.1 Загальні відомості.....	103
3.2 Основні види сухих сумішей.....	111
4. Методи випробувань будівельних розчинів	135
4.1 Загальні властивості розчинів.....	135
4.2 Спеціальні властивості розчинів на основі сухих сумішей... 146	
5. Проектування складів будівельних розчинів	159
5.1 Проектування складів розчинів.....	159
5.2 Проектування складів будівельних розчинів з застосуванням математичного планування експериментів... 171	
5.3 Оптимізація складів будівельних розчинів.....	178
5.4 Експериментальна перевірка і корегування розрахункового складу.....	182
6. Шляхи ресурсозбереження і покращення властивостей технології будівельних розчинів	185
6.1 Мінеральні наповнювачі – активні компоненти розчинів.... 185	
6.2 Зола - виносу – ефективний вид мінерального наповнювача 193	
6.3 Хімічні добавки.....	197
6.4 Зерновий склад заповнювача.....	212
Література.....	220

ПЕРЕДМОВА

Будівельні розчини поряд з бетонами відносяться до найбільш поширених в будівництві матеріалів. Поряд з традиційними розчинами, які застосовуються для мурувальних, штукатурних та інших видів будівельних робіт, в наш час широко застосовуються модифіковані будівельні розчини, що мають покращені властивості відповідно до їх функціонального призначення. Широкі можливості для модифікування розчинів і ефективного застосування їх в будівництві надає виробництво сухих будівельних сумішей, яке інтенсивно розвивається в нашій країні.

В даному посібнику системно висвітлюються основні питання, що пов'язані з виробництвом будівельних розчинів основних видів, як на основі готових до застосування, так і сухих сумішей. Наведені вимоги до розчинів відповідних видів, типові їх рецептури, що забезпечують необхідні властивості, розглянуто методики проектування і оптимізації складів розчинових сумішей і приклади їх реалізації.

В окремому розділі посібника приведені шляхи ресурсозбереження і покращення властивостей будівельних розчинів. Показано ефективність введення до складу розчинів різноманітних мінеральних добавок в т.ч. і на основі такої техногенної сировини як зола винесення, а також широкі можливості, які відкривають для регулювання властивостей розчинів хімічні добавки.

Посібник розрахований для здобувачів вищої освіти за будівельними спеціальностями. Він може бути корисним також для фахівців, що працюють безпосередньо в будівництві.

Автор вдячний рецензентам посібника д.т.н. Лаповській С.Д. та д.т.н. Шинкевич О.С. за зауваження, які були враховані, а також інж. Ніхаєвій Л.І. та Киц Г.В. за допомогу при технічній підготовці посібника до видання.

Розчинами називають композиційні матеріали, які не мають у своєму складі крупний заповнювач і вкладаються на основу тонким шаром

1. Вихідні матеріали. Виробництво будівельних розчинів

1.1. Вихідні матеріали

Для одержання будівельних розчинів широко використовуються як цементи, так і безцементні в'язучі і різноманітні добавки. Будівельними розчинами нового покоління є розчини, які отримуються на основі сухих будівельних сумішей.

В будівництві застосовують, головним чином, вапняні, гіпсові, цементні і складні або змішані (цементно-вапняні, вапняно-гіпсові та ін.) розчини. Цементи використовують як в'язучі для розчинів, що експлуатуються при високій вологості, і розчинів підвищеної міцності.

В'язучі речовини для розчинів вибирають залежно від висунутих до них вимог, температурно-вологісного режиму твердіння та умов експлуатації будівель або споруд (табл.1.1).

Для сучасної кам'яної кладки застосовуються переважно цементні або змішані розчини, що містять вапно чи глину. Мурувальні будівельні розчини повинні мати підвищену пластичність і водоутримуючу здатність. Хоча суто цементні розчини характеризуються високою міцністю, вони часто не мають всіх необхідних властивостей. Вони можуть швидко загустати внаслідок відсмоктування води цегляною або бетонною основою, не мати необхідного зчеплення з основою, утворювати мікротріщини в результаті підвищеної усадки. Ці недоліки в значній мірі усуваються при застосуванні пластифікаторів у вигляді добавок вапна або пластичної глини та інших добавок.

Вапно та інші неорганічні пластифікатори замінюються органічними пластифікуючими поверхнево-активними добавками, які досить суттєво покращують властивості цементних розчинів. Ефективним є також застосування

повітровтягуючих і гідрофобізуючих добавок, які підвищують водостійкість, водонепроникність і морозостійкість розчинів. Ці добавки полегшують також транспортування розчину за допомогою насосів на верхні поверхи будівель при виконанні будівельних робіт.

Таблиця 1.1

В'язучі для будівельних розчинів

Застосування	Марка розчину	В'язуче	
		рекомендоване	допустиме
Для наземних конструкцій при відносній вологості повітря приміщень до 60% і для фундаментів в маловологісних ґрунтах	4 і 10	Вапно повітряне та гідравлічне, вапняно-шлакова суміш, цемент для будівельних розчинів	Вапняно-пуцоланове, вапняно-зольне
	25 і більше	Портландцементи: звичайний, пластифікований і гідрофобний, шлакопортландцемент	Пуцолановий портландцемент, вапняно-шлакове, гіпсоцементно-пуцоланове, цемент для будівельних розчинів
Для монтажу крупноблочних і крупнопанельних бетонних і камінних стін	25 і більше	Портландцементи: пластифікований і гідрофобний	Шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент
Для конструкцій, які зводяться способом заморожування	10	Портландцементи: звичайний та пуцолановий	Вапняно-шлакове

продовження табл. 1.1

Застосування	Марка розчину	В'яжуче	
		рекомендоване	допустиме
	25 і більше	Портландцементи: звичайний, пластифікований і гідрофобний	Шлакопортландцемент
Для лицьовального шару крупних блоків і панелей	50 і більше	Білий і кольоровий портландцементи	Портландцемент, шлакопортландцемент
Для влаштування гідроізоляційних покриттів на залізобетонних трубах нанесенням штукатурного шару або торкретної оболонки, закладення стиків збірних конструкцій, закарбування і гідроізоляції швів тубінгів, розтрубних труб і інших елементів	50 і більше	Цементи: водонепроникний безусадочний, водонепроникний розширний, гіпсоглиноземистий розширний, розширний портландцемент	—
Для розчинів, які використовуються для внутрішнього опорядження будівель	25 і більше	Гіпсове в'яжуче марок Г-3 і більше, гіпсоцементнопуцоланові і гіпсоцементно-шлакові в'яжучі	Ангідритове в'яжуче

Необхідність забезпечення високої пластичності і зв'язності розчинових сумішей на практиці часто призводить до перевитрати цементів загальнобудівельного призначення, недовикористання їх фактичної активності в розчинах, міцність яких знаходиться зазвичай в інтервалі 5...15 МПа. Для розчинів, що застосовуються при здійсненні мурувальних, облицювальних та штукатурних робіт, а також для виготовлення неармованих бетонів класів В3,5 і нижче, до яких не висуваються вимоги за морозостійкістю, призначений спеціальний *цемент для будівельних розчинів*. Цей цемент отримують шляхом сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсу, активних мінеральних добавок і добавок дисперсних наповнювачів. З добавок наповнювачів можливо застосування кварцового піску з вмістом SiO_2 не менше 90%, а також глинистих і дрібних пиловидних фракцій крупністю менше 0,05 мм не більше 3%, кристалічного вапняку, пилу електрофільтрів клінкеровипалювальних печей та ін. Вміст клінкеру в цементі повинен бути не менше 20% його маси.

Цемент для будівельних розчинів повинен мати марку за міцністю на стиск не менше 200.

Водовідділення цементного тіста з цементу для будівельних розчинів, виготовленого при В/Ц = 1 не повинно бути більше 30% за об'ємом. Початок тужавлення цементу повинен наступати не раніше 45 хв, а кінець – не пізніше 12 год від початку замішування. Тонкість помелу даного цементу повинна бути такою, щоб при просіюванні крізь сито №008 проходило не менше 88% маси просіюваної проби.

В цементі для будівельних розчинів нормується вміст лужних оксидів не більше 2% маси. Підвищений вміст лугів може викликати хибне тужавлення цементу і передчасне загуснення розчинів, появу висолів.

Якість даного цементу суттєво покращується при введенні пластифікуючих і гідрофобізуючих добавок. Допускається також вводити в цемент повітровтягуючі добавки. Останні сприяють підвищенню морозостійкості, а також поризації розчинів.

В якості заповнювачів будівельних розчинів застосовують природні кварцові або польовошпатові, а також дроблені піски зі щільних і пористих порід і штучних матеріалів (пемзові, керамзитові, перлітові та ін.).

Найбільший розмір зерен піску в розчинових сумішах, призначених для кам'яних кладок і монтажу крупноблочних бетонних і кам'яних стін, не повинен перевищувати 5 мм. В розчинових сумішах для звичайних штукатурок застосовують пісок з найбільшим розміром зерен 2,5 мм для підготовчих шарів (набризку і ґрунту) і 1,2 мм для оздоблювального шару (накривки).

Як добавки в розчинах застосовують неорганічні й органічні пластифікатори, мікронаповнювачі, прискорювачі твердіння й ін.

Вапно використовують в вигляді вапняного тіста густиною $\rho_0 = 1400 \text{ кг/м}^3$. При використанні вапна іншої густини дозу його визначають множенням розрахункового об'єму тіста з $\rho_0 = 1400 \text{ кг/м}^3$ на відповідний коефіцієнт.

Важкі розчини мають середню густину понад 1500, а легкі менше 1500 кг/м^3 . Для легких розчинів заповнювачами виступають природні або штучні пористі піски.

1.2. Виробництво будівельних розчинів

Будівельні розчини виготовляють на бетонорозчинових заводах, пересувних і стаціонарних розчинозмішувальних вузлах і установках у вигляді готових розчинових сумішей потрібної рухливості або у вигляді сухих сумішей, які замішують водою перед використанням (рис. 1.1).

Технологічний процес приготування готової розчинової суміші включає підготовку вихідних матеріалів (відсів крупних включень з піску, підігрівання його при необхідності та інш.), дозування і ретельне перемішування.

При централізованому приготуванні розчинів широко застосовують автоматизовані розчинозмішувальні установки.

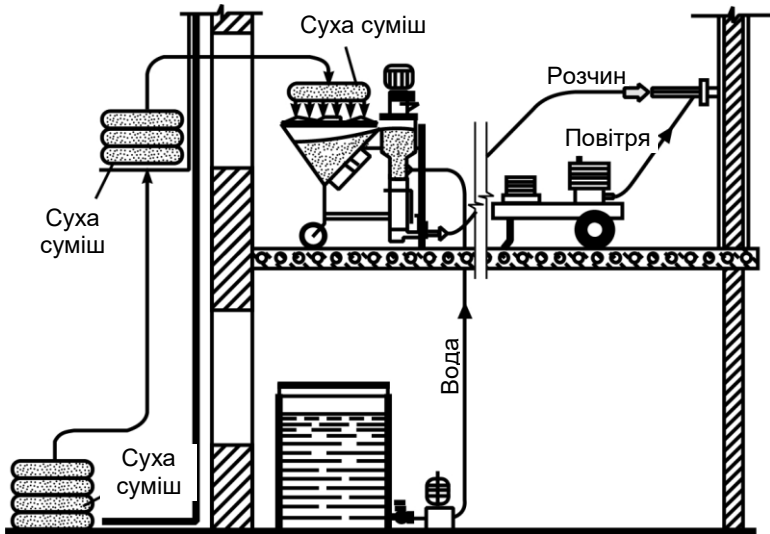


Рис. 1.1. Технологічна схема штукатурних робіт з використанням сухих сумішей

На сучасних підприємствах склади і режими виготовлення розчинових сумішей, оптимальні маршрути і графіки доставки розчинів на об'єкти визначають за допомогою ЕОМ.

Виробництво розчинів звичайно комбінується з виробництвом бетонних сумішей на бетонорозчинових заводах та установках (рис. 1.2). Для перемішування розчинових сумішей застосовують змішувачі примусової дії, пересувні розчинозмішувачі, ефективно застосування турбулентних змішувачів. При турбулентному перемішуванні підвищується текучість суміші і різко знижується водовідділення.

Турбулентний змішувач (рис. 1.3) складається з нерухокої ємності з конусоподібною нижньою частиною, встановленої на рамі лопатевого ротора-активатора, звичайно розташованого в нижній частині ємності, електродвигуна і приводних шківів. Сам принцип турбулентного перемішування, заснований на створенні високих градієнтів швидкостей, сприяє рівномірному розподілу в розчині різних включень і добавок (фібра, пігменти, пластифікуючі добавки). Швидкооборотний активатор створює

турбулентні завихрення, тому вплив на компоненти суміші при перемішуванні здійснюється не стільки активатором (ротором) установки, скільки динамічним збурюванням середовища. Такий активний вплив дозволяє одержувати дуже якісні рухливі розчини з високою рухомістю при мінімальному руйнуючому впливі на використовувані заповнювачі.

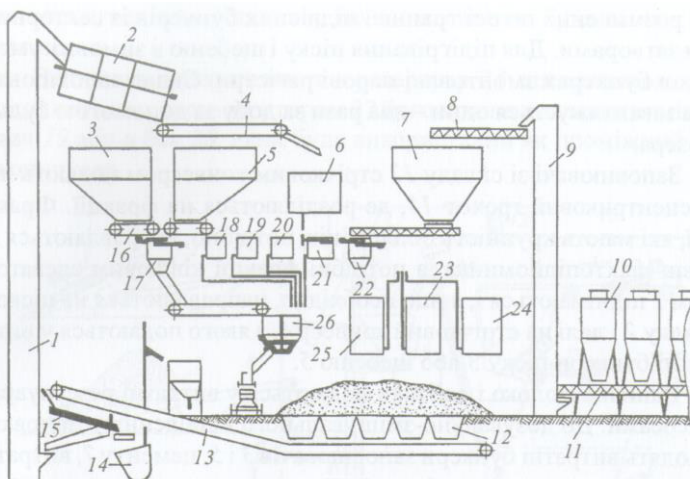


Рис. 1.2. Технологічна схема автоматизованої розчино-бетонозмішувальної установки:

- 1 – елеватор для подавання заповнювачів; 2 – піскосіялка;
- 3 і 5 – витратні бункери заповнювачів; 4 і 13 – стрічкові конвеєри; 6- резервуар для води; 7 – витратний бункер цементу; 8 – гвинтовий живильник цементу; 9 – елеватор для подавання цементу; 10 – силосний склад цементу;
- 11 – гвинтовий конвеєр; 12 – траншейно – бункерний склад заповнювачів; 14 – ковш шахтопідйомника;
- 15 – ексцентриковий грохот; 16 – стрічковий живильник;
- 17 – дозатор заповнювачів; 18 – дозатор нітриту натрію;
- 19 – дозатор омиленого щолоку; 20 – дозатор вапняного молока; 21 – дозатор води; 22 – дозатор цементу;
- 23 – резервуар для омиленого щолоку; 24 – резервуар для вапняного молока; 25 – резервуар для розчину нітриту натрію;
- 26 – турбулентний змішувач

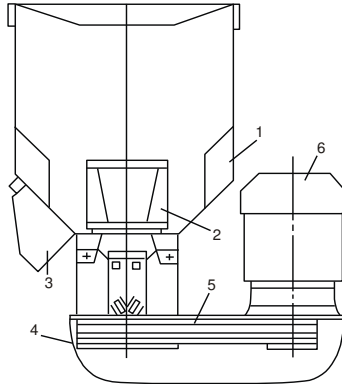


Рис. 1.3. Схема турбулентного змішувача:
 1 – корпус-чаша; 2 – ротор; 3 – розвантажувальний пристрій; 4 – рама; 5 – клиновий ремінь; 6 - електродвигун

Тривалість перемішування розчинів звичайно складає 1,5-2 хв. Розчини на легких пісках з дрібнодисперсними добавками змішуються важче – тривалість їхнього змішування не менш 2,5 хв. Звичайно в розчинозмішувач спочатку подають воду, потім заповнювач, в'яжуче і пластифікатор.

При використанні в розчинах вапна воно попередньо розбавляється до одержання вапняного молока. Глину вводять також в вигляді рідкого глиняного тіста. Хімічні добавки використовують звичайно у вигляді водних розчинів.

В зимових умовах розчини виготовляють в опалювальних приміщеннях або вводять протиморозні добавки. Тривалість перемішування розчинових сумішей в зимових умовах збільшують не менше ніж на 25%.

Під час перевезення розчинових сумішей поряд зі звичайними транспортними засобами використовують спеціальні авторозчиновози, які дозволяють перемішувати розчин в дорозі і в необхідній кількості видавати його споживачам. Для транспортування розчинів до місця роботи і нанесення їх на поверхню застосовують розчинонасоси продуктивністю 1-6 м³/год. Розчинонасосні установки включають крім насоса, бункер з вібростом для прийому і

проціджування розчину, трубопровід і форсунки для механізованого нанесення розчину на оброблювальну поверхню.

В залежності від призначення розчинів повинні бути забезпечені і необхідні їхні властивості, що досягаються відповідними технологічними засобами. Наприклад, необхідна водонепроникність водонепроникних розчинів досягається застосуванням спеціальних в'язучих (гіпсоглиноземистого цементу, розширеного портландцементу та ін.) і добавок (сульфату алюмінію, хлориду заліза, нітрату кальцію та ін.).

При одержанні жаростійких розчинів застосовують жаростійкий в'язучий або портландцемент із кремнеземистим мікронаповнювачем, жаростійкі заповнювачі.

Технологічні лінії по одержанню сухих сумішей (рис. 1.4) передбачають збереження в'язучих і наповнювачів в силосному складі, який раціонально розміщувати над обладнанням для дозування, змішування та пакування компонентів. Зважування компонентів виконується на бункерних вагах, подача на які здійснюється в режимах "грубого" і "тонкого" потоків. Для змішування сухих сипучих матеріалів застосовують змішувачі, що забезпечують рівномірний розподіл добавок і диспергування компонентів, схильних до злипання й утворення грудок.

Оптимальний режим змішування характеризується високими швидкостями зсуву, він забезпечує при перемішуванні зважений стан компонентів. Суміші упаковуються в клапанні мішки на фасувальних машинах. Технологічні лінії обладнуються комп'ютерними системами управління.

Технологія використання сухих сумішей на об'єкті включає (рис. 1.1) замішування їх водою, транспортування та нанесення на поверхні за допомогою штукатурних станцій та іншого обладнання.

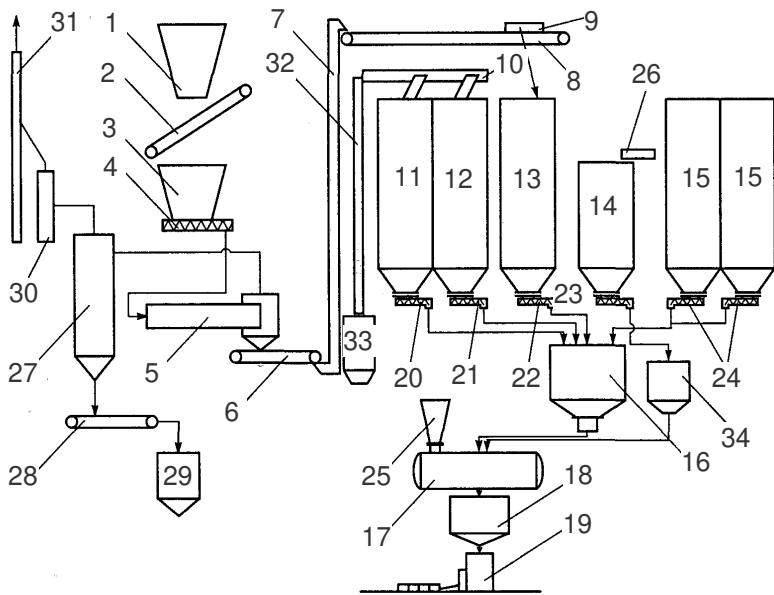


Рис. 1.4. Технологічна лінія виробництва сухих будівельних сумішей: 1 – приймальний бункер інертних заповнювачів; 2, 6, 8, 28 - конвеєри; 3 – витратний бункер; 4 – шнековий живильник; 5 – сушильний барабан; 7 – елеватор; 9 – плужковий скидач; 10 – віброгуркіт; 11... 14 – силоси для заповнювачів; 15 – силоси в'язучих; 16 – ваговий дозатор; 17 – змішувач; 18 – бункер сухої суміші; 19 - фасувальна машина; 20...24 – шнеки-живильники; 25 –воронка для введення хімічних добавок; 26 пристрій для розпакування мішків; 27 – система циклонів; 29 – бункер для пилу з циклонів; 30...34 – пилеосаджувальна система

2. Основні різновиди розчинів

2.1. Мурувальні розчини

Мурувальні розчини застосовують при кам'яному і цегляному муруванні, виконанні стиків і швів, улаштуванні вирівнювального шару, при монтажі залізобетонних конструкцій, замонолічуванні колон в фундаментах і т.п. При зведенні стін найбільш широко використовують змішані цементно-вапняні і цементно-глиняні розчини. Цементні розчини без неорганічних пластифікуючих добавок доцільні тільки для конструкцій, які зводяться нижче рівня ґрунтових вод. Вапняні розчини і розчини на різних вапняновміщуючих в'язучих (вапняно-шлакових, вапняно-зольних і ін.) застосовують в масовому малоповерховому будівництві.

Повітряне вапно використовують в розчинах для наземного мурування при відносній вологості повітря в приміщеннях до 60%, гідравлічні вапняновміщуючі в'язучі - в розчинах, які працюють у вологих умовах. Для одержання цементних будівельних розчинів широко застосовують портландцемент марок М 300 і М 400. Використовують також спеціальні цементи для будівельних розчинів, що містять в значній кількості активні мінеральні добавки або мікронаповнювачі.

В табл. 2.1 наведені орієнтовні склади змішаних мурувальних розчинів марок 25-100 в об'ємних частках (цемент: вапняне або глиняне тісто: пісок).

Крім крупного, середнього і дрібного піску при виготовленні будівельних розчинів дозволяється застосовувати дуже дрібний пісок з модулем крупності 1...1,5 і повним залишком на ситі з розміром отворів 0,63 мм не менше 10%. Застосування золи-виносу як добавки є раціональним при одержанні розчинів для звичайної кам'яної кладки і для зведення стін із крупнорозмірних елементів. Однак розчини з добавкою золи небажано використовувати взимку в зв'язку з уповільненим тепловиділенням їх твердінням при зниженій температурі. Зола,

що використовується для мурувальних розчинів, повинна відповідати наступним вимогам:

- втрати при прожарюванні не більше, %, для золи:

антрацитової	15
кам'яновугільної	5
- вміст сульфатів в перерахуванні на SO₃, не більше, % 3
- залишок на ситі №008, не більше, % 15

Таблиця 2.1

Орієнтовні склади змішаних мурувальних розчинів

Застосування	Марка в'язучого	Склади розчинів, марки			
		25	50	75	100
Для підземних конструкцій при відносній вологості повітря до 60% і для фундаментів у маловологих ґрунтах	400		1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,5:5
	300	1:1,4:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,4:4,5
	200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0,1:2,5	1:0,2:3,5
Для підземних конструкцій при відносній вологості повітря більше 60% і для фундаментів у вологих ґрунтах	400		1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
	300	1:1,1:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
	200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0,1:2,5	

В цементних розчинах оптимальний вміст золи рекомендується 100-200 кг/м³, при цьому в "пісних" малоцементних розчинах вона складає 80-125% від маси цементу, в більш "жирних" – 40-50%. При витраті цементу понад 400 кг/м³ введення золи до складу розчинів є малоефективним. Дрібнозерниста зола може використовуватися замість частини цементу та піску. Грубозернисту золу раціонально використовувати замість частини піску без зміни

витрати цементу. При використанні золи-виносу в цементних розчинах необхідна витрата цементу, як правило, знижується на 30...50 кг/м³ при одночасному поліпшенні легкоукладальності розчинової суміші. Перевитрати цементу при повній заміні піску золою можна уникнути за допомогою добавки невеликої кількості вапняного тіста. При повній заміні піску золою зростають з часом деформації усадки і деформації при перемінному зволоженні і висушуванні.

В цементно-вапняних розчинах золою можна замінити частину вапна. При цьому можна заощадити до 40-70 кг вапняного тіста на 1 м³ розчину без погіршення легкоукладальності і міцності. Цементно-вапняно-зольні розчини характеризуються досить низкою розшаровуваністю. Їх застосовують так само як і розчини без добавки золи, головним чином, для мурування надземних частин будинків.

В вапняних розчинах застосування золи-виносу дозволяє знизити на 50% витрату вапняного тіста без зниження міцності і погіршення інших властивостей. При заміні 50% вапна подвоєною за масою кількістю золи-виносу досягається не тільки економія в'язучого, але і підвищення міцності розчину. Без застосування цементу на вапняно-зольному в'язучому можна одержати розчини марки М25 і вище.

Підбір складів золівміщуючих розчинів здійснюють у два етапи. Спочатку визначають витрати компонентів розчину в кг на 1 м³ без добавки золи, а потім уточнюють їх при введенні золи, враховуючи при цьому, що середня густина розчину збільшується на 20...40 кг/м³, а водопотреба розчинових сумішей практично не змінюється.

Крім золи-виносу в будівельних розчинах ефективними є добавки цементного пилу та інших активних наповнювачів.

Ріст міцності мурувальних розчинів в зимовий час можна забезпечити введенням ряду хімічних добавок (табл. 2.2).

Як протиморозні добавки при приготуванні розчинів в зимовий час використовують нітрит натрію, поташ, сечовину, нітрит кальцію із сечовиною, нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК), хлориди натрію і кальцію, а також деякі інші солі. При цьому необхідно враховувати ряд обмежень: розчини з

хлоридами кальцію, натрію або ННХК можна застосовувати тільки для неармованих підземних конструкцій, а також для мурування стін і колон нежитлових будівель, поташ не можна використовувати в кількості понад 10% при муруванні стін із силікатних виробів низьких марок і в елементах конструкцій, які піддаються зволоженню, а також в розчинах з використанням заповнювачів, які містять реакційноздатний кремнезем. Забороняється застосовувати всі види добавок при зведенні конструкцій, що експлуатуються при вологості понад 60%, в умовах впливу агресивних факторів, в зоні перемінного рівня води і під водою без спеціальної ізоляції. Для конструкцій, на поверхні яких не допускається утворення висолів, розчин з добавкою повинен бути попередньо випробуваний на висолоутворення.

Таблиця 2.2.

Відносна міцність розчинів з добавками в залежності від температури твердіння

Добавка	Середньодобова температура	Кількість добавки, % від маси цементу	Орієнтовна міцність розчину, % від його марки при твердінні, діб		
			7	28	90
Нітрит натрію	0...-5	5	10	40	55
	-6...-9	8	5	30	40
	-10...-15	10	5	30	40
Поташ	0...-5	5	25	60	80
	-6...-15	10	20	50	65
	-16...-30	15	10	35	50
Нітрит натрію + поташ	0...-5	2,5+2,5	20	50	75
	-6...-15	5+5	15	40	60
	-16...-30	6+6	5	35	45
Хлористий натрій + хлористий кальцій	0...-5	3+0	35	80	100
	-6...-10	3,5+1,5	25	45	70
	-11...-15	3+4,5	15	25	50

Середня температура розчину (° C) з хімічними добавками в момент укладання повинна бути: при температурі повітря до

мінус 10° С – не нижче 4...6; від мінус 11 до мінус 20° С – 9...11; нижче мінус 20° С – 14...16.

2.2. Штукатурні розчини

Штукатурне покриття складається з двох або більше шарів. Зчеплення з поверхнею основи забезпечується підготовчим шаром (набризком) товщиною не більше 5 мм по цегляних і бетонних поверхнях і 9 мм по дерев'яних. Основний шар (грунт) товщиною 5...7 мм служить для одержання рівної поверхні. Поліпшені види штукатурок включають ще накривний шар товщиною не більше 2 мм.

Для приготування штукатурних розчинів, подачі їх до робочого місця і нанесення на поверхню служать комплекти машин – штукатурні агрегати і штукатурні станції (рис. 2.1).

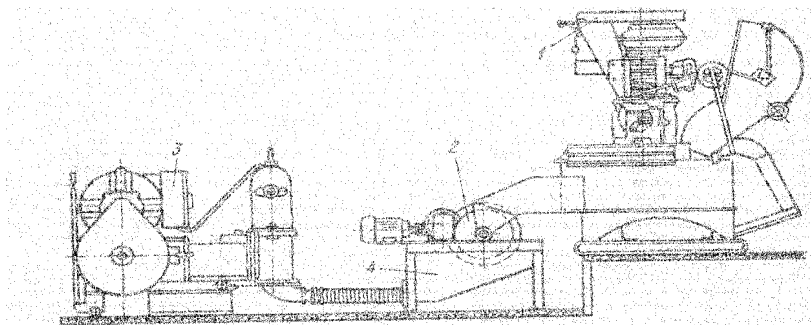


Рис. 2.1. Штукатурна станція

- 1 – розчинозмішувач; 2 – барабан; 3 – розчинонасос;
4 – приймальний бункер

Штукатурні розчини повинні мати задану рухомість (9...14 см), не розшаровуватися в процесі виробництва, а також відповідати вимогам механізованого виконання робіт, забезпечувати необхідну міцність і гарне зчеплення з основою.

Потрібна рухомість розчинової суміші залежить від розташування шару в штукатурному покритті. Для набризку застосовують найбільш рухомий розчин, що заповнює всі нерівності поверхні і містить надлишкову кількість води, яка

відсмоктується основою. Шари ґрунту використовують з відносно в'язкого розчину для утворення необхідної товщини штукатурки. Розчин для оздоблювального або т.зв. покривного шару має консистенцію, яка дозволяє добре вирівнювати ґрунт і заглажувати його поверхню. Від виду штукатурного шару залежить і гранична крупність піску. Для нижніх шарів вона складає 2,5 мм, для покривного шару – 1,2 мм.

Розчини для звичайних штукатурок розділяють на цементні, вапняні, цементно-вапняні, цементно-глиняні, гіпсові, вапняно-гіпсові, глиняні, глино-вапняні.

Цементні розчини застосовують для зовнішніх штукатурок з систематичним зволоженням і внутрішніх – в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60 %. Для підвищення водостійкості цементних розчинів бажано застосовувати гідрофобізуючі добавки, наприклад кремнійорганічні рідини (ГКР-10, ГКР-11 в кількості 0,05...0,2 % маси цементу). Орієнтовні співвідношення цементу і піску за об'ємом: для набризку 1:2,5:4, ґрунту 1:2:3, покривного шару 1:1:1,5.

Цементно-вапняні розчини застосовують для штукатурення як фасадів будівель, так і внутрішніх приміщень з будь-якою відносною вологістю повітря. Введення вапна різко підвищує пластичність розчинів. Витрата вапняного тіста залежить від призначення шару. Для набризку вводять звичайно 0,5...0,7, для ґрунту – 0,7...1, покривного шару 1...1,5 об'ємних частин вапна. Виготовляють цементно-вапняні розчини двома способами: 1) суху піщано-цементну суміш зволожують вапняним молоком до необхідної рухливості; 2) додають цемент у вапняно-піщаний розчин.

Для зовнішньої штукатурки стін споруд, які систематично не зволожуються, а також для внутрішньої штукатурки стін, перегородок і перекриттів з відносною вологістю повітря приміщень до 60 % замість цементно-вапняних можна застосовувати *цементно-глиняні розчини*. При цьому дозування глини у вигляді тіста повинне відповідати глибині занурення стандартного конуса 13...14 см. Відношення об'єму глиняного тіста до об'єму цементу не повинне перевищувати 1,5...1.

Розчини на основі повітряного вапна (вапняні розчини) застосовують для штукатурення поверхні всередині приміщень з відносною вологістю повітря до 60 %. Їх можна використовувати також для зовнішніх штукатурок, які не зволожуються систематично. Ці розчини на одну об'ємну частину вапняного тіста густиною 1400 кг/м³ містять піску: для набризку – 2,5...4, для ґрунту 2...3 і для покривного шару 1...2 частини. Вапно краще вводити в розчин у вигляді вапняного молока. Головний недолік вапняних розчинів – повільне твердіння. Процес твердіння прискорюють, додаючи будівельний гіпс. Звичайно рекомендують наступний склад *вапняно-гіпсових розчинів*, частин за об'ємом: для набризку 1 : (0,3...1) : (2...3), ґрунту 1 : (0,5...1,5):(1,5...2) і покривного шару 1 : (1...1,5) : (1,5 : 0).

Вапняно-гіпсові розчини зручніше всього використовувати для штукатурення дерев'яних поверхонь усередині приміщень. Для підвищення їх водостійкості в розчин вводять гідралічні добавки – трепел, діатоміт, шлаки, золи ТЕС і т.п.

Гіпсові розчини застосовують для внутрішніх опоряджувальних робіт в приміщеннях з відносною вологістю до 60%. Застосування гіпсових штукатурок дозволяє підтримувати в будівлях необхідний мікроклімат, виключає або мінімізує шпаклювальні роботи. Гіпсові штукатурки забезпечують високу адгезію з декоративними матеріалами, мають підвищену тріщиностійкість. Для сповільнення тужавлення в гіпсові розчини вводять добавки-сповільнювачі (мездровий і кістковий клей, вапно, галун, буру, лимонну кислоту і ін.), що збільшують життєздатність розчинів до 1,5 год.

Глиняні і глино-вапняні розчини використовують для зовнішньої і внутрішньої штукатурки дерев'яних і кам'яних стін, а також перегородок при експлуатації споруд в сухому кліматі з відносною вологістю повітря усередині приміщень до 60 %. Співвідношення глиняного тіста і піску за об'ємом коливається від 2,5 до 5 і залежить від жирності глини. До жирних належать глини із вмістом піску до 5 % і густиною тіста 1300...1400 кг/м³,

нормальних – відповідно – 15 % і 1400...1500 кг/м³, пісних (суглинки) – до 30 % і 1500...1600 кг/м³.

Рекомендації по вибору в'яжучих матеріалів для звичайних штукатурних розчинів приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Рекомендації по вибору в'яжучих матеріалів для штукатурних розчинів

Вид штукатурки	Вид опоряджувальних поверхонь	Рекомендовані в'яжучі матеріали
Зовнішня – для стін цоколів, карнизів, систематично зволожений; внутрішня – для стін, перегородок і перекриттів в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60 %	Кам'яні і бетонні	Пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, портландцемент марок 300- 400
Зовнішня – для стін споруд, що не звожуються систематично	Дерев'яні і гіпсові	Вапно, вапняно-шлакові в'яжучі і інші місцеві в'яжучі матеріали, портландцемент марки 300, вапно з гіпсом марок Г-2...Г-10, глина
Внутрішня – для стін, перегородок і перекриттів в приміщеннях з відносною вологістю повітря до 60%	Кам'яні і бетонні	Вапно, вапно з добавкою гіпсу марок Г-2...Г-10, портландцемент марки 300, глина

Як заповнювачі для штукатурних розчинів застосовують кварцові або польвошпатні піски, а також подрібнені піски зі

щільних і пористих порід і штучних матеріалів (пемзові, керамзитові, перлітові та інш.).

Як добавки в розчинах застосовують неорганічні і органічні пластифікатори, мікронаповнювачі, прискорювачі твердіння, сповільнювачі тужавлення та ін.

Всі види штукатурних розчинів повинні мати необхідну рухомість, не відшаровуватися під час штукатурення, відповідати вимогам механізованих робіт, забезпечувати хороше зчеплення з основою.

Для виготовлення штукатурних розчинів, подачі їх до робочого місця і нанесення на поверхню використовують комплекти машин, штукатурні агрегати і штукатурні станції.

Рухомість суміші розчину вибирають залежно від розміщення шару в штукатурному покритті і способу нанесення (табл. 2.4). Для набризку використовують розчин, що добре заповнює всі нерівності поверхні і містить в собі достатню кількість води, яка частково поглинається основою.

Таблиця 2.4

Рухомість штукатурних розчинів

Призначення розчину	Глибина занурення стандартного конуса, см, для нанесення розчинів	
	механізованого	ручного
Набризк	9...14	8...12
Ґрунт	7...8	7...8
Покривний шар: з гіпсом без гіпсу	9...12	9...12
	7...8	7...8

Шари ґрунту наносять з відносно в'язкого розчину для утворення необхідної товщини штукатурки. Розчин для опоряджувального або покривного шару має консистенцію, що дає можливість добре вирівнювати ґрунт і загладжувати його поверхню. Штукатурні розчини для нижніх шарів проціджують крізь сітку 3×3 мм, для опоряджувального шару – 1,5×1,5 мм.

Орієнтовні склади штукатурних розчинів різних видів приведені в табл. 2.5.

Вказані склади цементно-вапняних і вапняних розчинів розраховані на густину вапняного тіста 1400 кг/м³.

Таблиця 2.5

Склади штукатурних розчинів в об'ємних частинах

Вид штукатурки	Розчин				
	Призначення	цементний (цемент: пісок)	цементно-вапняний (цемент: вапно: пісок)	вапняний (вапно: пісок)	вапняно-гіпсовий (вапно: гіпс: пісок)
Зовнішня штукатурка систематично зволожуваних стін, цоколів, карнизів і т.п., а також внутрішня штукатурка в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60%	Набризк	1 : 2,5...4	1 : 0,3...0,5 : 3...5	–	–
	Ґрунт	1 : 2...3	1 : 0,7...1 : 2,5...4	–	–
	Покрівельний шар	1 : 1.1,5	1 : 1...1,5 : 1,5...2	–	–
Зовнішня штукатурка стін, систематично не зволожуваних, і внутрішня штукатурка в приміщеннях з відносною вологістю повітря до 60 %	Набризк	–	1 : 0,5...0,7 : 4...6	1 : 2,5...4	1 : 0,3...1 : 2...3
	Ґрунт	–	1 : 0,7...1 : 3...5	1 : 2...3	1 : 0,5...1,5 : 1,5...2
	Покрівельний шар	–	1 : 1...1,5 : 2...3	1 : 1...2	1 : 1 ...1,5 : 1,5...0

Примітка. Дерев'яні і гіпсові поверхні штукатурять переважно вапняно-гіпсовими розчинами.

Глину застосовують у вигляді тіста або порошку грубого помелу. Рухомість тіста може складати 13...14 см. При використанні глиняного порошку з "пісної" глини його кількість відповідає кількості глиняного тіста, кількість порошку з середнепластичної глини зменшується на 15, а з жирної – на 25% в порівнянні з розрахунковим об'ємом тіста.

Виготовити легкоукладальні розчини, можна якщо частково або повністю замінити вапняне тісто органічними пластифікаторами.

Органічні пластифікатори вводять в суміші розчинів в кількості 0,03...0,3 % маси цементу. Потрібну кількість органічних пластифікаторів визначають експериментально, при цьому густина розчину не повинна зменшуватися більш, ніж на 6 % в порівнянні з розчином без органічного пластифікатора.

Золу-виносу рекомендується використовувати в цементних, цементно-вапняних і вапняних штукатурних розчинах. Зола в розчинах відіграє роль активної мінеральної добавки, пластифікатора і мікронаповнювача, покращуючи структуру і якість розчинів (пластичність, водоутримуючу здатність і міцність). Вміст золи в цементних і цементно-вапняних розчинах на портландцементі і шлакопортландцементі рекомендується в межах 100...200 кг/м³, в пісних розчинах можлива і більша витрата золи. Із збільшенням витрати цементу кількість золи зменшується до 40...50 % маси цементу.

Золу бажано вводити замість певної кількості цементу, вапна і піску. Добавка золи практично не змінює вміст води цементно-вапняних розчинових сумішей.

У вапняних розчинах із заміною вапна золою витрата вапняного тіста зменшується на 50 % без зниження міцності і інших властивостей таких розчинів. При заміні 50 % вапна і частини піску подвоєною по масі кількістю золи, досягають економії вапна і підвищення марки розчину. У такий спосіб можна отримати вапняно-зольний розчин марки 25 без використання цементу.

При виготовленні змішаних розчинів з неорганічними пластифікаторами (глиною, вапном і т.п.), а також цементних,

вапняних і глиняних розчинів, в змішувач спочатку подають воду, потім завантажують заповнювач, в'язуче і пластифікатор.

Тривалість сухого перемішування матеріалів з моменту закінчення завантаження матеріалів в змішувач не повинна складати більше 1 хв, а після додавання води всі види розчинів перемішують до досягнення однорідності суміші, але не менше 1 хв.

Залежно від виду розчинів змінюються строки витримування шарів штукатурки і строки повного висихання до початку малярних робіт.

На зростання міцності розчинів значно впливають температурні умови.

2.3. Декоративні розчини

Декоративні розчини застосовують для зовнішнього і внутрішнього опорядження будівель, а також для обробки лицьових поверхонь стінових панелей і блоків. Вибираючи в'язучі для приготування декоративних розчинів, слід враховувати вид опоряджувальних поверхонь:

Вид опоряджувальних поверхонь	В'язучі для розчинів
Лицьові поверхні залізо-бетонних панелей і панелей з легких бетонів.	Кольорові портландцементи
Лицьові поверхні панелей і блоків з силікатного бетону	Вапно, кольорові портландцементи, полімерцементи, цементно-колоїдний клей (КЦК)
Фасади споруд цегляні	Вапно, кольорові портландцементи
Інтер'єри в панельних і блокових спорудах	Гіпсополімерцемент (ГПЦВ), цементно-колоїдний клей (КЦК), цементоперхлорвініл (ЦПХВ)
Інтер'єри в цегляних спорудах	Вапно, гіпс, гіпсополімерцемент (ГПЦВ), цементоперхлорвініл (ЦПХВ)

Рухомість сумішей розчинів для підготовчого шару декоративних штукатурок при механізованому нанесенні – 6...10 см, покривного шару – 7...10 см (по зануренню стандартного конуса). При ручному нанесенні рухомість суміші розчину для підготовчого шару збільшують до 8...12 см, а для покривного – до 9...12 см при введенні в суміш розчину гіпсу. Орієнтовні склади кольорових вапняних і цементно-вапняних штукатурок приведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Склади кольорових вапняно-піщаних штукатурок

Колір штукатурки	Компонент	Кількість,% маси
Білий	Гашене вапно	10
	Портландцемент	7
	Пісок мармуровий (крупністю 0,25...0,5 мм)	70
	Мука мармурова	13
Синій	Вапняне тісто	20
	Портландцемент	4
	Пісок кварцовий	74
	Ультрамарин	0,5
Рожевий	Оксиди хрому	1,5
	Вапняне тісто	20
	Портландцемент	4
	Пісок мармуровий (крупністю 0,25...0,5 мм)	73
Теракотовий	Мумія	3
	Гашене вапно	15
	Портландцемент	10
	Мелений цегляний щебінь	15
Зелений	Сурик залізний	2
	Пісок кварцовий білий	58
	Гашене вапно	15
	Портландцемент	15
	Пігмент зелений	5
	Оксиди хрому	5
Жовтий	Крихта зеленого мармуру(крупністю 0,5...2 мм)	60
	Гашене вапно	15
	Портландцемент	20
	Мука мармурова	15
	Пісок (крупністю 0,5...2мм)	50

Фактура затверділої штукатурки залежить від методу нанесення покривного шару і способу його обробки. В основному, кольоровими вапняно-піщаними штукатурками імітують пісковик і травертин.

Штукатурки типу *сграфіто* виготовляють з вапняно-піщаних сумішей. Для тонкошарового одноколірного сграфіто на перший покривний кольоровий шар кистю наносять другий завтовшки 0,3...0,5 мм, які дряпають по малюнку, нанесеним крізь трафарет. При двобарвному сграфіто ґрунт покривають кольоровим шаром, а після його затвердіння – другим шаром іншого кольору. На другий шар по трафарету наносять малюнок і дряпають по ньому до оголення нижнього шару.

Перші шари багатоколірного сграфіто виконують з кольорових розчинів, а додаткове забарвлення створюють методом фрескового живопису.

Теразитові розчини виготовляють зазвичай з сухих кольорових сумішей. В процесі виготовлення теразитової розчинової суміші з окремих компонентів в змішувач спочатку завантажують заповнювач і суміш цементу з пігментами та ретельно перемішують. Воду, вапняне молоко і пластифікатори вводять на останньому етапі перемішування. Для визначення рухомості теразитових сумішей безпосередньо на об'єкті є декілька способів. Рухомість вважають достатньою, якщо суміш не обсипається при нанесенні на вертикальну заґрунтовану поверхню шаром 6...8 мм для дрібнозернистого, 8...10 – середньозернистого і 10...12 мм – крупнозернистого теразиту.

Фактура теразиту залежить від граничної крупності зерен заповнювача. Дрібнозернисті заповнювачі в теразитових сумішах мають зерна 0,15...2 мм, середньозернисті – 2...4 мм, крупнозернисті – 4...6 мм. Крупнозернистий теразит (теразит К) при обробці фасадів використовують для штукатурення цоколів і нижніх поверхів, середньозернистий (теразит С) – для поверхонь стін, дрібнозернистий (теразит Д) – для влаштування карнизів. При формуванні залізобетонних панелей на заводі для їх обробки використовують теразитові суміші з білого цементу і кольорової кам'яної крихти в співвідношенні від 1:4 до 1:5.

Зерновий склад кам'яної крихти: фракція 1,2...2,5 мм — 35...40; 2,5... 5 мм — 60...65 %. Кількість води підбирають так, щоб рухомість суміші характеризувалася зануренням конуса на 2...3 см. Після нанесення і ущільнення опоряджувального шару поверхню виробу обробляють водою; внаслідок цього цементне тісто вимивається із зовнішньої сторони зерен кольорового заповнювача і заповнює порожнечу між його зернами.

Після двох-трьохгодинного витримання при нормальній температурі вироби обробляють гарячою парою. Для підвищення водонепроникності і морозостійкості декоративного шару, зменшення його забруднення під час експлуатації ефективна обробка розчинами кремнійорганічних сполук.

Каменеvidними штукатурками обробляють в основному фасади і цоколі монументальних споруд. Основним в'язучим є цемент; вапняне тісто вводять в кількості 10...20 % для надання розчиновим сумішам пластичності і розбілювання цементу. Як заповнювач використовують звичайно крихту імітованої гірської породи (рис. 2.2). Важливе значення при цьому надається зерновому складу кам'яної крихти, який повинен відповідати способу обробки поверхні затверділого розчину і потрібній фактурі. При піскоструминній обробці поверхні бажано, щоб суміш містила не менше 50 % зерен крупністю 2,5...5 мм. Для дрібнозернистої фактури, що виготовлена циклюванням, розмір зерен заповнювача не повинен перевищувати 1,2 мм, для рельєфних фактур застосовують крупнозернисті суміші.

Затверділий декоративний шар каменеvidної штукатурки обробляють каменярськими інструментами, бучардою, піскоструминними апаратами. Застосовують також обробку циклюванням, набризком і ін. (рис. 2.3). Для кращого оголення кам'яної крихти опоряджувальний шар обробляють 10...15 %-м розчином соляної кислоти.

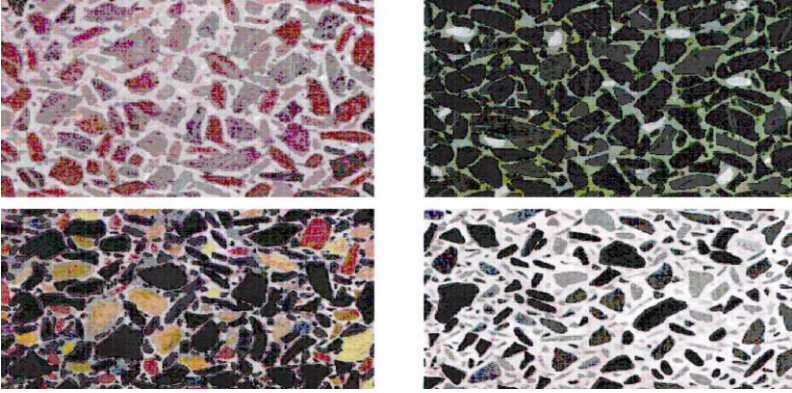


Рис. 2.2. Зразки покриттів розчинів, що імітують штучний мармур

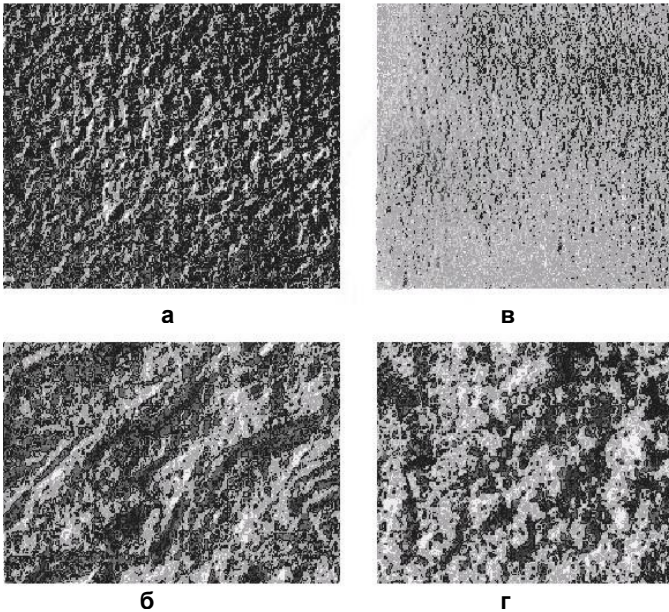


Рис. 2.3. Приклади опорядження покриттів розчинів:
а – бучардой, б – скарпелем, в – циклюванням,
г – набризком

При заводському виготовленні стінових панелей для отримання каменеvidного покриття фасадну поверхню панелей обробляють декількома способами: посипанням і поглибленням подрібненого матеріалу в свіжесформований шар цементно-піщаного розчину, нанесеного на поверхню виробів; застосуванням фіксуєчих шарів з піску, дрібнозернистої крихти або саморуйнуючих паст, що укладаються на піддон форми і т.п.

Каменеvidне покриття з розчину із поглибленою крихтою декоративних гірських порід виготовляють, формуючи панелі лицьовою поверхнею вгору. На вирівняну поверхню свіжесформованих виробів укладають цементно-піщаний розчин складу 1:3...1:4 із зануренням конуса до 4 см, по якому рівномірно розподіляють декоративний матеріал, який утрамбовується або накатується до занурення на глибину 0,5...0,6 поперечного перерізу зерен з подальшою короткочасною вібрацією. Необхідний колір покриття створюють введенням пігментів або обробкою шару розчину пігментованим цементним молоком, що виготовляється в механічних змішувачах або гідродинамічних диспергаторах. Після обробки гарячою парою фасадну поверхню панелей миють водою, очищають металевою щіткою і обробляють гідрофобними речовинами.

Для виготовлення каменеvidного покриття при формуванні панелей лицьовою поверхнею вниз використовують підстилаєчий шар з піску, на який насипають і вдавлюють на 0,3...0,5 діаметра декоративний матеріал, потім укладають кольоровий розчин і формують панелі.

Застосовують також спосіб нанесення на змазаний піддон форми фіксуєчої пасту шаром 3...10 мм, яку посипають подрібненим декоративним матеріалом. Після досягнення пастою міцності при стиску 0,4... 0,5 МПа укладають розчин і формують вироби. Склад фіксуєчої пасту %: будівельний гіпс – 65, гідратне вапно – 22, сірчанокислий глинозем – 13. Замішуючи пасту, додають 1 % сповільнювача тужавлення гіпсу. При обробці панелей гарячою парою в пасті відбуваються деструктивні зміни в результаті утворення

гідросульфоалюмінатів кальцію, і вона перетворюється на незв'язну масу і змивається водою.

Для виготовлення каменевидного покриття при формуванні виробів застосовують також паперові килимки, на які за допомогою рідкого скла наклеюють кам'яну крихту. Килимки укладають на піддони обчищених і змазаних форм, наносять шар декоративного цементно-піщаного розчину і формують вироби. Після обробки гарячою парою поверхню виробів очищають від паперу.

Розчини на основі колоїдного цементного клею (КЦК) мають підвищену міцність і адгезію до бетонів, порівняно низьке водопоглинання. КЦК – це продукт сумісного вібропомелу цементу і кварцового піску. Питома поверхня суміші повинна бути не менше 500 м²/кг. Для виготовлення забарвленого КЦК використовують кольорові портландцементи або до білого цементу при помелі додають лугостійкі пігменти. Суху суміш клею, приготовану на заводі і централізовано доставлену на об'єкт в поліетиленових мішках, зберігають не більше 15 діб. Штукатурні розчини на основі КЦК можна виготовити змішуванням клею з піском і водою. Якщо потрібна штукатурка з підвищеною водостійкістю, в розчин додають гідрофобізатори типа ГКР. Використовують піски кварцові з крупністю зерен до 1 мм, а також піски, що є продуктом подрібнення гірських порід (мармур, граніт, вапняк) з границею міцності при стиску не нижче 40 МПа.

КЦК виготовляють безпосередньо перед використанням. З цієї метою порошок з водою при водов'язучому відношенні 0,35...0,5 перемішують протягом 5...6 хв у віброзмішувачі або ультразвуковому активаторі. За відсутності віброзмішувача і активатора виготовлення розчинових сумішей допускається в змішувачах інших конструкцій. Після 3...4 хв перемішування суміш піддають п'ятихвилинній віброактивації за допомогою будь-якого високочастотного вібратора, що забезпечує 10000...14000 об/хв.

Рухомість робочої суміші складає: для безпіщаних розчинів (клеїв) – 7...8 см, для розчинів на основі КЦК – 10...12 см.

Застосовують три способи обробки панелей розчинами на основі КЦК:

1) нанесення опоряджувального розчину на піддон форми з подальшим бетонуванням панелі (при формуванні «обличчям вниз»);

2) нанесення оздоблювального розчину на свіжесформовану і вирівняну поверхню панелі (при формуванні «обличчям вверх»);

3) нанесення опоряджувального розчину на поверхню готової панелі, після обробки її гарячою парою (при будь-якому методі формування).

Як різновид декоративно-опоряджувальних розчинів можна розглядати *штучний мармур* на гіпсових і цементних в'язучих. Виготовлення штучного мармуру складається з наступних операцій: очищення і промивання водою облицювальної поверхні; нанесення ґрунту; накладення на висохлий ґрунт лицьового шару; зачистка, циклювання, шліфування, лощіння і полірування. Штучним мармуром облицюють кам'яні, бетонні і дерев'яні конструкції.

Для виготовлення штучного мармуру на основі гіпсових в'язучих гіпсопіщану суміш замішують на 2...2,5%-у клейовому розчині.

На поверхні ґрунту для кращого зчеплення лицьового шару штучного мармуру нарізують сітку з подряпинами глибиною 3...4 см.

Штучний мармур на основі цементу виготовляють з сухої суміші наступного складу, мас.ч.:

Цемент білий або розбілений	1
Мармурова мука	1...1,25
Пігмент	0,1...0,3

Гіпсові і цементні суміші застосовують для виготовлення безшовного або брускового штучного мармуру, литих плит на склі, мармуровидного лицьового шару при заводській обробці бетонних і залізобетонних виробів.

При виготовленні на заводі виробів з мармуровидною поверхнею для утворення прожилків на змазаний піддон форми, пістолетом-фарборозпилювачем наносять пігментуючу речовину; після цього з віробункера або бетоноукладача накидають суміш розчину.

В сучасному будівництві для обробки будівель і споруд широко використовують *тонкошарові декоративні фасадні штукатурки*. Вони виконуються зазвичай з готових порошкоподібних і мастикових (пастових) сумішей. Тонкошарові штукатурки мають як декоративну, так і захисні функції, утворюють шар, стійкий до атмосферної, у тому числі ультрафіолетової дії, а також механічним пошкодженням (рис. 2.4). Легкі штукатурки покращують теплоізоляційні властивості стін, зберігають потрібний мікроклімат усередині приміщень, забезпечують виконання спеціальних вимог: екранування радіохвиль, захист від рентгенівського випромінювання, шуму і т.д. Окрему групу складають штукатурки, що використовують в реставраційних роботах. Однією з основних вимог до декоративних штукатурок при виконанні реставраційних робіт є достатня швидкість дифузії водяної пари.

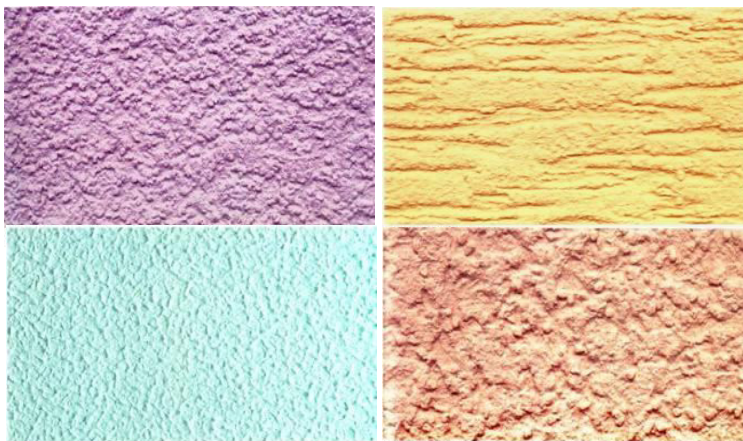


Рис. 2.4. Приклади декоративних тонкошарових штукатурок

Основною групою тонкошарових штукатурок є декоративні фасадні штукатурки завтовшки 1...3 мм, що укладаються у вигляді опоряджувального шару як традиційних цементно-вапняних штукатурок, так і систем теплоізоляції будівель. Загальна якісна характеристика основних видів тонкошарових декоративних штукатурок приведена в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Загальна характеристика тонкошарових штукатурок

Основна зв'язуюча речовина і властивості	Штукатурні суміші			
	мінеральні	акрилові	силікатні	силіконові
Основна зв'язуюча речовина	цемент	акрилова смола	рідке скло	силіконова смола
Паропроникність	високе	низьке	високе	високе
Водопоглинання	високе	низьке	середнє	низьке
Схильність до забруднень	середня	висока	низька	дуже низька
Еластичність	низька	висока	середня	висока
Вид пігментів	неорганічні	неорганічні, органічні	неорганічні	неорганічні, органічні
Стійкість до ультрафіолетового проміння	висока	низька	висока	висока
Мікробіологічна стійкість	середня	низька	висока	висока
Стійкість до стирання	низька	висока	висока	висока
Стійкість до озону	висока	низька	висока	висока

Тонкошарові штукатурки дозволяють одержувати як різноманітну колірну гамму, так і різні види фактур після

затірки гладкою неіржавіючою теркою. Поширені рустикальна ("короїд") і шорстка ("баранчик") фактури. Першу одержують вертикальними і круговими рухами, другу – круговими.

Мінеральні штукатурки виготовляються у вигляді сумішей на основі портландцементу і кварцової або мармурової крихти з розміром зерен до 1,5; 2 або 3 мм.

Акрилові штукатурки мають консистенцію пасти і виготовляються на основі водної дисперсії акрилових смол. Акрилові штукатурки утворюють гідрофобні покриття з високою стійкістю до механічних пошкоджень. Проте вони старіють під впливом ультрафіолетового проміння. Різновидом акрилових штукатурок є мозаїчна штукатурка. Вона виготовляється на основі акрилової смоли з додаванням мармуру і кольорової кварцової окрошки, має високу міцність, стійкість до миття, очищення, рекомендується для обробки сходових майданчиків, цоколів, стін.

Силікатні і силіконові штукатурки застосовують у вигляді готових до застосування мас, виготовлених відповідно на основі рідкого скла і кремнійорганічної смоли, мармурової, доломітової і т.п. крихти. Утворюють міцні поверхні з великою еластичністю, що пропускають водяну пару, стійкі до миття і біологічної корозії. Силіконові штукатурки здатні до самоочищення під впливом атмосферних опадів.

Важливий етап при використанні тонкошарових штукатурок – підготовка поверхні основи, яка повинна бути чистою, міцною і рівною.

Тонкошарові декоративні штукатурки дозволяють одержувати покриття відомі як "*венеціанські штукатурки*". Вперше такі покриття були отримані в епоху ренесансу у Венеції на основі мармурового пилу, вапна, рослинних фарбників і води. В даний час подібні штукатурні склади обов'язково містять акрилові зв'язуючі. Як правило, "*венеціанські штукатурки*" з підвищеним вмістом полімеру утворюють більш еластичні і тріщиностійкі покриття.

Полімерні штукатурки стійкі до атмосферних впливів, ударів, гідрофобні, паропроникні, легко наносяться на поверхні конструкцій, не шкідливі для здоров'я людей. Покриття можуть

виконуватися як в одному кольорі, так і багатокольірними. "Венеціанська штукатурка" передбачає "підпресування" декількох тонких напівпрозорих шарів матеріалу. Завдяки грі відображеного проміння світла, що проходить через товщу покриття "венеціанська штукатурка" нагадує полірований мармур. Технологія отримання покриття включає операції загладжування, "залізнення" і полірування шпателем кожного шару. Готове покриття має товщину 3...5 мм, характеризується високою паропроникністю, що створює в приміщенні приємний мікроклімат. "Венеціанська штукатурка" дозволяє художникам створювати на її поверхні декоративні панно, розпис здійснюють по вологому останньому шару спеціальними пігментами.

Декоративну штукатурку на основі натурального целюлозного волокна і клейового зв'язуючого з додаванням пігментів називають "*рідкими шпалерами*". Рідкі шпалери нагадують паперові з невеликим рельєфом або ворсисту тканину. Вони дозволяють одержувати суцільне безшовне покриття, приховують невеликі тріщини і дефекти. Перевага цієї штукатурки полягає в тому, що вона легко наноситься, не вимагає значних затрат праці для приготування суміші. Поверхня, покрита "*рідкими шпалерами*", може мати різну структуру, вона добре чиститься і реставрується. На неї легко наноситься фарба, клеяться рулонні шпалери.

2.4. Спеціальні розчини

До спеціальних відносять розчини для гідроізоляційних, ін'єкційних, тампонажних, кислотостійких, жаростійких, теплозахистних, акустичних, рентгенозахисних та інших видів покриттів спеціального призначення.

Гідроізоляційні розчини застосовують для створення гідроізоляційних покриттів залізобетонних труб та інших конструкцій, для зачеканювання і гідроізоляції швів тюбінгів, труб і т.п., для влаштування торкретної оболонки бетонних підземних споруд, які сильно фільтрують воду, або споруджуваних в умовах підвищеної вологості. При виборі

цементів для гідроізоляційних розчинів важливе значення має їхня активність. З підвищенням активності цементів водонепроникність розчинів як і бетонів, зростає майже прямолінійно. При виготовленні гідроізоляційних розчинів, призначених для служби в умовах агресивних вод, застосовують сульфатостійкі цемента. Для отримання водонепроникних розчинів, окрім портландцементу, пуцоланового і шлакопортландцементу ефективні гідравлічні швидкотвердіючі в'язучі: водонепроникний розширний цемент (ВРЦ), водонепроникний безусадочний цемент (ВБЦ), гіпсоглиноземистий розширний цемент (ГГРЦ).

Водонепроникний розширний цемент (ВРЦ), виготовляють шляхом ретельного перемішування глиноземистого цементу, будівельного гіпсу і високоосновного алюмінату кальцію в наступному співвідношенні (%): глиноземистий цемент – 70; гіпс – 20; чотирьохкальцієвий алюмінат – 10.

Міцність ВРЦ через 6 год після замішування – не менше 7,5; 3 діб – 30; 28 діб – 50 МПа.

Водонепроникний безусадочний цемент (ВБЦ) є продуктом ретельного перемішування або сумісного помелу глиноземистого цементу (не менше 85 %), гіпсу і вапна в співвідношенні 0,5 : 1 (до 15%). Міцність ВБЦ через 2 год після замішування – не менше 5; 6 год – 12,5; 3 діб – 25; 28 діб – 30 МПа.

Гіпсоглиноземистий розширний цемент (ГГРЦ) виготовляють сумісним помелом високоглиноземистого шлаку з двоводним гіпсом. Кількість гіпсу в ГГРЦ не повинна перевищувати 30 %. Початок тужавлення ГГРЦ – не раніше 20 хв, кінець – не пізніше 4 год з початку замісу. Цемент випускають марок М400 і М500. Марку цементу визначають через 3 доби. Міцність цементу марки М400 при стиску через 24 год повинна бути не менше 35 МПа, М500 – 45 МПа.

Першочерговий вплив на водонепроникність розчинів має водоцементне відношення з підвищенням якого в розчині розвивається система пор і капілярів. Як правило, для гідроізоляційних розчинів $V/C = 0,3-0,5$.

Добавки для підвищення водонепроникності розчинів поділяють на мікронаповнювачі, пластифікатори, кольматуючі, полімерні і комбіновані. Як мікронаповнювачі використовують звичайно дешеві і доступні матеріали – кам'яне борошно, золу-винос та ін. Роль мікронаповнювачів зводиться до ущільнення і створення дрібнозернистої структури розчинів. Серед кольматуючих добавок поширені хлориди заліза, алюмінію і кальцію. Гідроізоляційні розчини готують також з використанням добавок рідкого скла, алюмінату натрію, азотнокислого кальцію та інших добавок.

Ущільнюючі добавки до цементно-піщаних розчинів вводять в кількості % маси цементу: нітрат кальцію – 1...2, хлорид заліза – 1...2, алюмінат натрію – 2...3.

Водонепроникність розчинів з ущільнюючими добавками зростає в декілька разів в порівнянні з водонепроникністю розчинів без добавок. Гідроізоляційні роботи з використанням ущільнюючих добавок виконують при температурі повітря не нижче 5° С.

Порошкоподібні добавки до введення в розчинову суміш заздалегідь розчиняють у воді. Необхідну кількість добавок на заміс або 1 м³ розчину визначають залежно від густини їх розчинів.

Розчин хлориду заліза (III) можна приготувати з технічної соляної кислоти (густиною 1,15...1,19 г/см³) і піритових огарків (відходів суперфосфатного виробництва, які містять 70...80 % оксиду заліза). Піритові огарки з відвалів заздалегідь підсушують, щоб їх вологість не перевищувала 2 %. Для прискорення реакції застосовують сталеву стружку.

Добавка хлориду заліза прискорює зростання міцності розчинів як в ранні, так і в пізні строки. У віці 28 доби міцність зразків з цією добавкою на 20...25 % перевищує міцність контрольних зразків без добавки. Підвищений вміст хлориду заліза може інтенсифікувати корозію арматурної сталі.

Добавка алюмінату натрію скорочує строки тужавлення розчину; час від його виготовлення до застосування – 15...25 хв. Для збільшення строків тужавлення додають технічні лігносульфонати в кількості до 0,1 % маси цементу. Границя

міцності цементно-піщаного розчину з добавкою алюмінату натрію в добовому віці приблизно вдвічі перевищує міцність розчину без добавки. В подальші строки зростання міцності розчину сповільнюється.

Для виготовлення водонепроникних розширних розчинів рекомендують комплексну добавку, що містить, в масових частинах: алюмінієву пудру – 0,01, хлорид кальцію – 2, сульфат алюмінію – 2, лігносульфонати технічні – 0,1. Технологія виготовлення розчинів полягає в роздільному розчиненні у воді сульфату алюмінію і інших добавок, а потім введення їх разом з водою замішування в змішувач з сухою сумішшю цементу і піску.

Для виготовлення водонепроникних розчинів підвищеної кислотостійкості застосовують калієве рідке скло. Цемент з піском замішують рідким склом густиною 1,4...1,42 г/см³, розбавленим водою, в співвідношенні 1:5...1:10. Розчини на рідкому склі швидко тужавіють (через 2...5 хв), тому їх слід готувати в невеликій кількості. Враховуючи, що рідке скло нестійке по відношенню до вуглекислого газу, що міститься в повітрі, покрівельний шар розчинів на рідкому склі виконують з цементного розчину.

До поширених водонепроникних розчинів відносяться розчини з добавкою *цезезиту*, що одержують з олеїнової кислоти, вапна, аміаку, водного розчину сірчанокислого амонія. В розчини цезезіт вводять у вигляді цезезітового молока, що містить на 1 частину добавки 10 частин води. Застосовують водонепроникні розчини з добавкою цезезіту наступних складів (об'ємн.ч.): цемент 1, глина 0,1...0,2, цезезіт 0,12, пісок 2...3. Цезезітові розчини використовують не пізніше, ніж через годину після їх приготування.

Водонепроникність цементних розчинів забезпечують, окрім вказаних добавки бітумних емульсій, латексів, інших полімерів, а також гідрофобізуючих і пластифікуючих поверхнево-активних речовин.

Для гідрофобізації штукатурних покриттів їх просочують розчинами кремнійорганічних гідрофобізаторів 3...5%-ної

концентрації. Застосування розчинів більш високої концентрації може викликати появу на поверхні білого захисного нальоту.

Надійно служать гідроізоляційні розчини, нанесені методом торкретування.

Торкрет-розчини (набризк-розчини) - розчини, одержувані методом пневматичного розпилення розчинової суміші на оброблювану поверхню. Застосовують мокрий і сухий способи розпилення суміші. При мокрому способі замішена суміш за допомогою бетононасоса подається до соплового блоку для безперервного набризгу під тиском у вигляді спрямованого струменя. При сухому способі цемент і заповнювач попередньо дозуються і перемішуються перед подачею в спеціальний пневматичний апарат (цемент - гармату), з якого під тиском вводяться в потік стисненого повітря і через систему шлангів і трубопроводів подаються на сопловий блок, де змочуються під тиском водою і розбризкуються у вигляді спрямованого струменя на місце укладання (рис. 2.5).

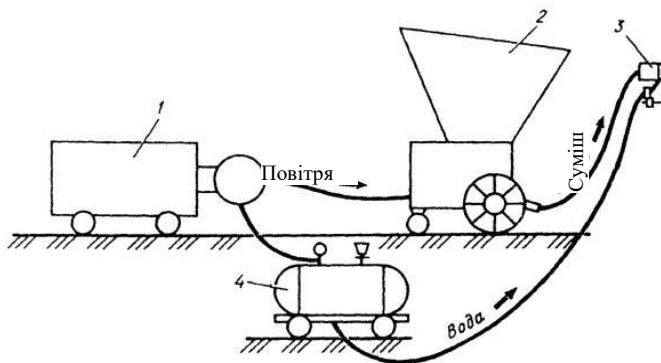


Рис. 2.5. Схема обладнання для виконання робіт методом сухого торкретування: 1 - компресор, 2 - цемент-гармата, 3 - сопло, 4 - водяний бак

У порівнянні зі звичайними торкрет-розчини мають більш високу міцність, морозостійкість, водонепроникність, краще зчеплення з поверхнею оброблюваної конструкції. При торкретуванні поєднуються в одній технологічній операції транспортування, укладання і ущільнення розчину.

Торкрет-розчини застосовують для будівництва резервуарів, елементів гідротехнічних споруд, тунелів, гідроізоляції, оздоблювальних робіт, посилення конструкцій.

Кислотостійкі розчини виготовляють з суміші кислотостійких заповнювачів і дисперсних наповнювачів з кремнефторидом натрію, замішаної на рідкому склі.

Рідке скло – повітряна в'язуча речовина, що є водним розчином лужних силікатів (силікат-брили або гранулята) складу $R_2O \cdot nSO_2$, де R_2O — Na_2O або K_2O , n – модуль скла.

Натрієве рідке скло залежно від виду початкового напівфабрикату розділяють на содове з $n=2,31...3,5$ і густиною $1,36...1,5$ г/см³ і содово-сульфатне з $n=2,31...3$ і густиною $1,43...1,45$ г/см³. Калієве рідке скло має $n=3...4$, густину $1,4...1,42$ г/см³.

В більшій кількості випускається натрієве рідке скло, що пояснюється більшою доступністю сировинних матеріалів. Швидкість розчинення у воді силікат-брили визначається розміром зерен, співвідношенням силікат:вода (рис. 2.6, 2.7). Вона також залежить від модуля скла, (рис. 2.8) кількості і складу домішок, параметрів варіння (температура, тиск). Основними агрегатами для розчинення силікат-брили є автоклави. В автоклавах необхідні значення температури ($135...165^\circ$ C) і тиску ($0,3...0,7$ МПа) досягають застосуванням гострого пару. Тривалість розчинення силікат-брили в обертових автоклавах складає $1...2$ год, в стаціонарних $5...6$ год. При застосуванні тонкомеленого порошку або грануляту розчинення скла можна виконувати безавтоклавним способом при температурі $90...100^\circ$ C.

Для видалення нерозчинених частинок і механічних домішок рідке скло відстоюють і, при необхідності, фільтрують або випарюють.

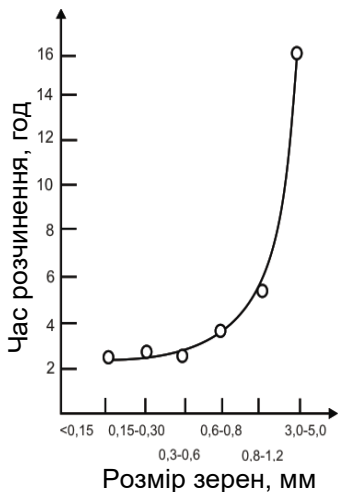


Рис. 2.6 Вплив дисперсності силікат-брили на швидкість розчинення

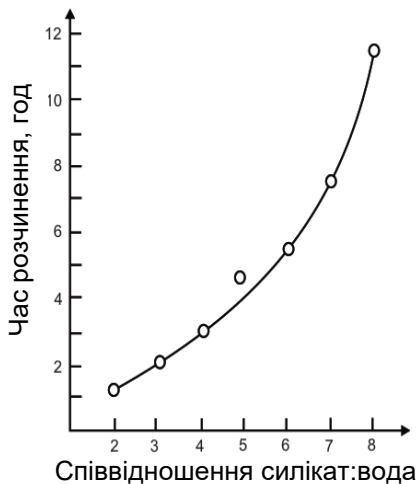


Рис. 2.7 Вплив масового співвідношення силікат-брили і води на швидкість розчинення

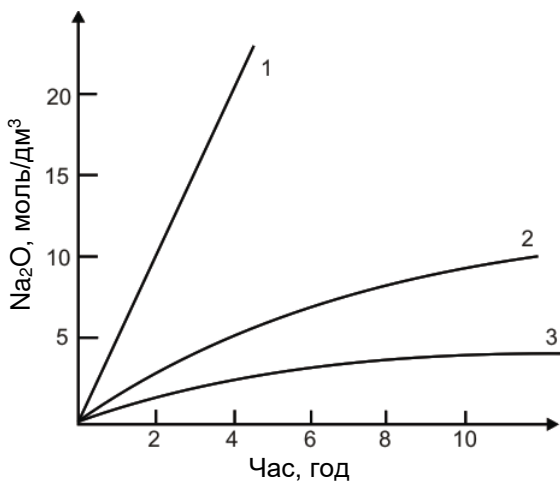


Рис. 2.8. Вплив модуля на швидкість розчинення натрієвого розчинного скла:
1 – $n=1$; 2 – $n=2$; 3 – $n=3$

Поряд з застосуванням силікат-брили або грануляту, рідке скло отримують розчиненням кремнеземистих компонентів у їдких лугах. При цьому способі доцільно застосовувати матеріали, які містять аморфні модифікації кремнезему: трепел, діатоміт та ін. Цей спосіб потребує застосування пари високого тиску і тонкого помелу кремнеземистого компоненту.

Промисловістю виготовляються три марки рідкого скла: А – низькомодульне, Б – середньомодульне та В – високомодульне (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Марки промислових рідких стекел

Характеристика скла	Вміст оксидів, %		Модуль n
	SiO ₂	Na ₂ O	
Низькомодульне (марка А)	29,7...30,7	12,3...13,2	2,31...2,60
Середньомодульне (марка Б)	30,8...31,9	11,0...12,1	2,61...3,0
Високомодульне (марка В)	32,0...33,1	9,8...11,0	3,0...3,5

В закритих ємностях рідке скло не твердне. На повітрі відбувається повільне тверднення в результаті взаємодії лужного силікату з вуглекислим газом і виділенням гелю кремнієвої кислоти SiO₂·2H₂O, який утворює штучний камінь.

Найбільш поширений спосіб переведення рідкого скла в твердий стан полягає у взаємодії його з різними реагентами, які виконують роль отверджувачів.

Особливе місце серед отверджувачів займають фторсилікати лужних металів. На практиці з цією метою застосовують переважно кремнефторид натрію Na₂SiF₆. При його взаємодії з рідким склом виділяється додаткова кремнієва кислота, яка ущільнює тверднучу систему, підвищуючи її міцність.

На основі рідкого скла, кремнефтористого натрію і кислотостійких заповнювачів виготовляють кислототривкі цементи, розчини і бетони. Більш відомий *кислототривкий кварцовий кремнефтористий цемент* – продукт тонкого помелу

суміші кремнефториду натрію і кварцового піску, замішаний розчином силікату натрію або калію. Замість кварцового піску до складу кислототривкого цементу можна вводити інші кислотостійкі порошки, втрата маси яких при кип'ятінні в кислоті не перевищує 7%. Для замішування цементу зазвичай використовують розчин силікату натрію густиною 1,34...1,38 г/см³ в кількості 25...30% від маси піску. Вміст Na₂SiF₆ в суміші приймають в межах 4...8% маси цементу. Він залежить від призначення цементу: для виготовлення кислототривких замазок вміст Na₂SiF₆ приймають 4±0,5% (цемент I типу), розчинів і бетонів 8±0,5% (цемент II типу).

Початок тужавлення цементу I типу повинен наступати не раніше 40 хв., II типу – 20 хв., кінець тужавлення для обох типів цементу повинен наступати не пізніше 8 год. від початку замішування. Міцність при розтягу зразків 28 – добового повітряного тверднення після кип'ятіння на протязі 1 год. в 40%-ном розчині сірчаної кислоти повинна бути не менше 2 МПа, а зниження міцності після кип'ятіння не допускається вище 10%.

Крім цих показників, нормується вміст SiO₂ в *кварцовому піску* (більше 95% SiO₂), пористість цементного каменю за поглинанням керасину і тонкість помелу. Залишок при просіюванні цементу на ситі №008 повинен бути не більше 10%, ситі №0056 – не більше 30%.

Кислототривкий кварцовий цемент недостатньо стійкий до фтористоводневої і кремнефтористоводневої кислот, в яких розчиняється кремнезем, а також до дії киплячої води, водяного пару та лугів. Стійкість цементу знижується по мірі розбавлення кислот у зв'язку з вилуговуванням у воді силікату натрію. З підвищенням концентрації кислот стійкість цементу зростає.

Тверднення кислототривкого цементу відбувається в результаті хімічної взаємодії кремнефториду натрію і висококонцентрованого розчину рідкого скла з утворенням колоїдного гідрогелю кремнієвої кислоти.

Кислототривкий кварцовий кремнефтористий цемент застосовують в якості в'язучого для замазок і розчинів, при

вкладанні хімічно стійких матеріалів, а також для захисних футеровок хімічних реакторів.

Заповнювачами кислотостійких розчинів є кварцовий пісок, а також піски з подрібненого граніту, андезиту, базальту і інших порід. Наповнювачі – тонкомелений кварцовий пісок, маршаліт і інші кремнеземисті порошкоподібні матеріали. Вміст кремнефториду натрію складає близько 15 % маси рідкого скла.

Для підвищення водостійкості кислотостійких розчинів до них додають активні мінеральні добавки – трепел, опоку, діатоміт і т.п. Полімерні добавки у складі кислотостійких розчинів підвищують їх густину і непроникність.

Жаростійкі розчини зберігають в заданих межах свої властивості при тривалій дії високих температур. Їх застосовують для кладки пічних та інших теплових агрегатів, а також захисних штукатурних покриттів, що працюють при високих температурах. Жаростійкі розчини поділяють:

за видом в'язучого – на портландцементі та його різновидах; алюмінатних цементах(глиноземистому та високоглиноземистому); силікатних(рідкому склі), фосфатних та магнезіальних в'язучих;

за видом тонкомеленої добавки – з шамотною, кордієритовою, золошлаковою, керамзитовою, аглопоритовою, периклазовою та іншими добавками;

за видом заповнювача – з шамотним, корундовим, магнезіальним, карборундовим, кордієритовим, андезитовим, перлитовим заповнювачами та ін.

При застосуванні портландцементу гранична допустима температура застосування розчину коливається від 300 до 1200° С, глиноземистого цементу від 800 до 1800° С, рідкого скла від 600 до 1300° С.

Для жаростійких розчинів також як для бетонів встановлюються класи за міцністю на стиск (В1 ... В40).

При необхідності для жаростійких розчинів нормуються також марки за термостійкістю по числу водних (T_1) або повітряних тепломінів, усадочні деформації та інші властивості (T_2).

Специфічним видом руйнування бетону при теплової дії є руйнування під впливом вогню в умовах пожежі. Під впливом

високотемпературного полум'я знижується несуча здатність бетонних і залізобетонних конструкцій, а через певний час під дією вогню можливе їх руйнування. Зниження міцності бетонів і розчинів в умовах пожежі відбувається, в основному, в результаті розвитку внутрішніх напружень внаслідок відмінності температурного коефіцієнта лінійного розширення цементного каменю і заповнювачів.

Вогнестійкість розчину як і вогнестійкість інших будівельних матеріалів характеризується *границею вогнестійкості*. Границею вогнестійкості будівельних конструкцій називається час, протягом якого вони зберігають несучі та огорожувальні функції в умовах пожежі. Втрата конструкцією несучої здатності супроводжується її раптовим або дуже швидким обваленням. Огорожувальна здатність конструкцій втрачається, коли температура поверхні, що не обігрівается, в середньому зростає на 160° С і в суміжних приміщеннях можливе самозаймання матеріалів. При цьому в конструкціях утворюються наскрізні тріщини, через які проникають продукти горіння та полум'я.

Вибір в'язучого для жаростійких розчинів проводиться з урахуванням досягнення необхідних фізико-механічних властивостей і корозійної стійкості при дії високих температур і агресивного середовища. При дії нейтрального і лужного газових середовищ рекомендується застосування жаростійкого розчину на портландцементі та шлакопортландцементі, кислого газового середовища і розплавів лужних металів - розчину на рідкому склі.

Для розчинів на портландцементі та рідкому склі застосовують тонкомелені добавки, стійкі до дії високих температур на основі шамоту, кордіериту, золошлакових сумішей ТЕС, керамзиту, аглопориту та ін. Для отримання тонкомеленої добавки використовують також подрібнені жаростійкі бетони. Тонкість помелу добавок повинна бути такою, щоб при просіюванні через сито №008 проходило не менше 50% взятої проби. У добавках вміст вільних СаО та MgO не повинен перевищувати 3%, а карбонатів – 2%.

Заповнювачі жаростійких розчинів вибирають залежно від граничної температури, міцності та інших нормованих властивостей застосування.

При температурі експлуатації до 600...800° С як заповнювачі знаходять застосування гірські породи, що не містять значної кількості вільного кварцу (андезити, базальти, діабазы, туфи, пемза), а також доменні шлаки, керамзит, аглопорит та ін. Для розчинів, які експлуатуються за температури 1200...1700° С, як заповнювачі застосовують різні вогнетривкі матеріали -шамот, хроміт, кордіерит, корунд та ін.

Встановлення основної причини руйнування цементного каменю – гідратації утвореного при нагріванні оксиду кальцію – дозволило розробити основний спосіб надання йому жаротривких властивостей. Цей спосіб полягає у введенні в цемент або розчинів чи бетонні суміші тонкомелених мінеральних добавок, які хімічно зв'язують СаО, не утворюють з мінералами цементу легкоплавких речовин, є стійкими до впливу високих температур і зменшують усадку цементного каменю при нагріванні.

Як тонкомелені добавки застосовується цілий ряд дисперсних матеріалів, які є хімічно активними по відношенню до СаО - на основі золи-виносу, доменного гранульованого шлаку, шамоту та ін. Тонкомелені добавки вводять у суміші зазвичай, коли максимальна температура служби розчину перевищує 350° С, кількість їх призначається, як правило, не менше 30% маси змішаного в'язучого, що складає 100...150 кг/м³ і збільшується при застосуванні чистоклінкерного портландцементу і підвищенні температури експлуатації бетону. Реакційна здатність добавок до СаО при підвищених температурах зростає, коли кремнезем або інші оксиди (глинозем, оксид хрому) в добавках знаходяться в аморфному або склоподібному стані. Так, реакція взаємодії між СаО і аморфним кремнеземом йде вже при 500...600° С, а для кристалічного кварцу вона тільки починається при 600° С. Використання добавок, що містять кварц, небажане і через здатність його до поліморфних перетворень, що викликають порушення структури розчину. Небажане також використання

таких добавок як глина, діатоміт та інші, які призводять до значного збільшення усадки. Для підвищення вогнетривких властивостей розчинів застосовують відповідні добавки з вогнетривких матеріалів – хроміту, магнезиту, хромомagneзиту. Ступінь подрібнення добавок повинен бути приблизно таким як і цементу, від нього значною мірою залежить їх реакційна здатність.

На рис. 2.9 наведені криві зміни міцності на стиск цементного каменю залежно від виду тонкомеленої добавки. Введення тонкомеленої добавки зменшує, як правило, зниження міцності особливо після впливу температури 600° С і вище. Кращі результати отримані при введенні тонкомеленого шамоту. Введення у цемент тонкомелених добавок, які не містять компонентів, здатних зв'язувати оксид кальцію та покращувати жаростійкі властивості цементного каменю, призводить до різкого падіння міцності.



Рис. 2.9. Зміна міцності на стиск цементного каменю при нагріванні залежності від виду тонкомеленої добавки (співвідношення портландцемент: тонкомелена добавка - 1:1 за масою для всіх складів, а для складу з хромітом 1:0,5)
 1 – портландцемент з шамотом; 2 – з меленим кварцом;
 3 – з меленим гранульованим шлаком; 4 – з хромітом;
 5 – без добавок

При нагріванні звичайних цементних розчинів та бетонів деструктивні процеси відбуваються не тільки в цементному камені, але і в заповнювачах. Такі процеси зумовлені нерівномірним температурним розширенням полімінеральних кристалічних порід, якими є, наприклад, граніти. Непридатні в якості заповнювачів в умовах нагрівання, матеріали, що містять вільний кварц (піщаник, кварцові піски, кварцити та ін.). Найнебезпечнішим є перетворення β -кварцу в α -кварц при 573°C , яке пов'язане зі зменшенням густини зерен і, відповідно, ефектом об'ємного розширення.

Вибір заповнювачів для жаростійких розчинів залежить від максимальної температури їх експлуатації. Звичайні заповнювачі використовують при температурі до 200°C . Вапняки та доломіти, що широко застосовуються як заповнювачі починають розкладатися приблизно при 600°C . Заповнювачі з таких вилитих вивержених порід, як андезити, діабазы, базальти, вулканічні лави, туфи, попели, пемза, що не містять вільного кварцу, при введенні в розчинові суміші тонкомелених добавок можуть використовуватися в умовах температури до $700\dots 800^\circ \text{C}$. У такому ж діапазоні температури використовуються доменні відвальні шлаки, що не розпадаються, з модулем основності не більше 1, а також паливні шлаки і бій звичайної глиняної цегли.

Для легких жаростійких розчинів як заповнювачі використовують керамзит, перліт, вермикуліт.

Найбільшого поширення як заповнювач жаростійких розчинів та бетонів отримав *шамот*. До шамотних належать матеріали з вмістом $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ від 30 до 45%. Їх отримують випалюванням вогнетривких глин та каолінів до спікання. Випалений продукт сортують, подрібнюють та розсіюють за фракціями.

Для жаростійких розчинів з найбільш високою температурою застосування в якості заповнювачів використовують бій магнезитових, хромомagneзитових, корундових та інших вогнетривів.

Орієнтовні склади жаростійких розчинів на портландцементі і рідкому склі наведені в табл. 2.9, 2.10.

Таблиця 2.9

Склади жаростійких розчинів на портландцементі

Тонкомелена добавка	Заповнювачі	Витрати матеріалів, кг/м ³			Максимальна температура служби бетону несучої футеровки, °С
		цемент	тонкомеле на добавка	заповнювач	
З золи-виносу, глиняної цегли, пемзи, доменного гранульованого шлаку	Андезитовий, базальтовий, діоритовий, діабазовий	350	120	1700	700
	Відвальний доменний шлак	350	120	1800	700
	Арктикський туф	350	120	1100	700
З паливного шлаку	З паливного шлаку	350	120	1100	800
Зі звичайної глиняної цегли	Зі звичайної глиняної цегли	350	120	1100	900
З шамоту класу В, лесу, золи-виносу	З шамоту класу В	350	120	1300	1000-1100

Жаростійкі розчини з підвищеними фізико-механічними властивостями можливо отримувати також на фосфатних в'язучих.

До *фосфатних в'язучих* належить велика група в'язучих систем, до складу яких входять різні оксиди або інші тонкодисперсні речовини та фосфорна кислота. Їх поділяють на "прості" в'язучі системи, що включають фосфорну кислоту та мономінеральні сполуки, представлені переважно оксидами, та в'язучі системи з використанням полімінеральних природних і техногенних продуктів. Вони можуть тверднути за кімнатної температури або при нагріванні.

Таблиця 2.10

Гранична температура застосування жаростійких розчинів на рідкому склі залежно від їх складу

Номер складу	Температура застосування, °С	Отверджувачі	Тонкомелені добавки	Заповнювачі
1	600	Кремнефтористий натрій, нефеліновий шлам, саморозсипні шлаки	Шамотна	Андезитові, базальтові, діабазові, діоритові
2	800	Саморозсипні шлаки	Із шлаків феромарганця і силікомарганця	Із шлаків феромарганця і силікомарганця
3	1000	Кремнефтористий натрій	Шамотна	Шамотні, із вторинних шамотних вогнетривів
4	1100	Нефеліновий шлам, саморозсипні шлаки	Шамотна, шлак гранульований силікомарганця	Шамотні, із суміші шамоту і корунда
5	1300	Кремнефтористий натрій	Магнезитова	Шамотні

Тверднення фосфатних в'язучих можливе за умови хімічної взаємодії мінеральних порошоків з фосфорнокислим затверджувачем. Здатність тверднути і перетворюватися в штучний камінь для фосфатів обумовлена процесами поліконденсації, в результаті яких можуть утворюватися структури лінійних, кільцевих і ніздрюватих поліфосфатів.

В останні роки розроблено ряд швидкотверднучих і високоміцних фосфатних в'яжучих композицій, що мають високу жаростійкість. До них належать, наприклад, *магнійамонійфосфатні цементи*, тверднення яких пов'язане зі взаємодією оксиду магнію з водними розчинами амонійфосфатів. Використання у в'яжучих системах амонійфосфатів істотно покращує їх фізико-механічні характеристики. Оксид магнію випалюють при температурі вище 1300° С. Вплив складу на кінетику наростання міцності магнійамонійфосфатних цементів наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Вплив складу на міцність магнійфосфатного цементу

Співвідношення MgO/амонію фосфат	Міцність на стиск, МПа		
	1 год	5 год	24 год
1/4	1	3,5	6,5
3/7	1	4,5	7,0
2/3	7	11	12
1	10	18	19
3/2	15	22	22

Магнійамонійфосфатні цементи мають стійкість до дії температури не менше 1000° С.

Високі технічні властивості характерні для в'яжучих систем на основі тальку - шаруватого магнезійного силікату з вмістом MgO близько 30%. *Талькофосфатні в'яжучі* тверднуть при 140° С і дозволяють отримувати матеріали з високою міцністю на стиск та вогнетривкістю 1450° С. Ці показники можуть бути поліпшені при сухому і особливо гарячому пресуванні.

Великою групою фосфатних в'яжучих матеріалів є матеріали з активними компонентами, що містять глинозем. Із застосуванням *алюмофосфатної зв'язки* $Al(H_2PO_4)_3$, кварцових, шамотних та інших вогнетривких компонентів можна отримати високоякісні жаростійкі розчини. Вогнетривкість, наприклад, *динасофосфатних розчинів* досягає 1750° С, а температура початку деформацій – 1660°С.

Типові показники *шамотнофосфатних матеріалів*:

- міцність на стиск після сушіння при 300° С – 40 МПа,
- після випалу при 800° С – 80 МПа,
- після випалу при 1500° С – до 145 МПа,
- усадка після сушіння – до 0,3...0,6%,
- вогнетривкість – до 1750° С,
- температура початку деформацій під навантаженням – до 1450° С.

Високі вогнетривкі та фізико-механічні властивості мають *корундові, магnezіальні та цирконійфосфатні матеріали*, які одержують з використанням різних видів фосфатних зв'язок (табл.2.12).

Таблиця 2.12

Властивості цирконійфосфатних матеріалів
(за даними Л.Г. Судакаса)

Вид зв'язки	Міцність на стиск, МПа, при термообробці			Термостійкість (1300° С – повітря), тепломіни при термообробці	
	100° С	800° С	1600° С	100° С	1600° С
H ₃ PO ₄	7,0	92	130	13	6
Al ₂ (HPO ₄) ₃	50	79	106	33	12
Al(H ₂ PO ₄) ₃	62	59	111	47	3
Mg(H ₂ PO ₄) ₂	51	45	-	40	-
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	35	21	106	66	27

Теплоізоляційні і звукопоглинальні розчини.

Теплоізоляційні розчини мають низьку теплопровідність (λ) і придатні для теплової ізоляції конструкцій і споруд. Відповідно до чинної класифікації будівельних теплоізоляційних матеріалів вони можуть відповідати першому ($\lambda \leq 0,0650$ Вт/(м⁰ С), другому ($\lambda = 0,06...0,115$ Вт/(м⁰ С)) або третьому ($\lambda = 0,115...0,1750$ Вт/(м⁰ С)) класам за теплопровідністю і, відповідно групам за густиною: низької – до 175 кг/м³, середньої – 200 ... 350 кг/м³ або щільної – до 500 кг/м³.

Середня густина теплоізоляційних розчинів має бути не більше 500 кг/м³.

Властивості теплоізоляційних розчинів, що визначають раціональні області їх застосування, обумовлені видом і властивостями вихідних матеріалів і особливостями структури, на якій істотно позначаються спосіб поризації, умови твердіння та ін.

Виробляють кладочні і штукатурні теплоізоляційні розчини. Перші призначені для кладочних швів при зведенні стін з легкої пористої цегли, блоків з матеріалів на пористих заповнювачах, ніздрюватих бетонів. Застосування теплоізоляційних розчинів робить кладку більш однорідною по своїм теплоізоляційним властивостям і попереджає утворення "містків холоду".

Теплоізоляційні штукатурні розчини використовуються як опоряджувальні матеріали, що суттєво знижують теплопровідність огорожуючих конструкцій та покращують їх теплову ефективність.

Низька теплопровідність розчинів забезпечується застосуванням відповідних пористих заповнювачів. Усереднені значення коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних розчинів з застосуванням як заповнювачів керамзитового, перлітового та вермікулітового пісків приведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційних розчинів

Марка бетону за середньою густиною	Значення коефіцієнту теплопровідності в сухому стані, Вт/(м·°С) з застосуванням		
	Керамзитового піску	Перліту	Вермікуліту
D200	-	-	0,07
D300	-	0,09	0,08
D400	0,11	0,10	0,09
D500	0,14	0,11	0,11

Поряд з цементними застосовують теплоізоляційні розчини та гіпсових в'язучих. Їх порівняльні характеристики наведені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Основні властивості гіпсових теплоізоляційних розчинів

Показники	Густина розчинів, кг/м ³		
	100	200	300
Міцність при стиску, МПа	0,08	0,2	0,4
Теплопровідність в сухому стані, Вт/м·°С	0,06	0,08	0,1
Максимальна сорбційна вологість	2,0	2,0	2,0
Морозостійкість, цикли	50	50	50

З розчинів на пористих органічних заповнювачах для теплової ізоляції ефективним є розчин із застосуванням в якості заповнювача пінополістирольних гранул (полістиролбетон). Їх отримують одно- або багатоступінчастим спінуванням суспензійного полістиролу. Можливе застосування також заповнювача, який одержують дробленням відходів пінополістирольних плит. Полістирольний заповнювач має марки за насипною густиною: 10, 15, 20, 25 і 30. Нормовані вимоги до полістиролбетону наведені в табл. 2.15. Матеріали із застосуванням пінополістиролу мають порівняно низьку сорбційну вологість, достатню паропроникність.

Вони можуть виконувати одночасно функції теплоізоляційних і стінових матеріалів. Високі показники їх якості забезпечуються при додатковій поризації за рахунок повітрявтягнення і введення добавок, що забезпечують необхідну легкоукладальність і ущільнюваність, дрібнопористу структуру.

Звукопоглинальні розчини застосовують для акустичних штукатурок. Звукопоглинання матеріалів характеризується ступенем або коефіцієнтом поглинання звуку, які зростають з підвищенням кількості відкритих пор, максимальний діаметр яких не перевищує 2 мм. На середніх частотах розчини здатні поглинати до 50% звукової енергії. Звукопоглинаючі розчини забезпечують також необхідну тривалість *реверберації* – поступового зростання звуку у приміщеннях. Тривалість

реверберації залежно від інтер'єру приміщень і частоти коливань становить 0,2...2,0 сек.

Таблиця 2.15.

Вимоги до полістиролбетону

Марки за міцністю	Клас за міцністю на стиск (В)	Границя міцності на розтяг при згині, МПа	Марки за густиною	Марки за морозостійкістю	Коефіцієнт теплопровідності у сухому стані, Вт/(м·°С)
М2	-	0,08	150...200	-	0,055...0,065
М2,5	-	0,10	150...200	-	0,055...0,065
М3,5	-	0,15	200...250	-	0,065...0,075
М5	-	0,25	200...300	25...35	0,065...0,085
-	В0,5	0,35	250...350	35...50	0,075...0,095
-	В0,75	0,50	300...400	35...50	0,085...0,10
-	В1,0	0,60	350...450	35...50	0,095...0,115
-	В1,5	0,65	400...500	35...75	0,10...0,125
-	В2,0	0,70	500...600	50...100	0,125...0,145
-	В2,5	0,73	500...600	50...100	0,125...0,145

Звукопоглинальні розчини мають середню густину 600...1200 кг/м³. Заповнювачами в них слугують піски з зернами крупністю від 3 до 5 мм з пористих матеріалів: пемзи, шлака, спученого перліту, керамзиту та ін.

Розчини для підлог. Для підлог застосовують цементно-піщані, мозаїчні, ксилолітові і полімерцементні розчини.

Цементно-піщані розчини використовують для влаштування стяжок та укладання плиткових підлог. При влаштуванні стяжок застосовують розчини марок М100–М200 з рухомістю суміші 4-5 см. Для наливних стяжок по сипучих матеріалах (піску, шлаку) застосовують рухомі розчинні суміші з введенням добавок суперпластифікаторів. Розробка суперпластифікаторів нового покоління (гіперпластифікаторів) дозволила одержати склади розчинів для підлог, що самонівелюються.

До розчинів підстилаючого шару при кріпленні плиток висувають вимоги підвищеної адгезійної здатності, що забезпечується правильним підбором складу, зниженням усадочних деформацій при твердінні, вибором оптимальної товщини шару.

Орієнтовні склади цементно-піщаних розчинів приведені в табл. 2.16.

Таблиця 2.16

Склади цементно-піщаних розчинів для підлоги
(цемент марки М 400)

Марка розчину	Співвідношення за масою (цемент: середньозернистий пісок: вода)	Призначення
150	1 : 3 : 0,55	Для стяжок
200	1 : 2,8 : 0,48	
300	1 : 2,4 : 0,4	Для покриттів
400	1 : 2 : 0,3	

Рухомість сумішей розчинів для покриття підлоги – 2,5...3,5, для стяжок – 11...13 см. Цементно-піщані розчини повинні тверднути у вологих умовах протягом 7...10 діб.

У виробничих будівлях влаштовують також підлоги з *металоцементним покриттям*. Покриття складається з нижнього шару – цементно-піщаного розчину марки М400 завтовшки 20 мм – і верхнього М500 з суміші сталеві стружки, цементу і води не менше 20 мм товщиною. Сталеву стружку подрібнюють на бігунах або в кульових млинах, потім обезжирюють прожарюванням і просівають на ситі з розміром отворів 1,2 мм. Насипна густина сталеві стружки повинна бути не менше 2000 кг/м³. При виготовленні металоцементних сумішей, цемент і сталеву стружку дозують в співвідношенні за об'ємом 1 : 1. Кількість води підбирають так, щоб рухомість суміші відповідала зануренню конуса 1...2 см.

Підлоги з мозаїчних сумішей влаштовують перш за все у вестибюлях, на сходових майданчиках, в коридорах, санітарних вузлах, а з ксилолітових – в приміщеннях, де люди знаходяться

довго і мало пересуваються (адміністративних, учбових, видовищних і т.п.). Мозаїчні і ксилолітові суміші використовують для покриття як монолітної, так і збірної (з готових плит) підлоги.

Мозаїчні суміші виготовляють із застосуванням білого, кольорового або звичайного розбіленого портландцементу і крихти з твердих порід (частіше за все мармур), які піддаються шліфуванню, мають границю міцності при стиску не менше 60, 80 і 100 МПа відповідно для покриттів марок М200, М300, М400. Крихта не повинна містити пилюватих і глинистих домішок та зерен, які легко руйнуються. Твердість крихти повинна відповідати твердості покриття, інакше його якість знижуватиметься унаслідок нерівномірного стирання.

Рекомендується використовувати крихту з водопоглинанням в межах 12...16%; при більш низькому водопоглинанні погіршується її зчеплення з цементним каменем, при більш високому – здатність до шліфування.

Крім кам'яної крихти для деяких мозаїчних сумішей застосовують кварцовий пісок. Для розбілювання звичайного сірого цементу вводять порошок (крупність зерен менше 1,5 мм) з білих гірських порід, границя міцності яких при стиску не менше 20 МПа, в кількості 20...40% маси цементу. Вибираючи склад мозаїчної суміші, виходять з умови створення після обробки поверхні, що містить 75...80% кам'яних заповнювачів і 20...25% цементного каменя. Кількість крупної крихти звичайно не менше 0,8 м³ на 1 м³ мозаїчного розчину, а об'єм дрібної крихти або піску, що додається, повинен на 10...30% перевищувати об'єм пустот крупного заповнювача.

Склад мозаїчних сумішей залежить від марки матеріалу за міцністю; орієнтовно він може бути наступним, мас.ч.:

Марка матеріалу	200	300	400
Портландцемент	1	1	1
Вода	0,65	0,5	0,4
Пісок	2	1,4	1
Крихта	3,4	2,4	1,7

Рухомість мозаїчної суміші відповідає осадці конуса 2...4 см.

Колір кам'яної крихти, співвідношення її дрібної і крупної фракцій, необхідні кількість і вид пігментів вибирають залежно від заданого кольору і тону покриття.

Виготовлення мозаїчного монолітного покриття включає укладання спочатку жорсткого цементно-піщаного розчину завтовшки 20...25 мм, потім лицьового мозаїчного шару, який після твердіння шліфують мозаїчно-шліфувальними машинами. Під час твердіння повинні бути забезпечені сприятливі умови для запобігання швидкого видалення вологи з бетону. Для цього зазвичай через 2 доби після укладання поверхню мозаїчної підлоги засипають шаром тирси не менше 30 мм і протягом 4...7 діб періодично зволожують. До обробки поверхні мозаїчного покриття приступають після досягнення ним необхідної міцності. Обробка включає операції обдирання (для видалення верхнього шару цементного каменя і оголення заповнювача), шліфування і полірування.

Крім звичайних, влаштовують *набірно-мозаїчні покриття*, імітуючи декоративні гірські породи. Покриття набирають з окремих шматків і крихти природного каменя різних порід заданого кольору і форми і укладають по малюнку на цементно-піщаному розчині. Затверділе покриття шліфують. При влаштуванні такої підлоги заповнювач з декоративного каменя і зв'язуючий його цементно-піщаний розчин повинен бути рівномірними. Інакше підлога при експлуатації нерівномірно стиратиметься.

Ксилолітові покриття для підлог бувають еластичними і жорсткими, одношаровими і двошаровими. Еластичні ксилолітові покриття виготовляють із суміші магнезійного в'язучого і тирси, а в жорсткі покриття додають кам'яні заповнювачі. Останні застосовують в приміщеннях з інтенсивним пересуванням людей і безрейкового транспорту.

Для замішування каустичних магнезиту і доломіту застосовують розчини хлориду і сульфату магнію, сульфату заліза. Найбільшої міцності досягають, використовуючи розчин хлориду магнію із змістом $MgCl_2$ не менше 45 % і густиною 1,15...1,20 г/см³. Розчин хлориду магнію можна приготувати,

нейтралізуючи соляну кислоту каустичним магнезитом. З цією ж метою застосовують карналіт– мінерал класу хлоридів.

Каустичний магнезит, є порівняно високоміцною швидкоотвердіючою в'язучою речовиною. При перемішуванні з водним розчином хлориду магнію густиною $1,2 \text{ г/см}^3$, через 1 добу твердіння його міцність при розтягуванні складає не менше 1,5 МПа, а через 28 діб – 3,5... 4,5 МПа, міцність при стиску – 40...50 МПа і більше. Початок тужавлення магнезитового тіста повинен наступати не раніше 20 хв, кінець – не пізніше 6 ч після замісу.

Каустичний доломіт має меншу міцність (10...30 МПа).

Основним заповнювачем ксилолітової суміші є деревна тирса. Як добавки вводять тальк, азбест, кварцовий пісок, кам'яну муку і т.п.

Частіше використовують тирсу хвойних порід, яку одержують при подовжньому розпилюванні лісу. Крупність тирси для верхнього шару покриття повинна бути до 2,5 мм не рекомендується використовувати тирсу твердих порід дерев, вологістю більше 20% і заражену грибами.

Для отримання кольорових покриттів в ксилолітові суміші додають лугостійкі мінеральні пігменти в кількості 3...5% маси сухих складових.

Склади ксилолітових сумішей приведені в табл. 2.17. При підвищених вимогах до чистоти приміщення і зовнішнього вигляду підлоги в ксилолітову суміш для верхнього шару покриття додають тальк близько 6 % об'єму в'язучого і тирси. Міцність покриття при ударі може бути істотно підвищена при введенні в ксилолітову суміш до 25% об'єму магнезійного в'язучого азбесту 5-го або 6-го сорту з волокнами 1,5...2 мм завдовжки.

Ксилолітову суміш виготовляють в змішувачах, продуктивність яких вибирають такою, щоб суміш була витрачена протягом не більше 40 хв після її замішування.

Розчин хлориду магнію додається до суміші до тих пір, поки її рухомість стане 2...3 см по зануренню стандартного конуса. Виготовляючи ксилолітову суміш і укладаючи її, слід враховувати кородуючу дію розчину хлориду магнію на металеве устаткування і деталі. Необхідного зчеплення

ксилолітового покриття з основою досягають ґрунтовкою – сумішшю каустичного магnezиту і розчину хлориду магнію густиною 1,06...1,07 г/см³ в співвідношенні 1:4 по масі. Ксилолітову суміш укладають до початку тужавлення розчину, що застосовується для ґрунтовки основи. Ксилолітові покриття обробляють циклюванням і шліфуванням.

Таблиця 2.17

Склади ксилолітових сумішей

Покриття	Склади суміші (в сипкому стані), об'ємн.ч.		Густина розчину хлориду магнію для замішування ксилолітової суміші, г/см ³
	Еластичне покриття (магnezит: тирса) для напівтеплої підлоги	Жорстке покриття (магnezит: тирса: пісок) для холодної підлоги	
Одношарове або верхній шар двошарового покриття з неінтенсивним рухом	1...2	1 : 1,4 : 0,6	1,18
Те ж, в місцях з інтенсивним рухом	1 : 1,5	1 : 1 : 0,5	1,20
Те ж, в місцях з особливо інтенсивним рухом (сходові майданчики, головні проходи і т.п.)	Не застосовується	1 : 0,7 : 0,3	1,24
Нижній шар двошарового покриття	1 : 4	Не застосовується	1,14

Примітка. Для фарбування в ксилолітову суміш лицьового шару покриття додають пігмент в кількості 3...4 % об'єму магnezиту і тирси.

Безусадочні і розширні розчини. Необхідність застосування безусадочних і розширних розчинів виникає при омоноличуванні збірних залізобетонних елементів, відновленні бетонних і залізобетонних конструкцій, гідроізоляції підземних

споруд, зведенні ємностей для зберігання нафти та газу, влаштуванні покриттів підлог, доріг і аеродромів та ін

Основним способом отримання безусадочних і розширних розчинів є застосування спеціальних цементів, які за класифікацією Г.Лосье, поділяють на види залежно від показника вільного розширення зразків при зберіганні їх у воді:

цементи	розширення, мм/м
<i>безусадочні</i>	2...5
<i>слаборозширні</i>	5...6
<i>середньорозширні</i>	8...10
<i>сильнорозширні</i>	12...15

На теперішній час розроблена значна кількість безусадочних і розширних цементів, які отримують на основі портландцементу, глиноземистого цементу та їх композицій. До складу таких цементів входять розширні компоненти і деякі добавки. У більшості цементів розширення викликається утворенням гідросульфоалюмінатів кальцію, гідратацією оксидів кальцію і магнію, реакцією утворення активної газової фази.

Розроблена технологія *безусадочних розчинів* на основі портландцементу з введенням вапна в кількості 10% в перерахунку на СаО у воду замішування, а ГКР-94 (0,1%) при помелі цементу. При цьому цемент набуває гідрофобність і не втрачає активність при тривалому зберіганні.

Лінійне розширення розчинових зразків на основі даного цементу складу 1:2 за масою при В/Ц= 0,5 досягає 0,002...0,05% при твердненні у повітряно-вологих умовах. Розширення зразків розчину закінчується на 14 добу і стабільно зберігається протягом року. При зниженні витрати цементу і підвищенні водоцементного відношення величина розширення зменшується.

Безусадочні розчини можуть бути отримані також при додаванні до портландцементу оксиду магнію або випаленого доломіту. Розширення таких розчинів обумовлено збільшенням об'єму гідроксиду магнію при його утворенні і кристалізації у початковий період тверднення цементу. При 5%-ому дозуванні доломіту, випаленого при 700° С, розширення розчину складу

1:3 досягає при водному зберіганні через 1 добу 0,03%. Подальше розширення розчину при більш тривалому твердненні незначне. При підвищенні температури випалу доломіту до 800° С розширення збільшується до 0,038%, а до 900° С – до 0,084%. Розширення збільшується також при збільшенні дозування випаленого доломіту до 10%, при цьому міцність цементів, які містять гідроксид магнію, знижується.

Безусадочні розчини виготовляють також на водонепроникному безусадочному цементі (ВБЦ), який розробив В.В. Михайлов. Цей цемент отримують сумісним помелом глиноземистого цементу, напівводного гіпсу і вапна-пушонки. Вміст глиноземистого цементу складає не менше 85%, а співвідношення між гіпсом і вапном може змінюватися від 0,5 до 1. Початок тужавлення цементу починається не раніше 1 хв, кінець – не пізніше 10 хв. Лінійне розширення цементних призм, занурених у воду через добу, повинно бути не менше 0,01% і не більше 0,3%. Через годину від початку замішування зразки стають водонепроникними при тиску 0,3 МПа, а через 1 добу – 0,6 МПа. Розчини на основі ВБЦ застосовують для влаштування гідроізолюючих торкретних оболонок бетонних і залізобетонних підземних споруд, які фільтрують воду.

При гідросульфоалюмінатному розширенні, найбільш характерному для розширених цементів, збільшення об'єму цементного каменю є наслідком інтенсивного росту кристалів еtringіту у тверднучому цементному камені, коли останній вже набрав певну міцність, але зберіг ще достатню пластичність, щоб не руйнувалась його цілісність і утворювалися тріщини.

Ступінь розширення цементного каменю залежить від міцності цементного каменю в період, коли розвиваються значні внутрішні напруження при кристалізації еtringіту. Чим вища міцність цементного каменю, тим меншим повинно бути розширення.

Гідросульфоалюмінатне розширення портландцементу досягається введенням різних композицій добавок. В різний час з цією метою пропонувалось вводити в портландцемент сульфат алюмінію, гіпс та алунітову породу, глинисто-гіпсові породи, каолін, вапно та гіпс, метакаолін і гіпс та ін.

Наприклад, оптимальний склад розширеного розчину складу 1:3 при В/Ц=0,4 у % за масою:

портландцемент М400 –100;

нітрат кальцію – 3;

сульфат алюмінію – 2;

ЛСТ – 0,15;

алюмінієвий порошок – 0,15

Розчини на основі розроблених розширених композицій є антикорозійними і достатньо морозостійкими.

Для цементів з підвищеним вмістом трикальцієвого алюмінату доданку сульфату алюмінію можна замінити на напівводний гіпс. У цьому випадку розширення здійснюється як за рахунок кристалізації еtringіту, так і двоводного гіпсу. Композиції знайшли застосування для гідроізоляції резервуарів, ремонтних робіт, при омоноличуванні армованих стиків у гідротехнічному будівництві, у будівництві та ремонті водопровідних і каналізаційних систем.

Ряд розширених цементів з різним ступенем і енергією розширення запропонований на основі глиноземистого цементу. У 1935...1941 рр. був розроблений *водонепроникний розширений цемент (ВРЦ)*. Цей цемент отримують спільним помелом або ретельним змішуванням глиноземистого цементу, будівельного чи високоміцного гіпсу та високоосновного гідроалюмінату кальцію. Оптимальний склад ВРЦ: глиноземистий цемент – 70...76%, напівводний гіпс – 20...22%, високоосновний гідроалюмінат кальцію – 10...11%

Розчини на цьому цементі не можна застосовувати в конструкціях, які експлуатуються при недостатній вологості або при температурі більше 80°C.

До основних недоліків ВРЦ відноситься також швидке тужавлення, що ускладнює виготовлення і вкладання бетонних і розчинових сумішей на його основі.

Недоліків ВРЦ позбавлений *гіпсоглиноземистий розширений цемент* – ГГРЦ – високоміцна швидкотверднуча гідралічна в'язуча речовина, отримана при спільному помелі глиноземистого клінкеру з природним двоводним гіпсом. Вміст гіпсу в ГГРЦ рекомендується в межах 30%. При замішуванні цього цементу водою спочатку кристалізуються гідро-

алюмінати кальцію, які взаємодіють з гіпсом, утворюючи гідросульфоалюмінат кальцію, що викликає розширення тверднучого цементного каменю.

Початок тужавлення цементу не раніше 10 хв, кінець – не пізніше 4 год після замішування водою. Лінійне розширення ГГРЦ при комбінованому водно-повітряному твердненні через 1 добу становить не менше 0,15%, 3 доби – 0,10% , при зануренні у воду через 1 год. після закінчення тужавлення в однодобовому віці – не менше 0,15%, тридобовому – не менше 0,1% і не більше 0,6%. Через добу після виготовлення цементний розчин складу 1:2 (цемент:пісок) з В/Ц=0,3 стає водонепроникним при робочому тиску 1 МПа. Границя міцності ГГРЦ при стиску через 3 доби тверднення – не менше 28 МПа, що складає приблизно 60...70% міцності вихідного глиноземистого цементу.

Для розчинів на ГГРЦ характерна загальна залежність міцності від водоцементного відношення. Приблизно таким самим як у портландцементних є зчеплення розчинів зі сталевую арматурою, однак при застосуванні ГГРЦ у залізобетонних конструкціях, які експлуатуються на повітрі, необхідно застосовувати спеціальні заходи для захисту арматури від корозії (введення інгібіторів, захисні обмазки та ін.). Для розчинів на ГГРЦ характерна досить висока атмосферо- і морозостійкість. Разом з тим, неприпустимо застосовувати цей цемент при температурах, які перевищують 90...100° С за причини інтенсивного водовиділення гідросульфоалюмінатом кальцію, що супроводжується руйнуванням цементного каменю.

Розчини на ГГРЦ достатньо стійкі у морській воді і в 1%-них розчинах сульфатів натрію і магнію.

Склади на основі ГГРЦ показали високу ефективність при тампонуванні нафтових свердловин. Він ефективний у розчинах для захисту від радіоактивних випромінювань і послаблення потоку нейтронів, що обумовлено відносно високим вмістом хімічно зв'язаної води в цементному камені: 30...32% хімічно зв'язаної води у порівнянні з 26...28% для глиноземистого цементу і 22...24% для портландцементу.

Ін'єкційні розчини. До ін'єкційних відносять велику групу розчинів, які застосовують у виробництві попередньо

напружених залізобетонних конструкцій, для укріплення крупнопористих та тріщиноватих скельних ґрунтів, ущільнення тунельних облицювань та ін.

У виробництві попередньо напружених залізобетонних конструкцій ін'єкційні розчини, які вводять в канали, де розміщена арматура, слугують для забезпечення спільної роботи арматури з бетоном і захисту її від корозії. Склад розчинів повинен забезпечувати їх в'язкість, що дозволяє щільне заповнення канадів, мінімальне водовідділення(не більше 2%), необхідне зчеплення з арматурою і бетоном. Марка розчинів за міцністю нормується не менше М300, вони повинні мати достатню морозостійкість. Застосовують цементно-піщані розчини з використанням дрібних пісків і пластифікуючих добавок.

Спосіб нагнітання під тиском в тріщини і пори ґрунту або дефекти кладки цементних розчинів називається *цементациєю*. Цей спосіб широко розповсюджений в гідротехнічному будівництві для ущільнення ґрунтів, він дозволяє зводити такі відповідальні споруди, як, наприклад, високі греблі на основах із тріщинуватих порід при наявності несприятливих геологічних факторів. Цементацию з успіхом застосовують і як спосіб усунення дефектів і пошкоджень бетону при будівництві та експлуатації споруд.

Ін'єкційні розчини застосовують також для заповнення пустот, великих пор і тріщин, підвищення міцності і зниження водопроникності крупнопористих незв'язних ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації $K_f > 50$ м/добу, а також скельних ґрунтів з величиною розкриття тріщин від 0,1 мм і більше і питомим водопоглинанням від 0,01 л /хв·мм·вод.ст.

Види ін'єкційних розчинів залежно від способу зміцнення ґрунтів наведені в табл.2.18.

Як різновиди ін'єкційних можна вважати *тампонажні розчини* для цементування нафтових та газових свердловин.

Таблиця 2.18

Види ін'єкційних розчинів для укріплення ґрунтів

Способи зміцнення ґрунтів	Характеристики закріплюваного ґрунту		Рекомендований тип і вид ін'єкційного розчину	Призначення розчинів
	Тип ґрунтів	Коефіцієнт фільтрації ґрунту м/діб		
Цементация	Скельні, напівскельні, крупно-і середньонезернисті піски	від 50 до 100	Цементні Цементно-глинисті	Підвищення міцності, стійкості і водонепроникності ґрунту
	Ґрунти будь які, переважно дрібнозернисті і пилюваті піски, супіски	від 0,3 і вище	Розчини на основі тонкодисперсних мінеральних в'язучих (типу Мікродур)	
	Суглинки, глини, супіски	Від 0,3 і вище	Цементно-глинисті	
Струйна цементация	Незв'язні ґрунти (гравій пісок і т.п.) і зв'язні ґрунти (суглинки і глини)	Не регламентується	Цементні	Підвищення міцності, стійкості і водонепроникності ґрунту

продовження табл. 2.18

Способи зміцнення ґрунтів	Характеристики закріплюваного ґрунту		Рекомендований тип і вид ін'єкційного розчину	Призначення розчинів
	Тип ґрунтів	Коефіцієнт фільтрації ґрунту м/діб		
Силікатизація	Скельні тріщинуваті, будь які уламкові, середньозернисті, грубозернисті, дрібнозернисті піски, леси	Від 5 до 80	На основі рідкого скла	Підвищення водонепроникності тріщинуватих, міцності і водонепроникності дисперсних ґрунтів
	Ґрунти будь-які, переважно середньозернисті і дрібнозернисті, пилюваті піски, супіски	Від 0,5 до 20		
Смолізація	Ґрунти будь-які, переважно дрібнозернисті, пилюваті піски, супіски	Від 3 і вище	На основі полімерних смол	Підвищення міцності, стійкості і водонепроникності ґрунту

У свердловини для підйому на поверхню нафти або газу опускають колону металевих труб. Відстань між стінками свердловини і трубами заповнюється цементним розчином (рис. 2.10) з метою запобігання можливих обвалів і руйнувань, закріплення труб і запобігання їх корозії під дією мінералізованих вод.

Окрім того, цементування дає можливість відділити продуктивні пласти від водоносних і запобігти прориву видобувного продукту в затрубний простір.

Тампонажний цементний розчин повинен залишатися рухомим певний час, доки відбувається цементування. Залежно від температури свердловини встановлюються строки тужавлення цементу.

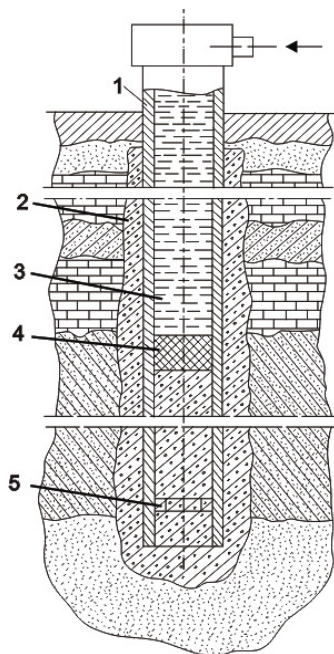


Рис. 2.10. Схема бурової свердловини:

- 1 – обсадна труба; 2 – тампонажний цементний розчин;
- 3 – глиняний розчин; 4 і 5 – верхня та нижня пробки

Тампонажні цементи повинні характеризуватись необхідною міцністю у початкові терміни тверднення. Вона має бути достатньою аби забезпечити закріплення колони у стволі свердловини, її потрібну стійкість при бурінні і перфорації, ефективну ізоляцію.

Цементний камінь повинен бути стійким по відношенню до агресивних пластових вод на глибоких горизонтах і водонепроникним, щоб захистити продуктивні нафтові пласти від пластових вод і обсадну колону від проникнення кородуючих рідин, що містять велику кількість різних солей, а досить часто і сірководень.

В початковий період тверднення цементний камінь повинен мати такі пружно-пластичні властивості, щоб при перфорації свердловин не утворювались тріщини, і разом з тим, достатньо довговічним в умовах, коли йому доводиться протистояти дії не лише агресивних вод, але і високій температурі та тиску. Необхідно враховувати і водовіддачу, яка цілком можлива при наявності пластів, що відсмоктують частину води з цементного розчину. Це помітно знижує водоцементне відношення, що впливає на в'язкість і строки тужавлення цементу. Крім того, суттєве значення має газопроникність цементного каменю, особливо в газових свердловинах.

За речовинним складом тампонажні цементи поділяють на наступні типи:

- тип I – тампонажний портландцемент бездобавочний;
- тип I-G – тампонажний портландцемент бездобавочний з нормованими вимогами при водоцементному відношенні 0,44;
- тип I-H – тампонажний портландцемент бездобавочний з нормованими вимогами при водоцементному відношенні 0,38;
- тип II – тампонажний портландцемент із мінеральними добавками;
- тип III – тампонажний портландцемент із спеціальними добавками, які регулюють густину цементного тіста.

За густиною цементного тіста цемент типу III поділяють на полегшений і обважнений.

За температурою застосування цементи типів I, II і III поділяють на цементи призначені для:

- низьких і нормальних температур (15-50° C);
- помірних температур (51-100° C);
- підвищених температур (101-150° C).

За сульфатостійкістю цементів підносять на:

а) типи I, II, III:

- звичайний (вимоги за сульфатостійкістю не висуваються);

- сульфатостійкий (СС);

б) типи I-G і I-H:

- високої сульфатостійкості (СС-1);

- помірної сульфатостійкості (СС-2).

Речовинний склад цементів всіх типів повинен відповідати значенням, вказаним у табл. 2.19.

Таблиця 2.19

Речовинний склад тампонажних цементів I

Тип цементу	Вміст клінкеру	Вміст добавки	
		Мінеральна добавка	Спеціальна добавка, полегшуюча або обважнююча
I I-G I-H	100	Не допускається	
II	80-94	6-20 ²	-
III	30-89	-	11-70

Примітки: 1. Речовинний склад характеризують вмістом портландцементного клінкеру і добавок без врахування гіпсового каменю, введеного понад 100% маси цементу. 2. Добавок осадового походження не повинно бути більше 10% маси цементу.

Вимоги до фізико-механічних показників, що характеризують властивості тампонажних цементів типів I-III, наведені в табл. 2.20, 2.21, а цементів типів I-G і I-H – у табл. 2.22.

Як випливає з табл. 2.20...2.22 до тампонажних цементів висуваються різноманітні і достатньо жорсткі вимоги. Для цементів цього виду важливо забезпечити високу текучість при мінімальному водовмісті. Розтікання цементного тіста з 50% води повинно складати не менше 180 мм. Занадто висока тонкість помелу цементу і вміст у ньому фракцій менше 5 мм негативно впливають на збереження рухомості розчину в часі.

Таблиця 2.20

Показники фізико-механічних властивостей
тампонажних цементів типів I-III

Показник	Значення для цементу при температурах застосування				
	низьких і нормальних		помірних і підвищених		
	тип I, II	тип III (полегшений)	тип I, II	тип III	
				полегшений	обважнений
Міцність при згині, МПа, не менше, у віці: 1 доба 2 доби	- 2,7	- 0,7	3,5 -	- 1,0	- 2,0
Тонкість помелу: - залишок на ситі №008, %, не більше - питома поверхня, м ² /кг, не менше	12,0 270	10,0 -	15,0 250	12,0 -	12,0 230
Водовідділення, мл, не більше	8,7	7,5	8,7	7,5	10,0
Розтікання цементного тіста, мм, не менше для цементу: - непластифікованого - пластифікованого	200 220	- -	200 220	- -	- -
Час загуснення, хв, не менше	90				

Таблиця 2.21

Показники густини тампонажних цементів типу III

Значення густини цементного тіста для цементів типу III, г/см ³	
Полегшеного	Обважненого
1,40	2,00
1,50	2,10
1,60	2,20
	2,30

Таблиця 2.22

Показники фізико-механічних властивостей тампонажних цементів типів I-G і I-H

Показник	Значення для цементів типів I-G і I-H	
	не менше	не більше
Міцність на стиск, МПа, через 8 год тверднення при температурі 38° С 60° С	2,1 10,3	- -
Водовідділення, мл	-	3,5
Час загуснення, хв	90	120

Початок тужавлення тампонажних цементів повинен наступати не раніше їх закачування у свердловину. З клінкерних мінералів найбільший вплив на швидкість загуснення і тужавлення має трикальцієвий алюмінат. Чим більше C_3A , тим швидше загусає цементний розчин. При рівному вмісті C_3A швидше загусають і тужавіють цементи з великим вмістом аліту.

Тампонажний цемент для «холодних» свердловин виготовляють з клінкеру, що містить $C_3S + C_3A \geq 60\%$, помелом його до питомої поверхні 2700...3500 cm^2/g при дозуванні гіпсу 3...3,5%. Вимоги до мінералогічного складу клінкеру для сульфатостійких тампонажних цементів наведені в табл. 2.23.

Для «гарячих» свердловин випускають цементи, що містять 3...4% C_3A . При такому низькому вмісті трикальцієвого алюмінату можна забезпечити необхідні строки тужавлення цементу при підвищених температурах.

Біоцидні розчини призначені для застосування в приміщеннях, де небажані такі процеси як гниття, бродіння і т.п. (підприємства харчової, біологічної промисловості, водопостачання й ін.)

Для надання біоцидних властивостей розчиновим сумішам вводять органічні добавки: катапін- бактеріцид, катамін, ластанокси(олово-органічні сполуки).

Таблиця 2.23

Мінералогічний склад клінкеру для сульфатостійких
тампонажних цементів

Показники	Тип і сульфатостійкість цементу		
	I,II,III	I-G и I-H	
		CC-1	CC-2
Вміст трикальцієвого силікату C_3S , % не менше не більше		48 65	48 58
Вміст трикальцієвого алюмінату C_3A , % не більше	5	3	8
Сума трикальцієвого алюмінату і чотирикальцієвого алюмофериту (C_3A+C_4AF), %, не більше	22	24*	-

* Сума C_4AF і подвоєного вмісту C_3A .

Біоцидні розчини зберігають здатність чинити опір біологічній корозії протягом 5...10 років у водному середовищі. При підборі складів біоцидних розчинів враховують пластифікуючий, газовиділяючий і повітровтягуючий ефект біоцидних добавок, які відносяться до катіонних поверхнево-активних добавок. Бактерицидні добавки при витраті більше 3 л на 1 м³ розчину можуть знижувати його міцність на 15...25%.

Розчини для захисту від іонізуючих випромінювань. Необхідність біологічного захисту від радіаційних випромінювань є на атомних станціях та інших підприємствах, де працюють ядерні реактори, прискорювачі елементарних частинок, установки по виробництву ізотопів, ядерного палива та ін. Найбільшу проникаючу здатність з усіх видів радіаційних випромінювань мають нейтрони та гамма-промені.

Рентгенівське випромінювання за своїми фізичними властивостями аналогічно гама-випромінюванню.

Розчини для захисту від іонізуючого випромінювання застосовують для влаштування захисних штукатурок в рентгенівських кабінетах, на АЕС, підприємствах, що виготовляють ізотопи і т.п.

Густина *рентгенозахисних розчинів* повинна бути більше 2200 кг/м³, для цього застосовують баритовий пісок або заповнювач з інших важливих порід (магнетит, лімоніт та інш.) із зернами крупністю до 1,25 мм і тонкомелений наповнювач.

Склади баритових розчинів для рентгенозахисних штукатурок, частини об'єму: 1) портландцемент М 400 – 1; вапняне тісто – 0,5; баритовий пісок – 4; вода – до необхідної консистенції; 2) портландцемент М400 – 1, баритовий пісок – 2, баритовий пил – 1, вода – до необхідної консистенції.

Захисні властивості штукатурок покращують, шляхом введення речовин, що містять бор, і добавки, в яких є такі елементи, як водень, літій, кадмій.

Здатність матеріалу поглинати γ -випромінювання пропорційна його густині. Для ослаблення потоку нейтронів в матеріалі, навпаки, повинні бути присутніми елементи з малою атомною масою, як, наприклад, водень.

До матеріалів для захисту від іонізуючих випромінювань відносяться *особливо важкі бетони та розчини*. Для їх одержання використовують важкі природні або штучні заповнювачі: магнетитові, гематитові або лімонітові залізні руди, барит, металевий скрап, свинцевий дріб та ін.

Середня густина (т/м³) особливо важких розчинів на різних заповнювачах:

магнетитові	2,8 ... 4
гематитові	3,3 ... 3,9
баритові	3,3 ... 3,6
з чавунним скрапом	3,7 ... 5

Лімонітовий, магнетитовий і гематитовий заповнювачі виготовляють із залізних руд певного складу. Магнетитові і гематитові заповнювачі отримують подрібненням і розсівом залізних руд, до складу яких входять відповідні мінерали – магнетит (Fe₃O₄) або гематит (Fe₂O₃). Густина магнетитової і

гематитової руди 4,4...4,9 г/см³. Заповнювачем баритового бетону служить барит або баритова руда.

Для отримання надважких розчинів застосовують також дріб з чавуну або сталі, а також різні відходи машинобудівних і металургійних підприємств. З відходів металургії найбільший інтерес представляють прокатні окалини, окалина машинної вогневої зачистки і конвертерні шлаки.

У поєднанні із заповнювачами, що мають високу густину, може використовуватися і звичайний пісок. Густина таких розчинів з комбінованими заповнювачами має проміжні значення.

Для захисних огорожень від одночасного впливу гамма і нейтронного випромінювань застосовують *гідратні бетони та розчини*, що містять важкі заповнювачі, і одночасно підвищений вміст хімічно зв'язаної води. Такі заповнювачі отримують зазвичай на основі лімонітомістких залізних руд і серпентиніту.

Лімоніт – бурий залізняк ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) має густину 3,2...4,0 г/см³. Середня густина розчину з лімонітовим піском – 2,4...2,5 т/м³, з баритовим – 3...3,2, магнетитовим піском 2,9...3,8, металевим скрапом 3,6...5 т/м³.

Серпентиніт – метаморфічна гірська порода, що складається, в основному, з мінералу – серпентину $[\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$. Густина породи 2,4...2,9 г/см³, твердість за шкалою Мооса 2,4...3,5, міцність 40...60 МПа. Для серпентиніту характерний великий вміст хімічно зв'язаної води (10...15% за масою), яка помітно втрачається при температурі понад 450° С. Густина розчинів, приготовлених на серпентинитовому піску, складає 2,2...2,35 т/м³. Кристалізаційна вода, що міститься в лімонітах і серпентинітах, є джерелом утворення водню для уповільнення нейтронів при температурі до 200° С.

З метою поліпшення захисних властивостей розчину від нейтронного випромінювання в його склад вводять добавки, що містять легкі елементи – літій, кадмій, бор, наприклад, карбід бору, хлористий літій, сірчанокислий кадмій та ін. Введення таких добавок у порівняно невеликій кількості (наприклад, карбіду бору 24...37 кг/м³) дозволяє зменшити товщину

захисних екранів і знизити температуру їх радіаційного розігріву.

Із гідратних сполук, що входять до складу цементного каменю, найбільшу кількість хімічно зв'язаної води має гидросульфоалюмінат кальцію – до 45%. Розширені та сульфатно-шлакові цементи, при твердненні яких утворюється значна кількість гидросульфоалюмінату, мають поліпшені захисні властивості. Підвищену захисну здатність мають також глиноземисті цементи, при твердненні яких утворюється, в основному, гідроалюмінат кальцію $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, який при підвищенні температури переходить у $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, а потім у $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Затверділий цементний камінь на основі глиноземистого цементу хімічно зв'язує близько 26...28%, гіпсоглиноземистий 30...32 % води.

Захисні властивості портландцементу поліпшуються також при введенні в його склад сполук, що містять барій та бор.

З нецементних мінеральних в'язучих матеріалів для захисних гідратних розчинів представляють інтерес магнезійні в'язучі, що замішуються розчинами хлористого або сірчаноокислого магнію. При замішуванні каустичного магнезиту або доломіту розчином хлористого магнію утворюються комплексні солі типу оксихлоридів $m\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Подібно оксихлоридам у результаті реакції між MgO і водним розчином MgSO_4 утворюються оксисульфати.

2.5. Полімерні та полімерцементні розчини

Полімерні розчини, мастики, клеї – матеріали, роль в'язучих в яких виконують синтетичні полімери. Вони відрізняються від інших пластмас високим вмістом мінеральних наповнювачів і заповнювачів, їх виготовляють в основному на термореактивних полімерах – фуранових, карбамідних, фенольних, поліефірних, поліуретанових, епоксидних. В значно меншій мірі використовують термопластичні полімери – інден-кумаронові, поліуретанові.

Полімерні розчини в будівництві знаходять застосування як хімічно стійкі матеріали, матеріали для підлог, мастичні та клейові матеріали.

До *фуранових смол* належать продукти конденсації фурфуролу та фурфурилового спирту з фенолами та кетонами.

Як в'яжуче для полімерних розинів і бетонів поширення набув фурфурацетоновий мономер (ФА) - рідина з температурою кипіння 160...240° С, нерозчинна у воді, але розчинна в кетонах і складних ефірах. Затвердіння мономера ФА та інших фуранових смол (ФАМ, 2ФА, 4ФА та ін.) відбувається у присутності сульфокислот (бензолсульфокислоти БСК), сульфохлоридів та ін.

Обов'язковою вимогою до заповнювачів для розчинів на основі фуранових смол є їх тривала стійкість у кислому середовищі, враховуючи присутність в суміші кислого затверджувача. Використання заповнювачів, що реагують з кислотами (вапняки, доломіти, азбест та ін.), недопустиме.

Фенолоальдегідні полімери отримують реакцією поліконденсації фенолу C_6H_5OH з альдегідами (формальдегідом CH_2O , фурфуролом $C_5H_4O_2$, лігніном та ін.). При взаємодії фенолу з формальдегідом залежно від їх мольного співвідношення і характеру каталізатора утворюється два типи полімерів: термопластичні (новолачні) (рис. 2.11) і термореактивні (резольні). Новолачні і резольні стани полімерів можуть бути оборотними.

Новолачні полімери – це тверді продукти від світло-до темно-коричневого кольору, густиною 1200...1220 кг/м³ і з температурою плавлення 100...120° С. Новолаки не тверднуть при тривалому зберіганні і при нагріванні до 200° С. Для переведення їх у неплавкий стан вводять уротропін в кількості 10...15%. Новолачні полімери добре розчиняються в ацетоні, метиловому і етиловому спиртах, не розчиняються в ароматичних вуглеводнях. За тепло- і хімічною стійкістю, деякими іншими властивостями новолачні полімери близькі до резолів і можуть бути перетворені в них обробкою 30...40% -ним розчином формальдегіду, а також введенням затверджувача – уротропіну.

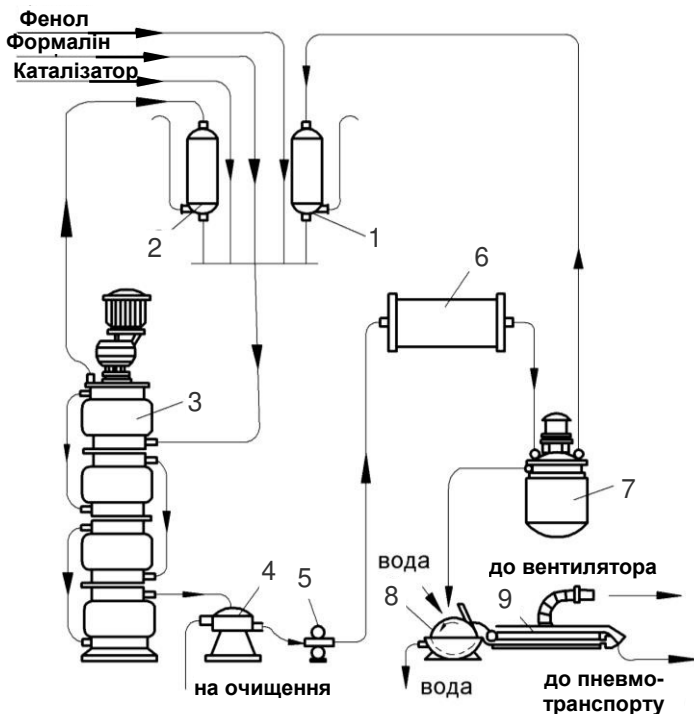


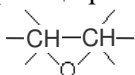
Рис. 2.11. Схема виробництва новолачних полімерів:
 1 – холодильник; 2 – зворотний холодильник; 3 – колона;
 4 – сепаратор; 5 – насос; 6 – сушильний апарат; 7 – приймач;
 8 – охолоджуючий апарат; 9 – стрічковий конвеєр

Резольні полімери у затверділому стані характеризуються більш високими показниками водо- і хімічної стійкості, ніж новолачні.

Поліефірні смоли є продуктами поліконденсації кислот і спиртів, що містять реакційно-здатні подвійні зв'язки між вуглецевими атомами. Тверднуть вони в більшості випадків за допомогою гідроперекису ізопропилбензолу або перекису метилетилкетону та прискорювачів-активаторів (10%-го розчину нафтенату кобальту в стиролі). Найбільш дешевою і доступною є поліефірмаелінатна смола ПН-1.

Карбамідні смоли отримують у результаті поліконденсації сечовини та формальдегіду у водному або водно-спиртовому середовищі. Каталізаторами затвердіння для них є органічні і неорганічні кислоти, деякі солі (хлориди цинку та амонію), а також солянокислий анілін. Останній застосовують найчастіше.

Епоксидні полімери – це речовини, що утворюються при реакції різних органічних сполук, що містять епоксидну групу



з фенолами, спиртами, амінами.

Незатверділі епоксидні полімери – термопластичні токсичні продукти, тверді або у вигляді в'язких рідин, вони добре розчиняються в різних органічних розчинниках, сумісні з карбамідо-, меламіно-, фенолоформальдегідними та поліефірними полімерами. Їм притаманні високі показники адгезійних властивостей.

Процес твердіння епоксидних полімерів може відбуватися при нормальній або підвищеній температурі. Для затвердіння при нормальній температурі застосовують зазвичай добавки амінів (поліетиленполіаміни, етилендіаміни, гексаметилендіаміни та ін.) у кількості 5...10%. З підвищенням температури до 80...100° С затвердіння амінами прискорюється. Амінофенольний затверджувач дає можливість перевести епоксидні полімери у твердий стан за 20 хв.

Для гарячого затвердіння (150° С) використовують, в основному, ангідриди дикарбонових кислот. Кількість затверджувача становить 30...40% маси полімеру.

Показники властивостей полімерів, що тверднуть за допомогою ангідридів вищі, ніж при введенні амінів (табл. 2.24).

Для зниження крихкості епоксидних полімерів їх пластифікують шляхом введення в смоли 15...20% дибутилфталату або інших пластифікаторів.

Як в'язучі для розчинів та інших будівельних композитів широке застосування отримали епоксидно-діанові олігомери. Їх марки ЕД-22, ЕД-20, ЕД-16, ЕД-14, ЕД-10, ЕД-8 встановлені залежно від процентного вмісту епоксидних груп. Смоли марок ЕД-22, ЕД-20, ЕД-16 знаходяться у рідкому стані, ЕД-14, ЕД-10, ЕД-8 – у твердому.

Таблиця 2.24

Властивості епоксидних полімерів

Властивості	Показники властивостей при затвердінні		
	малеїновим ангідридом	метафеніл діаміном	диетилен триаміном
Міцність при стиску, МПа	110-150	100-115	80-110
Відносне видовження при розриві, %	2-3	3-4	1-2
Ударна в'язкість, кДж/м ²	15-18	7-15	5-8
Твердість за Брінеллем, МПа	120-150	120-150	110-120
Теплостійкість за Мартенсом, °С	100-120	80-90	60

Затверділі епоксидні полімери відрізняються від багатьох інших полімерів більш високою міцністю (границя міцності при стиску 100...130 МПа), водо- і хімічною стійкістю, адгезійною здатністю.

Інден-кумаронові полімери – це суміш продуктів полімеризації індену C_9H_8 та кумарону C_8H_6O – безбарвних масляних рідин, які містяться в сирому бензолі, продуктах нафтопереробки та інших видах сировини. Оскільки за властивостями вони близькі і їх важко розділити, то полімер отримують зазвичай із їх суміші.

Показники механічних властивостей цих полімерів порівняно низькі: границя міцності при стиску – 2,0...2,5 МПа, при розтягу – 0,8...1,0 МПа.

Для поліпшення клеючих властивостей інден-кумаронові полімери модифікують полістиролом і поліефірами.

Поліуретани отримують полімеризацією діізоціанатів з багатоатомними спиртами, які містять уретанові групи [-N(R)-

СОО-]. Вони характеризуються високою міцністю і твердістю поряд з еластичністю, масло- і бензостійкістю, високою адгезією до значної кількості матеріалів, радіаційною стійкістю і особливо високим опором до стирання, за яким вони перевищують більшість відомих полімерів.

Варіювання видом вихідних компонентів і їх співвідношенням дає можливість на основі поліуретанів як в'язучої речовини отримувати композиційні матеріали широкого асортименту.

Суттєвий вплив на властивості полімерних розчинів мають дисперсні мінеральні наповнювачі. Наповнювачі здатні до порівняно інтенсивного адсорбування і адгезійної взаємодії з синтетичними полімерами, що відкриває можливості регулювання властивостей матеріалів на їх основі. Для утворення хімічних зв'язків на границі розділу фаз полімер-наповнювач використовують адсорбційне модифікування, тобто зміну молекулярних властивостей поверхні наповнювачів введенням ПАР.

Для кожного виду синтетичного полімеру існують строго визначений ступінь наповнення та величина питомої поверхні наповнювача, що забезпечують максимальну міцність матеріалу.

Такі наповнювачі як андезит, кварцове борошно та ін. взаємодіють з функціональними групами поліефірних смол, утворюючи ковалентні або водневі зв'язки, і сприяють підвищенню міцності.

Розрахунки складів полімерних розчинів можна виконувати, представивши їх як двокомпонентну систему: наповнена полімерна мастика – крупний заповнювач.

Витрата мінімально необхідної кількості полімерного в'язучого для мастики по В.В. Патурову можна знайти за формулою:

$$P_{.M} = \frac{S_n m_n \rho_n \delta}{100}, \quad (2.1)$$

де $P_{.M}$ – витрата полімерного зв'язуючого для мастики, кг;

S_n – питома поверхня наповнювача, m^2/kg ;

m_n – маса наповнювача, кг;

$\rho_{п}$ – густина зв'язуючого, кг/дм³;

δ – товщина плівки зв'язуючого ($\delta \approx 15 \cdot 10^{-7}$ м).

Співвідношення зв'язуюче : наповнювач, обчислене за формулою (2.1), становить 1:1,5...1:2. Мастики з такою кількістю наповнювачів мають максимальну міцність.

За даними різних дослідників міцність полімербетонів на стиск на фуранових, поліефірних і епоксидних смолах коливається в інтервалі 50...125, на згин 15...40 і розтяг 8...16МПа.

Застосовують два способи твердіння полімербетонів: "на холоді", тобто при звичайних температурах і при підігріві до 40...80° С. У першому випадку матеріал досягає необхідної міцності через декілька днів, у другому – вже через кілька годин після укладання. В інтервалі температур до 100° С границя міцності та модуль пружності зменшуються пропорційно підвищенню температури. Для полімерних розчинів на мономері ФА зі збільшенням температури від 20 до 100° С міцність і модуль пружності знижуються на 40%. При подальшому збільшенні температури міцність і модуль пружності зменшуються більш інтенсивно. Істотний вплив на міцність мають вміст затверджувача та умови твердіння полімерного зв'язуючого, тривалість твердіння (рис. 2.12).

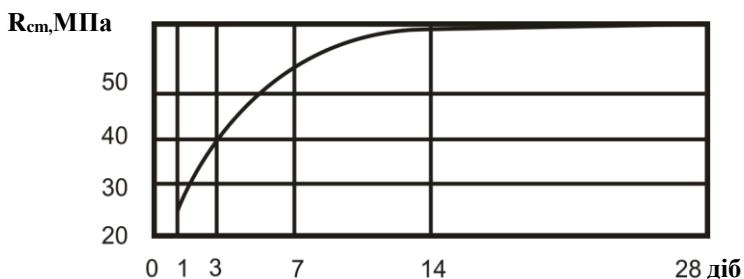


Рис. 2.12. Залежність границі міцності на стиск епоксидного полімерного розчину від часу зберігання (температура 20° С)

Велика відмінність в значеннях коефіцієнта температурного розширення полімеру та мінеральних компонентів (у 5...10 разів) призводить до виникнення значних напружень на границі розділу фаз при зміні температури. Максимальна температура експлуатації виробів та конструкцій з полімерних розчинів 150...180° С.

Мінімально допустимі значення коефіцієнта хімічної стійкості полімерних розчинів у різних агресивних середовищах наведені в табл. 2.25. З підвищенням концентрації кислот коефіцієнт хімічної стійкості полімерних розчинів, зазвичай, підвищується, що можна пояснити зменшенням кількості води в розчинах і, відповідно, зниженням ефекту адсорбційного зниження міцності.

Таблиця 2.25

Мінімально допустимі значення коефіцієнта хімічної стійкості ($K_{x.c}$) полімерних розчинів по відношенню до кислот при 20° С

Вид агресивного середовища	Концентрація середовища, %	Вид зв'язуючих, що застосовуються				
		Фур-фуrol-ацетонова смола ФАМ (ФА)	Фура-ноепок-сидна смола ФА-ЕД-20	Полі-ефірна смола ПН-1	Карба-мідна смола КФ-Ж	Метил-мета-крилат ММА
1. Мінеральні кислоти:						
Азотна	3	-	-	0,5	0,8	0,7
Сірчана	3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	30	0,8	0,5	0,8	-	0,8
	70	0,8	0,3	0,5	-	0,5
Соляна	5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	36	0,8	0,5	0,8	-	0,8
Фосфор-на	5	0,8	0,6	0,8	0,8	-
2. Органічні кислоти:						
Молочна	35	0,8	0,6	0,8	0,5	0,8
Лимонна	10	0,8	0,6	0,8	0,5	0,8
Оцтова	5	0,7	0,6	-	-	0,8

При застосуванні полімерних розчинів необхідно враховувати підвищене тепловиділення, що має місце при твердінні термореактивних смол. Збільшення витрат зв'язуючого до 12...14% у багатьох випадках призводить до появи тріщин.

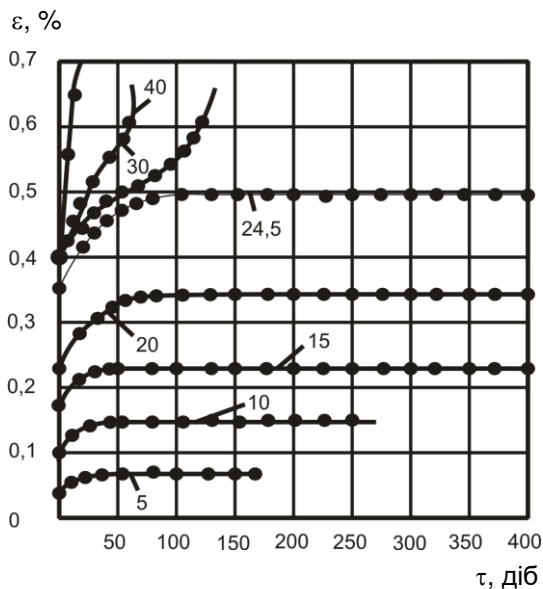


Рис.2.13. Криві повзучості на стиск зразків-призм з полімербетону ФАМ. Цифри на кривих – навантаження, МПа

Коефіцієнти водо- та морозостійкості полімерних розчинів оптимальних складів досягають до 0,85...0,90 відповідно після перебування у воді 1 міс. і через 100 циклів заморожування і відтавання. Практично повністю водостійкими та високоморозостійкими є композиції на основі епоксидних смол.

Позитивними особливостями полімерних розчинів є їх висока зносостійкість та ударна міцність. Опір стиранню полімерних розчинів залежно від виду полімерних зв'язуючих

змінюється від 0,001 до 0,04 г/см². Для полімербетонів на мономері ФА та кварцових заповнювачах він в 2...5 разів, а на гранітних заповнювачах у 20...25 разів вище, ніж для цементного бетону. Ударна міцність полімерних розчинів у 5...10 разів вище, ніж у цементних.

Усереднені показники фізико-механічних властивостей полімерних розчинів на щільних заповнювачах наведені в табл.2.26.

Таблиця 2.26

Усереднені показники фізико-механічних властивостей полімерних розчинів

Фізико-механічні властивості	вид зв'язуючих				
	ФАМ (ФА)	ФАЕД	ПН-1	КФ-Ж	ММА
Міцність, МПа					
при стиску	70...90	90...110	80...100	50...60	70...90
при розтягу	5...8	9...11	7...9	3...4	10...13
Лінійна усадка, %	0,1	0,05...0,08	0,2...0,25	0,2...0,22	0,15...0,20
Водопоглинання за 24 год	0,05...0,03	0,01	0,05...0,03	0,1...0,03	0,01
Термостійкість за Маргенсом, °С	120...140	120	80	100...120	60
Теплопровідність, Вт/(м·°С)	0,55...0,85	0,66...0,68	0,29...0,58	0,44...0,58	0,66...0,85
Морозостійкість, цикли, не нижче	300	500	300	200	500
Коефіцієнт термічного розширення. 1/°С	(12...15) 10 ⁻⁶	(10...14) 10 ⁻⁶	(14...18) 10 ⁻⁶	(13...15) 10 ⁻⁶	(12...16) 10 ⁻⁶
Стіраність, г/см ²	0,018...0,21	0,005...0,1	0,02...0,03	0,06...0,1	-

Є позитивний досвід застосування полімерних розчинів для зносостійкого облицювання гідротехнічних споруд. Цементні бетони без захисних облицювань з чавуну, стали, граніту і т.п. погано протистоять дії донних наносів. Покриття з полімерних розчинів добре зберігаються в надзвичайно важких умовах експлуатації зносо- і кавітаційно-стійких захисних облицювань.

Композиції полімерних в'язучих і дисперсних наповнювачів – *мастики* застосовують для влаштування монолітних(наливних) підлог, як клейові, герметизуючі, шпакльовочні, антикорозійні і футеровочні.

У матеріали, які застосовуються для наливних підлог, вводять дисперсні наповнювачі з розміром частинок менше 0,14 мм, що мають високу хімічну і зносостійкість, а також ряд інших функціональних добавок (пластифікатори, отверджувачі та ін.).

Полівінілацетатні мастичні покриття влаштовують у виробничих приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти і еластичності підлоги. Типові склади полівінілацетатних мастик приведені в табл. 2.27.

Склад полівінілацетатних мастик, мас.ч.:

	Грунтовка	Вирівнюючий шар	Лицьовий шар
Полівінілацетатная дисперсія ПВАД	1	1	1
Мінеральний порошок	–	–	2
Пісок	–	4	–
Пігмент мінеральний	–	0,01...0,03	0,02...0,04
Вода	9	0,3...0,35	0,40...0,45

В якості мінерального порошка служать тонкомелені кам'яні матеріали світлого забарвлення (маршаліт, мелений кварцевий пісок та ін.) з питомою поверхнею 200...250 м²/кг, границею міцності на стиск не менше ніж 60 МПа і крупністю частинок не більше ніж 0,15 мм. У порошок не повинно бути грудочок, глинистих, органічних і інших домішок. Вологість порошку обмежується 3%. У вирівнюючих сумішах застосовують кварцевий пісок крупністю 0,2...0,3 мм. Забарвлюють мастики світлостійкими

мінеральними пігментами: редоксайдом, оксидами хрому, вохрою, залізним суриком та інш. Перед використанням пігменти перетирають у фарботерці з невеликою кількістю води.

Полівінілацетатну мастику готують при температурі не нижче 10° С у розчинозмішувачах. Спочатку заливають полівінілацетатну дисперсію, воду, засипають необхідну кількість сухих пігментів, просіяних крізь сито з розміром отвору 1,25 мм, і мінеральний порошок. Суміш перемішують впродовж 5 хв, перевіряючи в'язкість мастики. Готову мастику проціджують крізь сито з отворами 0,6 мм. Утворену на поверхні мастики піну після 15...20 хв її відстоювання знімають.

Мастику слід використовувати протягом 5...6 год. при температурі повітря 10...15° С, і 2...3 год – при 20...25° С. Розбавляти мастику, що затужавіла, водою або полівінілацетатною дисперсією не можна.

Полівінілацетатні покриття виконують по підстилаючому шару з бетонної суміші або цементно-піщаного розчину марки не менше М150. Вологість цього шару не повинна перевищувати 5%. Поверхня підстилаючого шару повинна бути рівною і чистою.

Полівінілацетатну мастику наносять фарборозпилювачем шарами 1...1.5 мм завтовшки. Наступний шару наносять після тужавлення раніше нанесеного і знепилювання його поверхні.

Кожен шар покриття повинен тужавіти в сухих умовах, що виключають попадання вологи і пилу. У готових покриттях не повинно бути тріщин, вибоїн, раковин. Колір підлоги повинен бути однорідним.

Через три доби після нанесення останнього шару полівінілацетатні покриття шліфують, очищають від пилу і покривають лаком два-три рази.

Латексні мастичні покриття підлог отримують з суміші латексу – водної дисперсії колоїдних каучукових частинок, стабілізованої поверхнево-активними речовинами, мінерального порошку, світлостійкого пігменту, спеціальних добавок (стабілізатора або модифікатора) і води.

В процесі приготування мастики змішувач спочатку завантажують латексом, стабілізатором або модифікатором і

водою і перемішують впродовж 30 с. Потім додають пігментну пасту і знову перемішують 30 с. Після цього при працюючому змішувачі завантажують наповнювачі і перемішують ще 2 хв. до отримання однорідної маси однотонного забарвлення. Загальна тривалість перемішування мастики складає близько 5 хв.

Покриття з латексних мастик виконують при температурі в приміщенні не нижче 10° С і вологості нижнього шару не більше 5%.

Для заробки стиків будівельних конструкцій, плит дорожніх і аеродромних покриттів, труб, ущільнення швів резервуарів та інших споруд застосовують *герметизуючі мастики* (рис. 2.14). Якість герметизуючих мастик (герметиків) залежить від їх адгезійної здатності, проникності, стійкості до агресивних факторів навколишнього середовища. Мастичні герметики випускають трьох видів: нетвердіючі, холодного і гарячого затвердіння. З нетвердіючих герметиків поширені мастики на основі поліізобутилену. До складу мастик входять поліізобутилен, мінеральне масло, тонкомелене кам'яне вугілля та інші наповнювачі.

З герметизуючих мастик холодного затвердіння поширені мастики на основі тіоколів (полісульфідних каучуків). Їх поставляють зазвичай у вигляді окремих складових частин – герметизуючої і вулканізуючої паст і прискорювача. Після змішування компонентів в необхідній пропорції мастики вулканізуються і перетворюються в гумоподібний матеріал. До мастик гарячого затвердіння відносяться бутилкаучукові, силіконові, епоксидні, бітумно-полімерні мастики.

Для кращого заповнення зазорів і збереження теплозахисних властивостей огорожень поряд зі звичайними застосовують вспінювальні і розширювальні герметики.

Шпаклювальні мастики застосовують для вирівнювання і усунення дефектів (тріщин, раковин, пор) в поверхнях матеріалів, призначених для подальшої обробки. Мастики цього виду, крім необхідних адгезійних властивостей, повинні мати здатність добре заповнювати зазори, не давати усадку при затвердінні, утворювати рівну тверду поверхню, що володіє необхідними адгезійними властивостями. Одним з кращих

полімерних в'язучих для шпаклювальних мастик є епоксидні смоли. Підвищену теплостійкість (до 180° С.) в порівнянні з епоксидними володіють поліуретанові мастики. Для вирівнювання бетонних і дерев'яних поверхонь під фарбування застосовують перхлорвінілові, гліфталові і інші мастики.

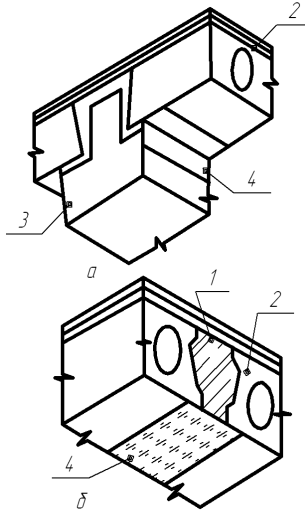


Рис. 2.14. Герметизація стиків елементів перекриття:
 а – герметизація місць опирання панелей перекриття на ригель; б – герметизація стиків плит перекриття;
 1 – цементно-піщаний розчин; 2 – панель перекриття;
 3 – ригель; 4 – мастика.

Для захисту хімічних ємностей, апаратів, трубопроводів, стін і підлоги в умовах впливу агресивних середовищ застосовують *антикорозійні* і *футеровочні* мастики. Склад таких мастик вибирається з урахуванням конкретних умов роботи для об'єкту, що захищається, особливостей агресивного середовища.

Полімерні клеї, на відміну від мастик, характеризуються меншою в'язкістю і меншим вмістом наповнювачів.

Полімерні клеї в будівництві використовують для з'єднання конструкційних матеріалів і окремих деталей збірних виробів (балки, віконні блоки, стінові і покрівельні панелі,

щитові двері і т.п.). Їх застосовують також при обробці будівель сучасними декоративно – оздоблювальними матеріалами, для монтажу і ремонту санітарно – технічних систем та ін.

Склеювання матеріалів засноване на адгезії - здатності до прилипання двох різнорідних рідких або твердих тіл в результаті міжмолекулярної взаємодії.

Склад і властивості деяких характерних клеїв на основі термопластичних і термореактивних полімерів наведений в табл. 2.27.

Таблиця 2.27

Склад і властивості деяких синтетичних клеїв

Клей	Склад, % за масою	Технічна характеристика
Полівінілхлоридний	Полівінілхлорид – 10 Метиленхлорид – 61,5 Циклогексанон – 13,5 Каолін – 15	Границя міцності на зсув через 3 сут – 0,44...0,5 МПа
Латексний	Латекс СКС-65ГП-92 Сульфат натрія – 3 Каолін – 15	Границя міцності на відрив через добу 0,2...0,34 МПа, через 10 діб – 0,55 МПа
Клей "Бустилат-Н"	Карбоксиметилцелюлоза – 2,3 Латекс СКС-50 або СКС-65ГП – 15,7 Крейда – 13...18 Сіль – 4,9 Вода – 100	Границя міцності на зсув через 3 діб. – 0,15...0,3 МПа
Клей АДМК	Акрилова дисперсія- 20 Карбоксиметилцелюлоза – 10 Розчин каніфолі в ксилолі – 10 Розчин соди – 10 Каолін – 50	Границя міцності на відрив через 24 год. - не менше 0,15 МПа

продовження табл.2.27

Клей	Склад, % за масою	Технічна характеристика
Клей К-17	Карбамідоформальдегід на смола – 82 Деревне борошно – 5 10%-ний розчин щавелевої кислоти – 13	Границя міцності на відрив через 10 діб. – не менше 0,5 МПа

Крім основного компонента – синтетичного полімеру – до складу клеїв можуть вводитися наповнювачі у вигляді тонкодисперсних або волокнистих мінеральних і органічних речовин. Наповнювачі вступають в контакт з функціональними групами полімерів, адсорбуються на їх поверхні і утворюють найтонші оболонки з упорядкованою структурою макромолекул. Введення наповнювачів дозволяє компенсувати внутрішні напруження в клейових прошарках, зменшити їх усадку, регулювати в'язкість, електро- і теплопровідність і зменшити вартість клеїв. З природних мінеральних наповнювачів найбільш часто застосовують кварцові піски і крейду. Ефективними штучними наповнювачами є алюмінієва пудра і портландцемент. Як наповнювачі застосовують також тонкомелене кам'яне вугілля, деревне борошно та ін.

До складу клейових композицій при необхідності вводять також розчинники, пластифікатори, отверджувачі, вулканізуючі агенти, інгібітори і стабілізатори. Як розчинники клеїв зазвичай застосовують ацетон, етиловий спирт, метиленхлорид, дихлоретан, уайт-спірит та інші органічні речовини. Оскільки наявність розчинника призводить до пороутворення при твердінні, зниження міцності і герметичності клейового прошарку, його вміст в клейових складах приймається мінімально можливим.

При значному вмісті наповнювачів і підвищеній в'язкості клейові композиції відносять до мастик. Якщо витрата клеїв становить 0,1...0,4 кг/м², то витрата склеювальних мастик становить 1...1,5 кг/м². Залежно від температури при застосуванні мастики ділять на гарячі і холодні.

З склеювальних мастик набули поширення мастики на основі інден-кумаронових, епоксидних, поліефірних, фурилових і інших полімерів. Застосовують також мастики на основі бітумно-полімерних зв'язуючих.

Полімерцементні розчини – композиційні матеріали, основу яких складає цементна матриця з розподіленим в ній полімером.

Розчини, модифіковані полімерною добавкою, отримують перемішуванням усіх компонентів із введенням полімерів або мономерів у виді водних розчинів, дисперсій і в порошкоподібній формі. При необхідності в розчинову суміш вводять добавки – стабілізатори для запобігання коагуляції полімерних дисперсій. При цьому полімери зі стабілізаторами вводять у воду замішування, а потім у розчинову суміш. При введенні водорозчинних полімерів додають необхідну кількість отверджувачів. Мономери, що містяться у розчинах при їх твердненні полімеризуються.

Найбільш загальну схему механізму модифікації цементних систем полімерними добавками запропонував І. Охама, хоча є значна кількість досліджень, у яких зроблені спроби запропонувати інші механізми взаємодії цементних систем з полімерними добавками. Відповідно до цієї схеми (рис.2.15) виділяються три фази тверднення полімерно-цементних сумішей:

1) диспергування полімерних частинок у цементному тісті й осідання їх на поверхні цементного гелю і непрореагованих частинок цементу;

2) заповнення полімерними частинками капілярних пор, їх коагуляція з утворенням ущільненого шару;

3) зв'язування частинок ущільненого полімеру на продуктах гідратації цементу в безперервні плівки або мембрани та утворення з цементним гелем загальної матричної фази.

Кількість полімеру, що створює безперервну фазу, визначається, в основному, величиною частинок. Так, для латексу, що має розмір часток 0,8...1 мкм оптимальне полімерцементне відношення (П/Ц) дорівнює 0,1, а для полівінілацетатної дисперсії (ПВАД) з величиною частинок 2...5мкм П/Ц=0,15...0,2.

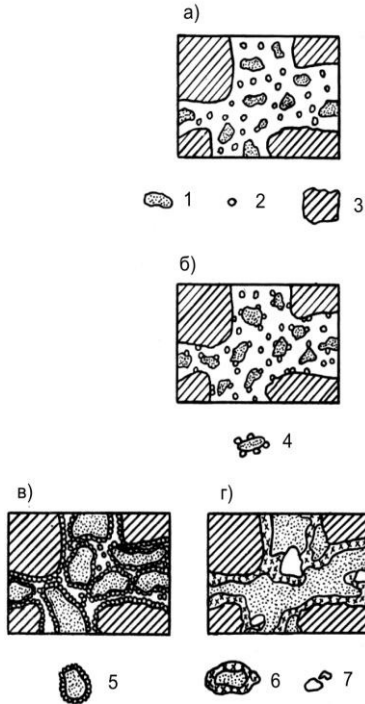


Рис. 2.15. Спрощена модель утворення полімерно-цементної матриці (за Охамою):
 а – відразу після змішування; б – перша фаза; в – друга фаза;
 г – третя фаза (затверділа структура);
 1 – негідратовані цементні частинки; 2 – полімерні частинки;
 3 – заповнювачі (проміжний простір заповнено водою);
 4 – суміші негідратованих частинок цементу і цементного гелю, на яких частково осаджуються полімерні частинки;
 5 – суміші цементного гелю і негідратованих частинок цементу, оточених щільно упакованим шаром полімерних частинок;
 6 – гідрати цементу, оточені полімерними плівками або мембранами; 7 – втягнуте повітря

Деякі полімерні добавки хімічно взаємодіють із продуктами гідратації цементу. Так, полігідросилоксани взаємодіють із $\text{Ca}(\text{OH})_2$, при цьому виділяється водень.

Більшість полімерних добавок у т.ч. полівінілацетатна дисперсія і латекси сповільнюють швидкість формування структури цементного каменю. Добавки водорозчинних полімерів сповільнюють структуроутворення лише в початковий період гідратації. Надалі процеси кристалізації протікають швидше, ніж у цементному тісті без добавок. Встановлено, що в присутності водорозчинних смол алюмінати кальцію утворюють комплексні сполуки, змінюючи кінетику структуроутворення. Смоли сприяють утворенню низькоосновних гідросилікатів і кристалізації продуктів гідратації цементу.

Полімерцементні суміші готують на звичайному змішувальному устаткуванні. Їх вкладають при температурі вище 5°C і нижче 30°C . При введенні добавок латексів оптимальні властивості розчинів досягаються при поєднуванні вологого і сухого витримування. При такому комбінованому режимі враховується необхідність підвищеної вологості для оптимального тверднення цементу і забезпечення необхідної витримки при сухих умовах для оптимального тверднення полімерної фази. Тривалість тверднення модифікованих розчинів може бути прискорена нагріванням, однак пропарювання не рекомендується.

Легкоукладальність полімерцементних сумішей залежить від виду і кількості полімерної добавки. Так, введення в розчини полівінілацетатної дисперсії до 8% чинить пластифікуючу дію, при більшій її кількості в'язкість сумішей зростає.

При низьких полімерцементних відношеннях вододисперговані і водорозчинні полімери, як правило, виявляють пластифікуючу і повітрявтягуючу дію. Модифіковані цементні суміші суттєво відрізняються від звичайних підвищеною водоутримуючою здатністю, що збільшується з ростом полімерцементного відношення. Це дає можливість значно поліпшити легкоукладальність, досягати доброго зчеплення з пористими основами.

Рухомість полімерно-цементних сумішей збільшується як зі збільшенням водоцементного, так і полімерцементного відношення. У більшості модифікованих складів спостерігається

значне повітрявтягування через дію ПАР, що містяться в полімерних добавках у виді емульгаторів і стабілізаторів. Для запобігання зайвої кількості втягнутого повітря, що викликає зниження міцності, до складу добавок вводяться піногасники.

Порівняно зі звичайними полімерцементні розчини суміші характеризуються значно більшої водоутримуючою здатністю, чому сприяють колоїдні властивості полімерів. Водоутримуюча здатність модифікованих розчинових сумішей зростає зі збільшенням полімерцементного відношення.

Тужавлення цементу в сумішах, модифікованих полімерною добавкою, зазвичай сповільнюється в міру збільшення полімерцементного відношення особливо при наявності в полімерах добавок ПАР, що гальмують процеси гідратації.

Підвищення міцності цементних розчинів на розтяг і згин, а також їх деформативності – один з головних результатів дії полімерних добавок. При введенні добавок полівінілацетату і латексів можливе збільшення міцності розчинів при згині в 2...3 рази. Збільшення міцності на розтяг при згині досягає максимуму при додаванні полівінілацетатної дисперсії(ПВАД) в кількості до 20% від маси цементу. Ефект збільшення міцності пояснюється тим, що молекули полівінілацетату, які мають довжину близько 1 мкм, обволікають часточки цементного каменю, притягуючись до них силами адгезії. При розтягуванні плівки полімеру, між якими діють сили міжмолекулярного зчеплення, активно включаються в роботу, що і обумовлює ефект підвищення міцності розчину. При оптимальному вмісті добавки полімерні плівки не лише обволікають часточки цементного каменю, але і заповнюють пори.

Для полімерцементних композитів відзначається також ріст граничної розтяжності (рис. 2.16) і зчеплення з арматурою. Так, введення ПВАД як добавки до розчинів підвищує розтяжність до 2 разів. Однак цей ефект відчувається лише в повітряно-сухих умовах тверднення. На відміну від ПВАД добавки водорозчинних смол позитивно впливають на розтяжність як при сухих, так і при водних умовах тверднення, хоча величина цього ефекту менш значна.

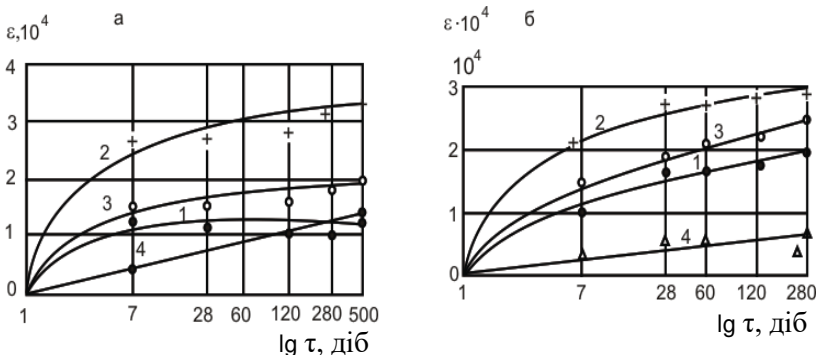


Рис. 2.16. Зміна граничної розтяжності цементних розчинів з добавками водорозчинних смол:
 а – вологість 40...50%, б – тверднення у воді, 1 – розчин без добавок; 2 – розчин з добавкою 2% смоли №89; 3 – те ж саме, ТЕГ-1; 4 – 16,6% ПВАД

Міцність при зсуві, що характеризує клеючу здатність розчинів при введенні полімерних добавок, збільшується в 3...8 разів. Істотним також є збільшення ударної міцності, стійкості до стирання, водонепроникності і корозійній стійкості.

Полівінілацетатцементний розчин, що зберігався в умовах 50%-ної вологості при полімерцементному відношенні (П/Ц) 0,05 має в 3 рази більшу стійкість до стирання, ніж звичайний розчин. При П/Ц=0,1 і П/Ц=0,2 цей показник відповідно зростає в 12 і 20 разів.

В сухих умовах тверднення з підвищенням П/Ц багаторазово зростає також міцність склеювання.

Залежно від виду полімерів і полімерцементного відношення для модифікованих розчинів змінюються деформації розтягу, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона (рис. 2.17).

Для цементних композитів, модифікованих ПВАД, усадка більша ніж для немодифікованих, що обумовлено випаровуванням великої кількості води, адсорбованої полімерною добавкою. При полімерцементному відношенні 0,15 для розчину з добавкою ПВАД усадка приблизно на 25% вища

усадки звичайного розчину. У той же час, введення ряду латексних добавок призводить до зменшення деформацій усадки в результаті дії ПАР, що містяться в них. Добавки водорозчинних смол також помітно знижують деформації усадки та набрякання.

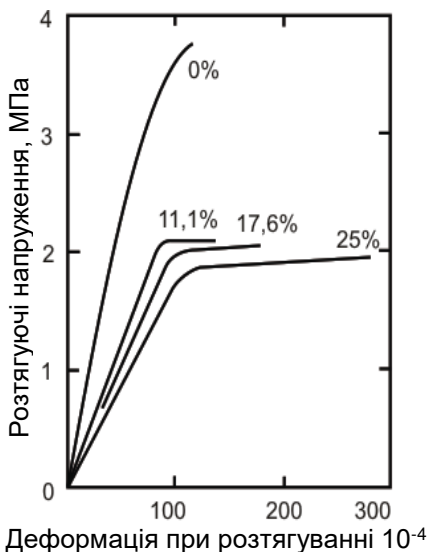


Рис. 2.17. Криві "деформації – розтягуючі напруження" при різному вмісті полімерної добавки для розчину, модифікованого латексом бутадієн-стирольного каучуку

Зниження пористості і заповнення пор полімерами, а також втягненням повітрям приводить до підвищення морозостійкості і водонепроникності.

Особливості структури полімерцементних розчинів обумовлюють зниження водопоглинання і паропроникності. Матеріали, модифіковані полімерними добавками як правило, мають більш високу водонепроникність.

Полімерцементні матеріали з застосуванням водних дисперсій полімерів мають зазвичай меншу водостійкість ніж цементні й їх міцність знижується при високій вологості.

Зниження міцності полімерцементних розчинів у воді залежить від виду полімерів. Так полімерцементні розчини з полівінілацетатною дисперсією у віці 28 діб знижують міцність на згин до 30%. У той же час міцність розчинів після висихання наближується до початкової. Надлишкове зволоження викликає набрякання гідрофільних полімерів у структурі модифікованих матеріалів і перешкоджає прояву сил адгезії.

На противагу водним дисперсіям полімерів водорозчинні смоли зміцнюють цементні розчини не лише при твердненні в повітряно-сухих, але в ще й в більшій мірі у воді (рис. 2.18). В порівнянні зі звичайними, модифіковані матеріали характеризуються підвищеною міцністю зчеплення з різними основами. Майже десятикратне збільшення зчеплення зі звичайним цементним розчином спостерігається для розчину, модифікованого латексом синтетичного каучуку, при полімерцементному відношенні 0,2. Приблизно в стільки ж разів зростає і опір при ударі. Опір стиранню збільшується в 20...50 разів у порівнянні з немодифікованим розчином.

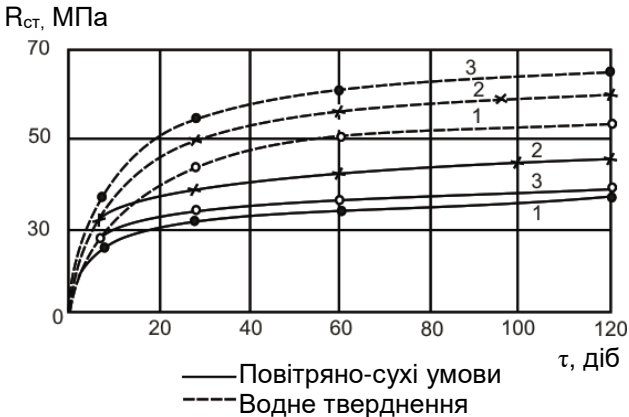


Рис. 2.18. Вплив водорозчинних смол на міцність при стиску ($R_{ст}$) розчинів, які тверділи в різних умовах:
 1 – без добавок; 2 – з добавкою 2% епоксидної смоли ТЕГ-17;
 3 – те ж саме, смоли №89

Хімічна стійкість полімерцементних матеріалів залежить від природи полімерів, полімерцементного відношення і властивостей агресивних хімічних речовин. Модифіковані полімерами розчини відрізняються хімічною стійкістю по відношенню до ефірів і масел.

Більшість модифікованих розчинів втрачає до 50% і більше міцності при температурі, що перевищує 50° С. Найбільш значне зниження міцності спостерігається при температурі деструкції полімерів (як правило, 80...100° С). При температурі 100...150° С міцність полімерцементних розчинів практично не відрізняється від міцності немодифікованих розчинів. В міру збільшення полімерцементного відношення зменшується стійкість розчинів до нагрівання.

Область застосування полімерцементних матеріалів у будівництві є достатньо широкою. При виборі області застосування полімерцементних розчинів враховують їх специфічні властивості та переваги. Деякі з напрямків застосування розчинів, модифікованих, наприклад, латексами, приведені в табл. 2.28.

Таблиця 2.28

Області застосування розчинів, модифікованих латексом

Група матеріалів	Призначення матеріалів
Покриття підлог	Підлоги для будинків загального призначення, мостів, складів, адміністративних приміщень, магазинів, та ін.
Дорожні та зносостійкі покриття	Переходи, сходи, залізничні платформи, дорожні покриття
Клеючі композиції	Розчини для наклеювання оздоблювальних, теплоізоляційних і інших матеріалів, а також з'єднання нового бетону зі старим
Антикорозійні матеріали	Каналізаційні труби, підлоги хімічних заводів, розчини для кислотостійких плиток, підлоги для хімічних лабораторій, аптечних складів

Широке застосування полімерцементні матеріали отримали для влаштування монолітних підлог будинків різного призначення, що пояснюється їх високою міцністю при згині, опором ударним впливам, низькою стиранистю та стійкістю до хімічних впливів. Застосовуючи білі й кольорові цементи, можна отримувати підлоги, що поєднують високі фізико-механічні властивості та необхідну декоративність.

Полімерцементні розчини знаходять застосування при влаштуванні і ремонті верхнього шару дорожніх і аеродромних покриттів, а також покриттів платформ, перонів, мостів.

Нааявний великий позитивний досвід отримання гідроізоляційних антикорозійних і оздоблювальних композитів на основі полімерцементних розчинів, клеїв і мастик. В останні роки все більш широко застосовують полімерцементні матеріали у виді сухих будівельних сумішей різного призначення.

3. Сухі будівельні суміші

3.1. Загальні відомості

Сучасне будівництво характеризується все більш широким застосуванням сухих будівельних сумішей – ретельно віддозованих і перемішаних в заводських умовах розчинових сумішей, які замішуються водою на будівельному майданчику.

При виробництві будівельних робіт ефективність сухих сумішей виявляється у високому рівні механізації, істотному скороченні термінів будівництва, зниженні трудомісткості і виробничих витрат, забезпеченні високої якості. Очевидні переваги сухих сумішей перед звичайними розчинами за такими показниками як зниження витрат на перевезення, спрощення технології приготування розчинів на будівництві, можливість централізованого виготовлення в заводських умовах, що забезпечує сталість їхнього складу, заданий рівень властивостей.

Транспортувати сухі суміші можна як при додатніх, так і при від'ємних температурах без обмежень по дальності. Сухі суміші можуть використовуватися на будівельному об'єкті дрібними порціями, зберігатися достатньо тривалий час без погіршення при цьому своїх властивостей.

Сухі будівельні суміші класифікують (рис.3.1) за:

- основним призначенням (видом робіт);
- видом в'язучого в суміші;
- ступенем модифікації суміші добавками;
- найбільш характерною властивістю в затверділому стані;
- умовами використання.

Сухі суміші здавна використовували в будівельних роботах. Зокрема знайшли використання так звані "гарцовки" (суміші цементу та кварцового піску з вапном), окремі види шпаклівок, однак нове народження цього виду будівельних матеріалів пов'язано із створенням системи функціональних добавок для надання будівельним розчинам спеціальних властивостей. В останні 10-20 років були синтезовані цілі групи добавок, які забезпечують будівельним розчинам високу

пластичність водоутримуючу здатність, задані реологічні характеристики, необхідну пористу структуру та ін. Використання таких добавок в безводній формі є необхідною умовою виробництва сухих будівельних сумішей та їхнього використання в різних галузях будівництва.

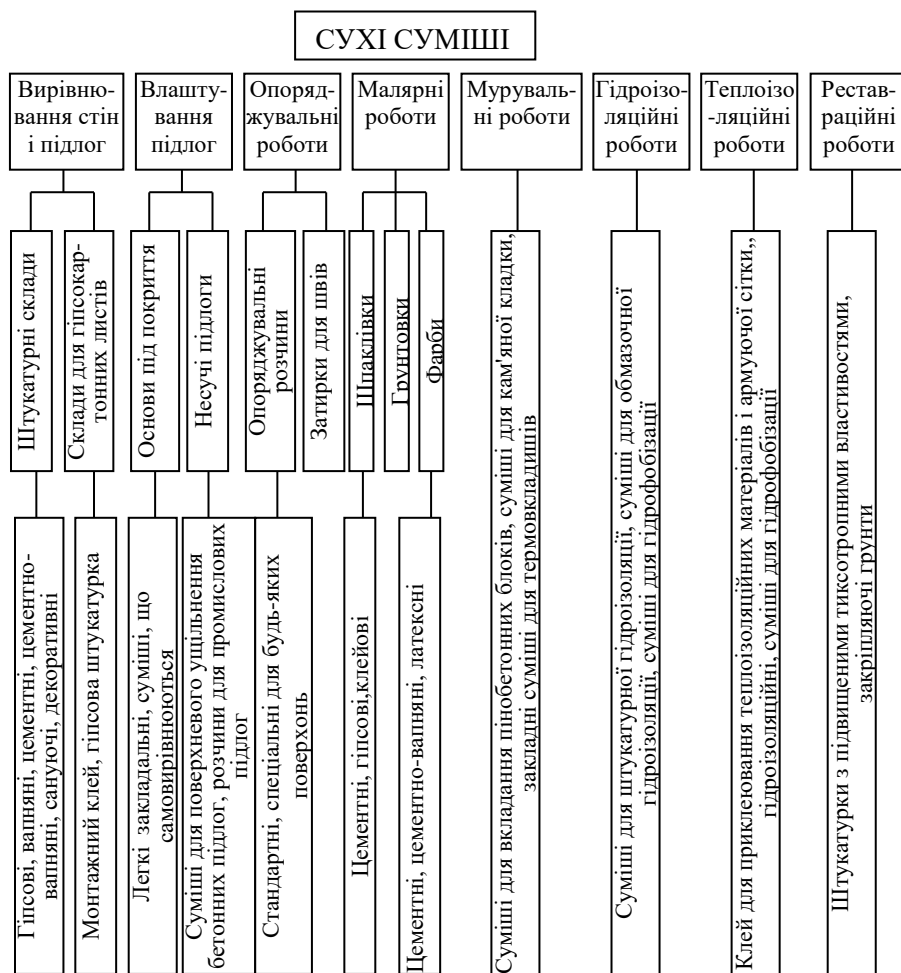


Рис. 3.1. Класифікація сухих сумішей

За призначенням розрізняють мурувальні, лицевальні, шовні, шпаклювальні, штукатурні, клейові, герметизуючі суміші та ін.; за видом основного в'язучого - гіпсові, ангідритові, вапняні, магнезійні, цементні, цементно-вапняні, полімерні та ін.; за ступенем модифікації - економічні, стандартні, високоякісні; за характерною властивістю в затверділому стані - адгезійні, атмосферостійкі, швидкотверднучі, водонепроникні, морозостійкі, високоміцні, такі, що саморозтікаються, еластичні та ін.; за умовами використання - ручного і машинного нанесення, для пористих матеріалів і т.д.

Однакова суміш нерідко може бути використана при виконанні різних видів робіт.

Сухі суміші, які містять в своєму складі в'язучі одного типу, називають простими, змішані в'язучі - складними.

Поряд з в'язучими і заповнювачами в сухі будівельні суміші вводять наповнювачі - порошкоподібні або волокнисті матеріали, що застосовуються для економії в'язучих, поліпшення і регулювання властивостей розчинів.

Мінеральні наповнювачі в цементних системах умовно поділяють на активні і інертні. До *активних* відносять дисперсні мінеральні речовини, здатні взаємодіяти з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі клінкерних мінералів (активні мінеральні добавки). До активних наповнювачів відносять також карбонатні порошки, які взаємодіють з алюмінатною фазою цементу з утворенням комплексних сполук типу гідрокарбоалюмінатів. У світлі сучасних теоретичних уявлень про структуроутворення цементних систем мінеральні наповнювачі, які не беруть безпосередньо в хімічну взаємодію з продуктами гідратації цементу неточно називати інертними. Вони також активно впливають на фізико-хімічні процеси структуроутворення і синтез властивостей розчинів і бетонів.

Більш прийнятною є класифікація мінеральних наповнювачів залежно від ступеня їх активності по відношенню до продуктів гідратації цементу. Відповідно до цієї класифікації наповнювачі ділять на 4 групи:

I група - повільно твердіючі дисперсні матеріали (основні шлаки, золи та ін.);

II група - мінеральні порошки, які хімічно взаємодіють з продуктами гідратації цементу (кислі золи і шлаки, мікрокремнезем, метакаолин та ін.);

III група - дисперсні матеріали, що характеризуються низькою реакційною активністю з питомою поверхнею 400 ... 500 м² / кг (андезити, сиеніти, діабазити, граніти);

IV група - реакційно неактивні наповнювачі (піролюзит, деякі оксиди металів та ін.).

Ця класифікація також є умовною і справедливою при дисперсності порід, що не перевищує 600 м² / кг. Вона так само, як і попередня, враховує тільки хімічну активність, не беручи до уваги такий важливий показник активності наповнювача як величину його поверхневої енергії, яка визначає міцність адгезійних контактів в системі цемент-наповнювач. Згідно термодинамічної концепції адгезії для створення міцних адгезійних контактів поверхнева енергія наповнювача повинна бути більше поверхневої енергії цементу.

Вплив дисперсних наповнювачів в цементних системах проявляється на мікро-, мезо- і макрорівнях.

На *мікрорівні* проявляється молекулярна взаємодія продуктів гідратації цементу з наповнювачем. Хімічно активні кремнеземисті наповнювачі в результаті реакції з Са (ОН)₂ – продуктом гідролізу клінкерних мінералів утворюють додаткові кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію. Карбонатні наповнювачі утворюють комплексні сполуки з гідроалюмінатами і вступають в обмінні реакції з гідросилікатами кальцію. Сутність фізико-хімічної взаємодії наповнювачів з гідратованим цементом полягає у формуванні епітаксильних контактів, а також центрів кристалізації.

На *мезорівні* частинки наповнювача взаємодіють як з частинками гідратуючого цементу, так і між собою. В результаті збільшення об'ємної концентрації твердої фази частина води замішування переходить в плівковий стан і створюються т.зв. "стиснені умови", що позитивно позначається на формуванні структури цементного каменю.

На *макрорівні* наповнювач істотно впливає на адгезійну міцність між цементним тістом і заповнювачем, а також

когезійну міцність матричної складової цементних композитів і їх щільність. Зменшуючи міжзернові відстані в бетонах і розчинах, наповнювачі можуть істотно збільшувати міцність контактної зони, що позитивно впливає на міцність матеріалів в цілому.

В сухих сумішах знаходять також застосування і органічні волокнисті наповнювачі: поліпропіленові, акрилонітрильні, целюлозні та ін. Вони впливають на міцнісні характеристики матеріалів, підвищують їхню тріщиностійкість, знижують усадку.

Регулювання будівельно-технологічних і експлуатаційних властивостей сухих сумішей досягається введенням різноманітних хімічних добавок, які можна об'єднати в групи:

- пластифікатори та суперпластифікатори;
- водоутримуючі;
- загущуючі;
- покращуючі адгезію;
- регулюючі фізико-механічні характеристики (опір зсуву, міцність на стиск на згин та ін.);
- регулюючі строки тужавлення;
- знижуючі усадочні деформації;
- підвищуючі атмосферостійкість та морозостійкість (для фасадних матеріалів);
- такі, що надають матеріалу гідрофобні властивості.

За хімічною природою це можуть бути продукти як неорганічного, так і органічного синтезу: мінеральні соли, редисперговані полімерні порошки, ефіри целюлози, ефіри крохмалю, поверхнево-активні речовини (ПАР) та ін. Як правило, для забезпечення заданого рівня властивостей цільового призначення суміші необхідна одночасна присутність добавок різної природи.

Для сумішей, що наносяться тонким шаром на пористі поверхні, важливо забезпечити необхідну водоутримуючу здатність. Швидке поглинання води основою не тільки приводить до втрати матеріалом пластичності, але і є причиною недостатньої гідрації в'язучого, зниження міцності, адгезії і

морозостійкості. Модифікування сухих сумішей для поліпшення їхньої водоутримуючої здатності, пластичності, життєздатності досягається введенням добавок на основі складних ефірів целюлози, гідроксietил- і гідроксипропілметилцелюлози в кількості 0,05-0,5%.

Знаходить широке використання *метилцелюлоза* – метиловий ефір целюлози, добре розчинний в воді до густини розчину 1,29-1,31г/см³, з насипною густиною 0,3-0,5г/см³. При набряканні в воді об'єм метилцелюлози збільшується в десятки разів. Макромолекули метилцелюлози навіть в розбавлених водних розчинах схильні до агрегації. Водні розчини стабільні при рН від 2 до 12. В водних розчинах метилцелюлоза має гарні поверхнево-активні властивості, при нагріванні до температури 35-36 С спостерігається желатинізація. Зі зниженням температури до температури желатинізації гель руйнується. Метилцелюлоза здатна зберігати свої властивості після розчинення в воді, повторного висушування і диспергування.

Для підвищення водоутримуючої здатності сухих сумішей вводять також *бентонітові глини* - природні алюмосилікати, які характеризуються високою дисперсністю, набряканням, іонообмінною здатністю. Ці глини складаються з мінералів групи монтморилоніту з загальною формулою $Al_2O_3 \cdot 4Si_2O_2 \cdot nH_2O$. У виробництві сухих сумішей рекомендується використовувати бентонітові глини, модифіковані органічними речовинами. Вони чинять менш значний вплив на водоутримуючу здатність будівельних розчинів, ніж метилцелюлоза.

Більш високий рівень модифікації забезпечується шляхом введення до складу сухих сумішей *редиспергованих сополімерних порошків*, які можуть виступати як добавки або самостійні полімерні в'язучі. Загальна характеристика редиспергованих полімерних порошків приведена в табл. 3.1.

Редисперговані порошки одержують висушуванням водних дисперсій полімерів звичайно методом розпилювального сушіння. Мінеральні в'язучі не завжди задовільно працюють на розтяг і згин, мають недостатню адгезію особливо до таких матеріалів як глазурована кераміка, пластики, метали,

пінополістирол і т.п. При дозуванні редиспергованих сополімерних порошків від 0,5 до 5% значно поліпшуються технологічність сумішей, адгезія до основи, знижується водопоглинання (рис.3.2, 3.3), підвищуються міцність на згин, водостійкість, морозостійкість. При дозуванні 5...7% редисперговані порошки починають працювати як самостійні полімерні в'язучі. Модифіковані ними матеріали починають виявляти еластичні властивості, витримують великі деформуючі навантаження, мають підвищену стійкість проти стирання.

Таблиця 3.1

Загальна характеристика
редиспергованих полімерних порошків (РПП)

Характеристики	Значення
Хімічна природа	Вінілацетат, вінілацетат – етилен, вінілацетат – версатат, вінілацетат – акрилат, акрилат, бутилакрилат – стирол, стирол – акрилат
Насипна густина, кг/м ³	140...500
Вміст антикоагулянту, %	10...15
Вміст добавок проти злежування, %	5...15
Мінімальна температура утворення плівки, °С	0...25
Зольність, %	0,5...13
В'язкість, м·Па·с (при 20 об/хв)	500...5500
Середній розмір частинок, мкм	0,01...0,5
pH 30%-ї дисперсії	4...12

На відміну від рідких і пастоподібних продуктів модифіковані полімерами суміші стійкі до впливу низьких температур і бактеріальних забруднень.

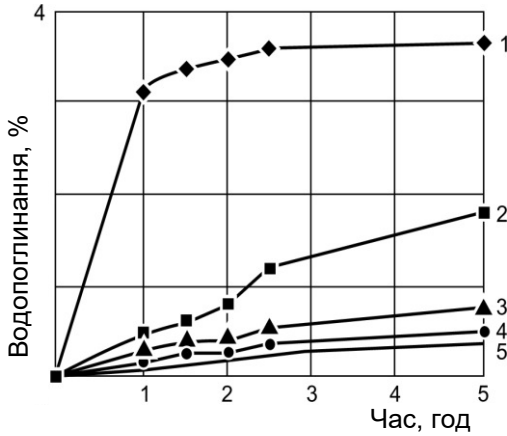


Рис. 3.2. Водопоглинання мінеральних штукатурок залежно від вмісту порошку "Віннапас":
1 – вміст порошку 0,5%; 2 – 1%; 3-1,5%; 4-2%; 5-5%

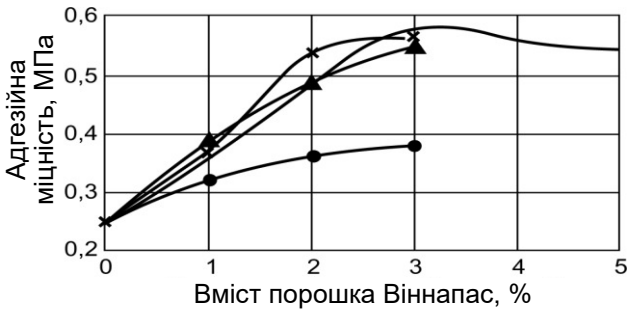


Рис. 3.3. Залежність адгезійної міцності декоративних штукатурок до бетонної поверхні від кількості редиспергованого полімерного порошку Віннапас різних марок

Ряд хімічних добавок надають сухим сумішам підвищеної тіксотропності, мають розріджувальний ефект, регулюють строки тужавлення, прискорюють твердіння та ін.

Найбільш ефективними розріджувальними добавками є *суперпластифікатори* – продукти поліконденсації меламінформальдегіду, полікарбонату, поліетиленгліколю та ін. Вони вводяться до складу сухих сумішей в кількості від 0,05 до 1,5% маси в'язучого для збільшення текучості розчинів, зниження водопотреби і, як наслідок, збільшення кінцевої міцності, щільності й однорідності затверділого каменю. Особливо рекомендуються ці добавки в рецептурах сумішей, що самовирівнюються, де вони відіграють роль розріджувачів, пластифікаторів, диспергаторів і зменшують усадку.

Для уповільнення строків тужавлення гіпсових в'язучих застосовують добавки (лимонна кислота й ін.), які дозволяють збільшувати час роботи з гіпсом пропорційно їхньому дозуванню (0,01-0,08% за масою).

Ефективними прискорювачами твердіння є формиати кальцію і їхні модифікації, застосовувані в кількості 1-4% від маси в'язучого.

В комплекс спеціальних хімічних добавок входять: згущувачі, диспергатори, пороутворювачі, антиспінувачі, гідрофобізатори, консерванти й ін.

3.2. Основні види сухих сумішей

Суміші для штукатурних робіт містять мінеральні в'язучі, заповнювачі, наповнювачі та різні добавки, у тому числі такі, що підвищують паропроникність і зменшують усадку розчинів.

За видом основного в'язучого штукатурні суміші поділяють на цементні, цементно-вапняні та гіпсові. Залежно від крупності фракції наповнювача вони бувають дрібнозернисті (0...0,315мм), середньозернисті (0,315...1,2 мм) і крупнозернисті (1,2...2,5 мм і більше).

Розчинові суміші повинні мати зчеплення з основою не менше 0,5 МПа, їх паропроникність – не менше 0,1 мг/(м·год·Па). По закінченню процесу тверднення штукатурки на поверхні не повинні утворюватися тріщини.

Цементні штукатурні суміші повинні:

– при виконанні зовнішніх робіт забезпечувати високу стійкість покриття до впливу вологи і різних кліматичних факторів, у тому числі від’ємних і підвищених температур, мати коефіцієнт водопоглинання не більш 0,2 кг/м²·год;

– легко наноситися і вирівнюватися.

Гіпсові суміші призначені для опорядження внутрішніх поверхонь приміщень. До їх складу входять гіпс, вапно, наповнювачі, полімерні добавки, сповільнювачі тужавлення й інші добавки.

Гіпсові штукатурні суміші повинні:

– не руйнуватися при періодичному короткочасному зволоженні;

– забезпечувати можливість регулювання процесу тужавлення в широкому діапазоні часу (1...2 год).

Штукатурні суміші поділяють на шість груп:

- ШТ1 і ШТ2 – для штукатурення бетонних та цегляних поверхонь (окрім ніздрюватих бетонів);
- ШТ3 – штукатурення ніздрюватих бетонів;
- ШТ4 – штукатурення декоративне та систем теплоізоляції;
- ШТ5 – штукатурення теплоізоляційними розчинами;
- ШТ6 – штукатурення гіпсовими або вапняними розчинами.

Вимоги до штукатурних сумішей наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вимоги до сумішей для штукатурних робіт та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи					
	ШТ1	ШТ2	ШТ3	ШТ4	ШТ5	ШТ6
Сухі суміші						
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,63	0,8	1,25	-	2,5	0,63
Розчинові суміші						
Термін придатності, хв, не менше	60	60	60	60	60	30
Рухомість, см, не менше	8	6	8	-	-	8

продовження табл. 3.2

Назва показника	Значення показника для групи					
	ШТ1	ШТ2	ШТ3	ШТ4	ШТ5	ШТ6
Розчини						
Міцність зчеплення з основою після: - витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше; - наперемінного заморожування та відтавання, 75 циклів, МПа, не менше	0,3	0,3	-	0,5	0,2	0,1
Границя міцності на стиск через 28 діб, МПа, не менше	-	-	-	0,5	0,2	-
Границя міцності на стиск через 28 діб, МПа, не менше	5,0	7,0	2,5	-	1,0	0,5
Границя міцності на розтяг при згині через 28 діб, МПа, не менше	1,2	2,0	1,2	-	0,5	0,1
Коефіцієнт водопоглинання, кг/м ² · √год, не більше	-	-	-	0,5	0,6	-
Паропроникність, мг/м·год·Па, не менше	0,07	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05
Трещиностійкість	Відсутність тріщин на шарі товщиною, яка дорівнює максимально рекомендованій товщині нанесення за один прохід					
Теплопровідність, Вт/(м·К), не більше	-	-	0,3	-	0,2	-

До групи реставраційних розчинів відносяться розчини на основі сухих модифікованих сумішей для улаштування реставраційних штукатурок (РС1, РС2). Вимоги до реставраційних розчинів приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Вимоги до сумішей для улаштування реставраційних
штукатурок та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи	
	PC1	PC2
Сухі суміші		
Крупність заповнювача, мм, не більше	1,25	0,8
Розчинові суміші		
Термін придатності, хв, не менше	60	6
Рухомість, см	7,0±0,5	7,0±0,5
Розчини		
Границя міцності на стиск ,МПа,	2-6	1,5-5
Водопоглинання за 24 год,кг/м ² , не більше	1,0	0,3
Густина, кг/м ³ , не більше	-	1500
Вміст повітряних пор, %, не менше	20	25
Паропроникність, мг/мгодПа, не менше	0,15	0,15
Морозостійкість, циклів, не менше	50	50
Здатність до насичення солями, %, не менше	20	25

Широке застосування в опоряджувальних роботах знаходять суміші для *полімерцементних і полімерних декоративних штукатурок*. Вони призначені для зовнішнього і внутрішнього декоративного опорядження поверхонь будинків по бетонних і цегельних основах, систем теплоізоляції фасадів та ін. Полімерцементні декоративні штукатурки класифікуються на:

- А – крупнодисперсні для внутрішніх робіт;
- В – крупнодисперсні, для зовнішніх робіт;

С – призначені для опорядження будівельних конструкцій з підвищеною щільністю структури (важкі бетони, азбестоцементні листи та ін.);

D – поліпшені, можливе нанесення на глазуровану плитку;

E – дрібнодисперсні з водозахисними властивостями для внутрішніх і зовнішніх робіт.

В табл. 3.4, 3.5 наведені характерні склади і нормовані властивості полімерцементних декоративних штукатурок, отриманих із сухих сумішей.

Таблиця 3.4

Склади полімерцементних декоративних штукатурок

Компонент	Вміст компонентів, % в штукатурках				
	A	B	C	D	E
Білий портланд-цемент марки 400	10-15	10-15	15-20	15-20	15-25
Гідратне вапно	5-15	5-10	10-15	5-10	5-10
Кварцовий пісок	66,35-	62,35-	52,85-	34,85-	
Розподіл по фракціях:	82,9	80,9	68,45	35,45	
0,5-1,2 мм	30%	30%	25%	40%	-
0,25-0,5 мм	45%	45%	50%	30%	-
0,125-0,25 мм	20%	20%	20%	20%	-
0,05-0,125 мм	5%	5%	5%	10%	-
Пігменти (діоксид титану + кольорові пігменти)	2-3	3-5	3-5	3-5	10-15
Карбонатний наповнювач 2-40 мкм	0-5	0-5	2-4	20-40	37-56,9
Редиспергований порошок "Віннапас" з гідрофобними властивостями	До 0,5	1,0	1,5-3	1,5-3	3-5
Армуючі добавки	-	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5
Метилцелюлоза	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15	0,1-0,2
Добавки (для поліпшення реологічних властивостей)	-	-	0-2	0-2	-

Таблиця 3.5

Основні властивості полімерцементних декоративних
штукатурок

Показник	Декоративні штукатурки				
	А	В	С	Д	Е
Затверділі розчини					
Міцність на стиск, МПа, не менше	3,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Міцність на розтяг при згині, МПа, не менше	1,5	2,5	2,2	2,2	2,2
Адгезійна міцність до бетону, МПа не менше	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6
Водопоглинання, %, не більше	-	6	4	4	3
Морозостійкість, цикли, не менше	-	35	50	50	50
Розчинові суміші					
Рухомість	Регулюється технологічними добавками і кількістю вапна в рецептурі				
Розшаровуваність, %, не більше	2	2	2	2	2
Водоутримуюча здатність, %, в межах	90	90-95	95	95	95
Термін придатності, год, не менше	2	2	2	2	2

Суміші для підготовки поверхні – системи, що містять мінеральні в'язучі, наповнювачі та різні добавки, у тому числі такі, що знижують прилипання розчинової суміші до інструменту.

Вони повинні:

- мати зчеплення з основою не менше 0,5 МПа;
- паропроникність не менше 0,1 мг/(м·год·Па);
- бути морозостійкими (для зовнішніх робіт) і витримувати не менше 50 циклів заморожування і відтавання;
- легко укладатися на основу, не залишаючи смуг і не тягтися за інструментом;
- мати стійкість до тріщиноутворення і мінімальну усадку, що повинна не перевищувати 0,2%;

- шліфуватися і фарбуватися, у тому числі фарбами на органічних розчинниках;
- не стікати з вертикальних поверхонь;
- бути водостійкими (на основі цементу).

При підготовці поверхонь під опорядження шпалерами, фарбами, декоративними покриттями застосовують *шпаклювальні та ґрунтувальні суміші*. На відміну від штукатурних їх наносять тонким (0,2...3 мм) шаром.

Вимоги до шпаклювальних сумішей і приклади їх рецептур наведені в табл. 3.6. і 3.7.

Таблиця 3.6

Вимоги до сумішей для шпаклювання та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи		
	ШЦІ	ШГІ	ШПІ
Сухі суміші			
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,2	0,2	0,2
Розчинові суміші			
Термін придатності, хв, не менше	30	30	180
Рухомість, см	7±2	7±2	7±2
Розчини			
Границя міцності на стиск, МПа, не менше: - через 7 діб; - через 28 діб	- 7,0	2,5 -	- -
Границя міцності на розтяг при згині, МПа, не менше: - через 7 діб; - через 28 діб	- 1,0	0,4 -	- -
Тріщиностійкість	Відсутність тріщин на шарі товщиною, яка дорівнює максимально рекомендованій ширині шва		
Морозостійкість, циклів, не менше	75	-	-
Паропроникність, мг/м ² ·√год·Па, не менше	0,05	0,07	0,05
Усадка, мм/м, не більше	1,5	0,5	-

продовження табл.3.6

Назва показника	Значення показника для групи		
	ШЦ1	ШГ1	ШП1
Міцність зчеплення з основою після витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	0,3	0,3	0,2

Таблиця 3.7

Приклади рецептур шпаклювальних сумішей

Найменування компонентів сумішей	Компонентний склад сумішей, мас.%			
	Суміші на основі цементу		Суміші на основі гіпсу	
	Шпаклівки загального призначення	Шпаклівка фінішна	Шпаклівки загального призначення	Шпаклівки для закладення тріщин і стиків
Портландцемент/глиноземистий цемент	38...42	-	-	-
Білий цемент	-	35...40	-	-
Гіпс (напівгідрат)	-	-	30...45	70...88
Гідратне вапно	0...10	8...12	-	2-5
Кварцовий пісок крупністю до 0,4 мм	44...48	40...45	-	-
Мелена слюда, крейда	0...10	5...10	50...65	15...25
Кварцове борошно	0...10	5...10	-	-
Полімерні волокна	0...1,5	0...1,5	-	-
Полімерний редиспергований порошок	1...4	3...5	1...3	1...3

продовження табл.3.7

Найменування компонентів сумішей	Компонентний склад сумішей, мас.%			
	Суміші на основі цементу		Суміші на основі гіпсу	
	Шпаклівки загального призначення	Шпаклівка фінішна	Шпаклівки загального призначення	Шпаклівки для закладення тріщин і стиків
Ефір целюлози	0,15...0,5	0,15...0,5	0,5...0,8	0,5...1,0
Сповільнювач тужавлення	-	-	0,01...0,05	-

Клейові суміші представлені композиціями які містять мінеральні в'язучі, наповнювачі, заповнювачі та полімерні добавки, що регулюють фізико-механічні та реологічні властивості розчинових сумішей і розчинів.

Клейові суміші всіх груп повинні:

- забезпечувати достатню міцність зчеплення матеріалів і зберігати цей показник при впливі різних експлуатаційних факторів – від'ємних температур, водного середовища, статичних і динамічних навантажень;
- мати тривалий термін придатності;
- мати високу фіксуючу здатність (опору-опором зрушенню плити, встановленої на розчинову суміш);
- забезпечувати необхідну тривалість коригування положення плити.

Більшість клейових складів є сумішами портландцементу і фракціонованого піску переважно з двома основними добавками: водотримуючої – ефіром целюлози або крохмалю і адгезійної – редиспергуємим полімером. При необхідності в суміш вводять і інші добавки – регулятори властивостей.

Клейові суміші в сухому стані повинні мати вологість не більше 0,3% маси, найбільша крупність зерен не повинна перевищувати 0,63 мм.

Водоутримуюча здатність клейових сумішей розчинів, готових до застосування, повинна бути не менше 98%.

Здатність до змочування клейових сумішей характеризується часом, протягом якого суміш змочує облицювальну плитку. Здатність до змочування клейових сумішей повинна бути не менше 20 хв.

В групу клейових входять розчини для облицювання плиткою на недеформованих основах, що не працюють на згин (ЗК1, ЗК2, ЗК3), на деформованих основах, що працюють на згин (ЗК4), для кріплення елементів систем теплоізоляції (ЗК5) і виробів на основі гіпсового в'язучих (ЗК6), а також облицювання плиткою товщиною понад 10 мм (ЗК7). Вимоги до сухих і розчинових сумішей та розчинів на їх основі для даних груп приведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Вимоги до сумішей для закріплення матеріалів та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи						
	ЗК1	ЗК2	ЗК3	ЗК4	ЗК5	ЗК6	ЗК7
Сухі суміші							
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,8	0,8	0,63	0,63	0,8	-	0,8
Розчинові суміші							
Термін придатності, хв, не менше	60	60	30	60	120	30	30
Відкритий час, хв, не менше	10	20	10	20	-	15	10
Час коригування, хв, не менше	10	10	10	10	10	10	5
Зміщення матеріалу, що закріплюється, мм, не більше (тільки для стін)	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0,5	0,5
Рухомість, см	-	-	-	-	7±2	5±2	-

продовження табл. 3.8

Назва показника	Значення показника для групи						
	ЗК1	ЗК2	ЗК3	ЗК4	ЗК5	ЗК6	ЗК7
Розчини							
Міцність зчеплення з основою після: - витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше;	0,5	0,8	0,5	1,0	0,5	0,5	0,8
- замочування у воді, МПа, не менше;	-	0,5	0,5	1,0	-	-	0,5
- перемінного заморожування і відтавання, 50 циклів, МПа, не менше;	-	0,5	-	1,0*	0,5	-	0,5
- температурного впливу, (+70 ⁰ С), МПа, не менше	-	0,5	-	1,0	-	-	0,5
Прогин, мм, не більше	-	-	-	2,5	-	-	-
Час можливого технологічного пересування, год, не раніше	48	48	3	48	-	-	-

* після 75 циклів

Основною вимогою до затверділих розчинових сумішей є міцність клейового з'єднання. Залежно від умов застосування міцність клейових з'єднань повинна відповідати значенням наведеним в табл. 3.8.

Рецептури клейових сумішей досить різноманітні. Загальним для них є наявність портландцементу в кількості 25 ... 40% і кварцового піску - 25...75%. Зниження витрати цементу і, частково, піску досягається введенням дисперсного мінерального наповнювача. В якості наповнювача часто використовують вапнякове борошно.

Базові склади типових клейових складів сухих будівельних сумішей наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Базові склади типових клейових сумішей

Компонент	Вміст компонентів% в залежності від варіанту рецептури		
Портландцемент ПЦ-I-500	25...40	30...45	25...40
Глиноземистий цемент	-	-	0,3
Кварцовий пісок крупністю до 0,63 мм	25...75	55...70	40...70
Вапнякове борошно	0,50	-	-
Вапно гідратне	-	0...3,0	0...3,0
Ефір целюлози	0,25..40	0,25...0,6	0,25...0,6
Редиспергований порошок - РПП	-	0,7...3,0	4,0...8,0
Піногасник	-	0...0,2	0,3...0,5
Волокна целюлози	-	0...0,3	0...1,0
Прискорювач твердіння	-	0...1,0	-
Ефір крахмалу	-	-	0...0,1
Суперпластифікатор	-	0,7	0...1,0

Ефективним наповнювачем клейових сумішей є зола-виносу. Використання золи-виносу позитивно позначається на водоутримуючій здатності розчинових сумішей, міцності розчинів, їх корозійної стійкості, усуває утворення висолів, знижує усадочні деформації. Разом з тим, при використанні золи-виносу як компонента сухих сумішей важливого значення набуває стабільність її хімічного складу, нормування вмісту незгорілих вуглецевих частинок.

Товщина клейового шару як при облицювальних роботах, так і при кладці становить 1...5 мм. Зменшення товщини клейового шару за системою так званої *тонкошарової технології* запобігає утворенню т.зв. "місточків холоду", зменшуються теплові втрати через огорожувальні конструкції, забезпечується висока адгезія до основи, водо- і морозостійкість. Тонкошарова технологія особливо актуальна при закріпленні теплоізоляційних матеріалів, і при кладці з використанням стінових блоків з пористих бетонів.

Застосування тонкошарової технології клейових розчинів, що укладаються на високопористі основи (пористі бетони, цегляна кладка) обумовлює необхідність забезпечення високої водоутримуючої здатності розчинових сумішей. Цю задачу вирішують введенням до складу клейових сумішей модифікаторів, які відносяться зазвичай до групи ефірів целюлози. Добавка метилгідроетілцелюлози збільшує водоутримуючу здатність цементного розчину до 99% при температурі 20 ± 2 о С. При витраті такої добавки в межах 0,2 ... 0,3% від маси суміші втрата води твердеючим розчином практично не відбувається. При введенні добавки ефіру целюлози практично не відбувається зміщення плитки з вертикальної поверхні, поліпшується легкоукладальність суміші. Разом з тим, має місце певне уповільнення процесів структуроутворення цементного розчину. Слід зазначити також підвищену гігроскопічність добавок ефірів целюлози. Зі збільшенням вмісту зазначеної добавки зростає капілярне водопоглинання розчину.

Близькими до ефірів целюлози за ефектом в сухих сумішах є ефіри крохмалю. Їх часто використовують в комбінації з ефірами целюлози, замінюючи до 30% останніх.

Мінеральні в'язучі, забезпечуючи високу міцність на стиск, зазвичай слабо працюють на розтяг і розтяг при згині, і, як правило, не забезпечують достатню адгезію до матеріалів які погано вбирають воду – глазурованої кераміки, пластиків, металів. При дозуванні полімерної добавки 0,5 ... 5% від маси мінерального в'язучого значно поліпшується технологічність, адгезія, міцність на згин, водостійкість, морозостійкість розчинів. При дозуванні 5 ... 7% полімерні добавки починають працювати як самостійне в'язуче.

Редиспергірованні полімерні порошки (РПП) підвищують адгезію і когезію клеїв, їх тріщиностійкість за рахунок збільшення міцності на розтяг і зносостійкість. Відповідно до сучасних уявлень РПП утворюють в розчинових сумішах еластичні мембрани, модифікуючи мінеральну матрицю, яка представлена твердіючим цементним тістом. Модифікована цементна матриця має поліпшені реологічні властивості, адгезію

і тріщиностійкість. Так само, як і водоутримуючі добавки, добавки РПП знижують гідратаційну активність цементу. У той же час, більшість дослідників вважають, що РПП сприяють більш інтенсивному утворенню в цементному камені еттрінгіта.

Для клейових розчинів поряд з водоутримуючою здатністю і адгезією важливе значення має життєздатність (час можливого використання), а також ряд спеціальних властивостей (площа застосування, відкритий час, зміщення). Зазначені властивості повинні забезпечуватися, в першу чергу, раціональним підбором складу розчинових сумішей. Складом розчинів обумовлені також експлуатаційні властивості клейових розчинів і їх надійність.

Суміші для мурувальних розчинів. На ринку сухих сумішей для кладки сьогодні представлені, в основному, суміші, виготовлені з портландцементу і сухого піску з можливим додаванням гідратного вапна і різних органічних добавок, які покращують експлуатаційні властивості розчинів. Введення добавок направлено на підвищення легкоукладальності розчинів і здатності їх надійно заповнювати горизонтальні і вертикальні шви, забезпечувати високе зчеплення з елементами кладки і її довговічність.

Одним з традиційних компонентів розчинових мурувальних сумішей є вапно. Цементно-піщані розчини без вапна, хоча і можуть мати високу міцність, не здатні задовільно демпфировати напруження, що виникають в процесі експлуатації (нерівномірне осідання фундаментів і інших конструкцій будівель, вібрації, поштовхи при землетрусах і ін.). Загальновідомі також технологічні переваги мурувальних розчинів, що містять вапно.

Традиційна технологія передбачає нанесення розчинів кладок шаром 10 ... 20 мм. Оскільки сучасні технології дозволяють виготовляти стінові камені і блоки з мінімальними (до 1 мм) відхиленнями геометричних розмірів від стандартних, стало можливим використовувати тонкошарову кладку з використанням розчинових сумішей на основі тонкодисперсних сухих сумішей з розміром заповнювача не більше 1 мм. В результаті товщина шва кладки складає 1 ... 5 мм. Застосування

кладочних клеїв найбільш доцільно при застосуванні стінових блоків з пористих бетонів. Для високопористих матеріалів до розчинів пред'являються особливі вимоги до водоутримуючої здатності. Вона повинна перебувати в межах 97 ... 98 %%, що досягається введенням водоутримуючих модифікаторів.

Суміші для мурувальних розчинів поділяють на групи за призначенням: для мурування цеглою (МР1), блоками та каменями з природного та штучного матеріалу (МР2), стіновими блоками (внутрішні стіни та перегородки (МР3), улаштування теплозберігаючих огорожувальних конструкцій (МР4). Вимоги до сумішей для мурування, розчинових сумішей та розчинів на їх основі приведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Вимоги до сумішей для мурування, розчинових сумішей та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи			
	МР1	МР2	МР3	МР4
Сухі суміші				
Крупність заповнювача, мм, не більше	2,5	1,25	1,25	2,5
Розчинові суміші				
Рухомість, см, не менше	4	5	7	6
Термін придатності, хв, не менше	90	120	90	60
Розчини				
Границя міцності на стиск, МПа, не менше	5	5	5	5
Міцність зчеплення з основою після витримання в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	0,2	0,2	0,2	0,2
Морозостійкість, циклів	25...75	25...75	-	25...75
Теплопровідність, Вт/м·К, не більше	-	-	-	0,35

Примітка. Морозостійкість сумішей для мурування приймається на 10 циклів вища ніж морозостійкість мурувального конструкційного матеріалу.

До спеціальних властивостей мурувальних розчинів можна віднести термін придатності і міцність зчеплення з основою, а для сумішей групи МР4 також теплопровідність.

Суміші для влаштування підлог є полімермінеральними системами, що містять мінеральні в'язучі, заповнювачі, наповнювачі та різні добавки, які підвищують тріщиностійкість, стійкість до стирання, морозостійкість і водостійкість розчинів.

Для покриттів підлог застосовують переважно суміші на основі цементу, гіпсу і ангідриту, створюючи самовирівнюючі наливні підлоги. Характерні склади таких сумішей наведені в табл.3.11.

Таблиця 3.11

Суміші для влаштування підлог

Найменування	Цементна стяжка для первинного вирівнювання підлоги (від 10 мм)	Самовирівнюючі наливні підлоги (до 5 мм) з казеїном	Самовирівнюючі наливні підлоги (до 5 мм) без казеїну	Самовирівнюючі наливні підлоги (до 10 мм) на основі гіпсу
Мінеральні компоненти, %				
Портландцемент	30...40	35...45	35...45	1...4
Глиноземистий цемент	-	3...7	3...7	-
Гашене вапно	0...2	1...4	1...4	1...2
Ангідрит	-	-	-	-
Напівгідратний гіпс	-	0...3	0...3	45...55
Вапнякове борошно, 40-100 мкм	0...10	5...10	5...10	20...25
Кварцовий пісок 0,1-0,4 мм	15...25	38...42	38...42	15...30
Кварцевий або вапняковий пісок до 2,0 мм	30...40	-	-	-
Гравій 2...8 мм	8...12	-	-	-

продовження табл.3.11

Найменування	Цементна стяжка для первинного вирівнювання підлоги (від 10 мм)	Самовирівнючі наливні підлоги (до 5 мм) з казеїном	Самовирівнючі наливні підлоги (до 5 мм) без казеїну	Самовирівнючі наливні підлоги (до 10 мм) на основі гіпсу
Добавки %				
Ефір целюлози	0,01...0,03	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1
Редиспергирований полімерний порошок	0,5...2,5	1,5...2,5	1,5...2,5	1,5...2,5
Суперпластифікатор	0,5.1,0	-	0,5...0,7	0,5...1,0
Казеїн	-	0,5.2,0	-	-
Антивспінювач	0,1...0,2	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,2

У цю групу входять розчини на основі сухих сумішей для улаштування стяжок (СТ1, СТ2, СТ3), прошарків (ПР1, ПР2, ПР3) і покриттів (ПО1, ПО2, ПО3) підлог. Вимоги до розчинових сумішей і розчинів цієї групи приведені в табл. 3.12.

На основі сухих модифікованих сумішей виготовляють самоущільнювальні та самовирівнювальні розчини для підлог, що мають високу текучість і швидко затвердівають. Ці якості дозволяють застосовувати їх для вирівнювання і нивілювання поверхні підлоги. Товщина вирівнюючого шару складає 2...50 мм. Застосування в складі самоущільнювальних сумішей пластифікаторів нового покоління (полікарбоксилатних і поліакрилатних) дозволяє порівняно з іншими пластифікуючими добавками не тільки істотно збільшити пластифікуючий ефект, але і суттєво збільшити його тривалість.

Для підвищення міцності та зносостійкості покриттів підлог застосовують нанесення зміцнюючих сухих сумішей на щойно укладений бетон. Найбільш поширені *зміцнюючі суміші*, що включають фракціонований кварц, корунд, метал, а також портландцемент і добавки. Випускають також кольорові зміцнюючі суміші.

Таблиця 3.12

Вимоги до сумішей для влаштування елементів підлоги
та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи								
	СТ1	СТ2	СТ3	ПР1	ПР2	ПР3	ПО1	ПО2	ПО3
Сухі суміші									
Крупність заповнювача мм, не більше	1,23	1,25	1,25	0,63	0,63	0,63	1,25	1,25	4,0
Розчинові суміші									
Рухомість, см, не менше	8	8	8	-	-	-	-	-	-
Розтічність, см, не менше	-	-	-	20	20	20	17	17	-
Термін придатності, хв, не менше	20	20	20	20	20	20	20	20	-
Розчини									
Міцність зчеплення з бетонною основою після витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	0,2	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
Границя міцності на стиск, МПа, не менше:									
- через 3 доби	5	5	10	5	7	10	7	10	20
- через 28 діб	15	20	35	15	20	30	25	35	50

продовження табл. 3.12

Назва показника	Значення показника для групи								
	СТ1	СТ2	СТ3	ПР1	ПР2	ПР3	ПО1	ПО2	ПО3
Границя міцності на розтяг при згині через 28 діб, МПа, не менше	3,5	4,5	6,0	3,0	4,0	5,0	5,0	5,0	7,0
Стираність, г/см ² , не більше	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7
Усадка, мм/м, не більше	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Морозостійкість, циклів, не менше			0			0		5	5

Гідроізоляційні суміші. До групи гідроізоляційних розчинів, що виготовляються на основі сухих будівельних сумішей відносяться розчини для улаштування жорсткої (Гі1) і еластичної (Гі2) гідроізоляції, гідроізоляції систем теплоізоляції (Гі3) і гідроізоляції, здатної до проникнення в основу (Гі4, Гі5). Вимоги до гідроізоляційних розчинових сумішей і розчинів приведені в табл. 3.13.

Гідроізоляцію на основі сухих сумішей розділяють на проникаючу, штукатурну, обмазочну та закладочну.

Проникаюча гідроізоляція застосовується для підвищення водонепроникності пористих матеріалів. В результаті проникнення розчинових сумішей відповідного хімічного складу в порах матеріалу утворюються нерозчинні хімічні сполуки які збільшують його щільність і зменшують водопроникність. Залежно від складу і активності хімічних добавок, що входять до складу розчинів вони можуть проникати на глибину до кількох десятків сантиметрів.

Таблиця 3.13

Вимоги до сумішей для улаштування гідроізоляції,
розчинових сумішей та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи				
	Гі1	Гі2	Гі3	Гі4	Гі5
Сухі суміші					
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Розчинові суміші					
Термін придатності, хв, не менше	60	120	120	30	60
Розчини					
Границя міцності на тиск, МПа, не менше	12	-	4	-	10
Коефіцієнт водопоглинання, $кг / м^3 \cdot \sqrt{год}$, не більше	-	-	0,6	-	-
Усадка, мм/м, не більше	2	-	1,5	-	2
Міцність зчеплення з основою після: - витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше; - замочування у воді МПа, не менше*	1,0 1,0	0,5 0,5	0,0800 до пінополістиролу; 0,015 до мінвати Те саме	- 0,8	0,3 0,3
Морозостійкість, циклів, не менше	50	-	50	-	50
Паропроникність, мг/м·год·Па, не менше	0,03	-	0,10 по мінваті; 0,04 по пінополістиролу	0,03	0,03

продовження табл. 3.12

Назва показника	Значення показника для групи				
	Гі1	Гі2	Гі3	Гі4	Гі5
Еластичність при згині, мм, не більше	-	20	-	-	-
Водонепроникність за 24 год, у віці 7 діб, МПа, не менше	0,05	0,2	-	-	-

Примітка.*регламентується для сумішей, призначених для гідроізоляції, що експлуатуються в умовах з від’ємним тиском води.

Штукатурна гідроізоляція на відміну від проникаючої є поверхневою. Штукатурну гідроізоляцію наносять зазвичай в один шар. Перед її нанесенням поверхню необхідно підготувати – зачистити, вирівняти, заґрунтувати.

Обмазочна гідроізоляція виготовляється на основі бітумних, полімерних або змішаних лаків, мастик і фарб з додаванням сухих цементних сумішей. Наносити її можна в холодному або гарячому (розтопленому) виді в 2...3 шара.

Закладочну гідроізоляцію виконують з метою герметизації підземних конструкцій, фундаментів і стін споруд. Застосовують суміші, у складі яких присутні добавки, які при зволоженні починають активно розбухати. Коли суміш вкладається в тріщину або зазор між плитами вона розширюється і утворює щільний водонепроникний шар. Закладочні суміші застосовують для гідроізоляції нерівних або грубо оброблених поверхонь, наприклад, бутової кладки, або зруйнованої цегельної стіни.

Спеціальні сухі суміші виготовляють для **ремонту бетонних і розчинових поверхонь, заповнення швів, анкерування та монтажу**. Вимоги до цих сумішей наведені в табл. 3.14, 3.15, 3.16.

Таблиця 3.14

Вимоги до сумішей для ремонту бетонних і розчинових поверхонь, та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи				
	PM1	PM2	PM3	ІН1	ІН2
Сухі суміші					
Крупність заповнювача, мм, не більше	2,5	1,25	1,25	0,63	0,315
Розчинові суміші					
Термін придатності, хв, не менше	30	30	30	30	30
Розчини					
Границя міцності на стиск, МПа, не менше:					
- через три доби;	5,0	6,0	4,0	10,0	10,0
- через 28 діб	35,0	30,0	20,0	40,0	40,0
Границя міцності на розтяг при вигині через 28 діб, МПа, не менше	5,0	5,0	5,0	10,0	12,0
Морозостійкість, циклів, не менше	75	75	-	75	75
Усадка, мм/м, не більше	1,2	1,2	2,0	-	-
Міцність зчеплення з основою після:					
- витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	2,0	2,0	0,8	2,0	2,0
- наперемінного заморожування і відтавання 50 циклів, МПа, не менше	2,0	2,0	-	2,0	2,0
Примітка. Для сумішей з короткими термінами тужавлення (менше 30 хв.) термін придатності визначається виробником.					

Таблиця 3.15

Вимоги до сумішей для заповнення швів та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи		
	РШ1	РШ2	РШ3
Сухі суміші			
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,4	0,8	0,4
Розчинові суміші			
Термін придатності, хв, не менше	60	60	120
Розчини			
Границя міцності на стиск, МПа, не менше:			
- через три доби	3,0	3,5	3,0
- через 28 діб	10,0	12,0	10,0
Границя міцності на розтяг при згині через 28 діб, МПа, не менше	2,5	3,5	3,0
Тріщиностійкість	Відсутність тріщин на шарі товщиною, яка дорівнює максимально рекомендованій ширині шва		
Водопоглинання за 24 год, кг/м ² , не більше	1,0	1,2	1,5
Усадка, мм/м, не більше	2,5	2,5	1,5
Міцність зчеплення з основою з бетону після:			
- витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	0,5	0,5	0,5
- замочування у воді, МПа, не менше	0,5	0,5	0,5
Морозостійкість, циклів, не менше	50	75	50
Стираність, г/см ² , не більше	0,7	0,7	0,7

Таблиця 3.16

Вимоги до сумішей для анкерування та монтажу
та розчинів на їх основі

Назва показника	Значення показника для групи	
	АН1	МН1
Суміші		
Крупність заповнювача, мм, не більше	0,315	-
Розчинові суміші		
Термін придатності, хв, не менше	5	30
Розчини		
Границя міцності на стиск, МПа, не менше:		
- через 6 год	10	-
- через одну добу	20	40
- через 28 діб	40	60
Розчини		
Границя міцності на розтяг при вигині, МПа, не менше:		
- через 6 год	2,0	-
- через одну добу	2,5	3,5
- через 28 діб	8,0	7,0
Морозостійкість, циклів, не менше	50	50
Міцність на виривання анкера,	100	-
Усадка, мм/м, не більше	-	1,5

Як і в сумішах іншого призначення в них нормують спеціальні властивості які забезпечують їх придатність і надійну експлуатацію за призначенням.

4. Методи випробувань будівельних розчинів

4.1. Загальні властивості розчинів

До загальних властивостей будівельних розчинів, які підлягають випробуванню згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010 відносяться рухомість, середня густина, розшаровуваність та водоутримуюча здатність розчинової суміші, а також міцність, середня густина, вологість, водопоглинання і морозостійкість затверділих розчинів.

Рухомість – здатність розчинової суміші укладатися на основу тонким однорідним шаром. Вона характеризується глибиною занурення еталонного конуса в см. Рухомість призначається із врахуванням виду розчину, способу його подачі, вологості і пористості основи, температури повітря. Наприклад, для монтажу стін із крупних панелей і блоків глибину занурення розчину призначають 5...7 см, а при кладці зі звичайної цегли – 9...13 см.

Залежно від рухомості розчинових сумішей встановлюють марки Р4, Р8, Р12. Р14 із глибиною занурення конуса відповідно 1...4, 4...8, 8...12 і 12...14 см.

Прилад для визначення рухомості (рис. 4.1) включає еталонний конус, який виготовляють із листової сталі або з пластмаси зі сталевим наконечником. Кут при вершині конуса складає 30° , його маса разом зі штангою 300 ± 2 г. Ємність для розчинової суміші має форму зрізаного конуса заввишки 180 мм і об'ємом не менше 3 л. Після наповнення ємності розчиновою сумішшю її ущільнюють штикуванням сталевим стержем 25 разів і 5...6 кратним постукуванням об стіл.

Глибину занурення конуса вимірюють із похибкою до 1 мм за результатами двох випробувань як середнє арифметичне значення з них та округлюють до 1 см для встановлення марки суміші за рухомістю. Різниця у показниках окремих випробувань не повинна перевищувати 20 мм.

Середню густина розчинової суміші визначають за відношенням маси ущільненої суміші до її об'єму. Для проведення випробувань використовують сталеву циліндричну

посудину ємністю 1000 см³ (діаметр 113 мм, заввишки 100 мм). Розчинову суміш ущільнюють штикуванням сталевим стержнем 25 разів і 5...6 кратним постукуванням об стіл. Поверхню розчинової суміші після ущільнення вирівнюють із краями посуду.

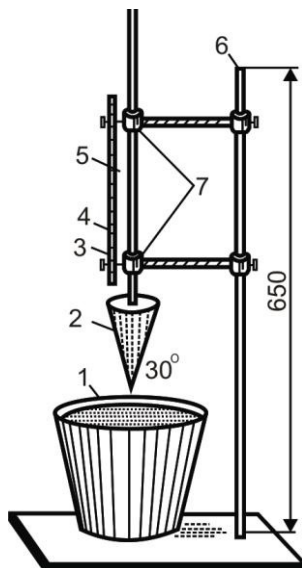


Рис. 4.1. Прилад для визначення рухомості розчинової суміші:
1 – посудина; 3 – затискний гвинт; 4 – шкала;
5 – стержень; 6 – стійка; 7 – тримачі

Середню густину розчинової суміші, г/см³ обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000}, \quad (4.1)$$

де m – маса мірної посудини з розчиною сумішшю, г;

m_1 – маса мірної посудини без суміші, г.

За результатами двох визначень середньої густини суміші з однієї проби, які повинні відрізнятися одне від одного не більше ніж на 5% від меншого значення знаходять середнє

арифметичне значення. При більшому розходженні результатів вимірювання повторюють на новій пробі розчинової суміші.

Розшаровуваність розчинової суміші характеризує її зв'язність при динамічних впливах. Вона визначається порівнянням вмісту маси заповнювача у нижній і верхній частинах свіжовідформованого зразка. Розчинову суміш укладають у форму куба розмірами 150×150×150 мм і ущільнюють на лабораторному вібромайданчику протягом 1 хв. Після вібрування із форми з ущільненою сумішшю відбирають два зразки – з верхнього шару заввишки (7,5±0,5) мм і нижнього. Відібрані проби зважують із похибкою до 2 г і піддають мокрому розсіюванню на ситі з розміром вічка 0,16 мм до повного видалення в'язучого. Відмиті порції заповнювача висушують до постійної маси і зважують.

Вміст заповнювача у верхній (нижній) частинах ущільненої розчинової суміші, V , % обчислюють за формулою:

$$V = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (4.2)$$

де m_1 – маса відмитого висушеного заповнювача з верхньої (нижньої) частини зразка, г;

m_2 – маса проби розчинової суміші, відібраної з верхньої (нижньої) частини зразка, г.

Показник розшаровуваності розчинової суміші, Π , % обчислюють за формулою:

$$\Pi = \frac{\Delta V_3}{\sum V_3} \cdot 100, \quad (4.3)$$

де ΔV_3 – абсолютна величина різниці між вмістом заповнювача у верхній і нижній частинах зразка, %;

$\sum V_3$ – сумарний вміст заповнювача у верхній і нижній частинах зразка, %.

Показник розшаровуваності для відібраної проби розчинової суміші визначають двічі та обчислюють з округленням до 1% як середнє арифметичне значення двох результатів, які відрізняються між собою не більше ніж на 20%

від меншого значення. При більшому розходженні результатів визначення повторюють на новій пробі розчинової суміші.

Водоутримувальну здатність визначають випробуванням шару розчинової суміші завтовшки 12 мм, викладеної на фільтрувальний папір (рис. 4.2). Ретельно перемішану розчинову суміш укладають в металеве кільце, яке встановлене на марлеву прокладку, 10 аркушів фільтрувального паперу, що викладені на скляну пластинку, вирівнюють і залишають на 10 хв. Водоутримувальну здатність розчинової суміші W_y характеризують вмістом води, % в пробі до і після експерименту. Її обчислюють за формулою:

$$W_y = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \right), \quad (4.3)$$

де m_1 і m_2 – маса фільтрувального паперу відповідно до і після випробувань, г;

m_3 і m_4 – маса приладу відповідно без і з розчиновою сумішшю.

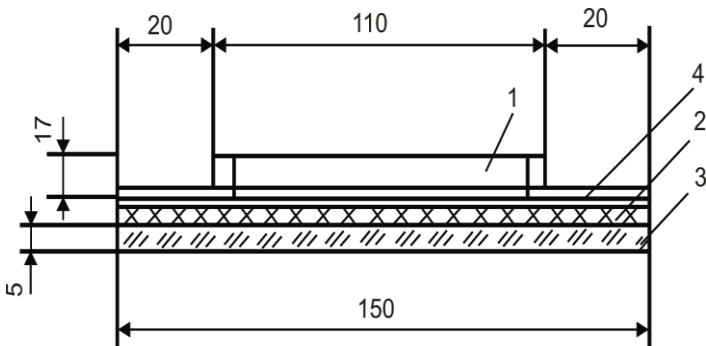


Рис. 4.2. Схема приладу для визначення водоутримувальної здатності розчинової суміші:

- 1 – металеве кільце з розчиновою сумішшю; 2 – 10 шарів фільтрувального паперу; 3 – скляна пластинка; 4 – шар марлевої тканини

Значення W_y визначають як середнє арифметичне значення результатів двох вимірювань для кожної проби, які відрізняються між собою не більше ніж на 20% від меншого значення.

Середню густину розчину визначають випробуванням зразків-кубів із ребром 70,7 мм, виготовлених із розчинової суміші робочого складу. Можливе також випробування зразків-пластин розміром (50×50) мм, які взяті зі швів конструкцій. Товщина пластин повинна відповідати товщині шва. При виробничому контролі середню густину розчинів визначають випробуванням зразків, які призначені для визначення міцності розчину.

Середню густину розчину ρ_0 обчислюють як середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох зразків, що входять в серію за формулою:

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \quad (4.4)$$

де m – маса зразка, кг;

V – об'єм зразка, м³.

Зразки можуть знаходитися у стані природної вологості, або нормованому вологому стані: сухому, повітряно-сухому, нормальному, водонасиченому. При визначенні середньої густини розчину в повітряно-сухому стані зразки перед випробуванням витримують не менше 28 діб у приміщенні при температурі $(25 \pm 10)^\circ \text{C}$ і відносній вологості повітря $(60 \pm 10)\%$. При визначенні середньої густини розчину в нормальних вологих умовах зразки зберігають 28 діб у камері нормального зберігання або іншій герметичній посудині при відносній вологості повітря не менше 95% і температурі $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$.

Середню густину розчину при нормованому вологому стані ρ_n обчислюють за формулою:

$$\rho_n = \rho_W \frac{1 + \frac{W_n}{100}}{1 + \frac{W_M}{100}}, \quad (4.5)$$

де ρ_W – середня густина розчину при вологості W_n , кг/м³;

W_n – нормована вологість розчину, % ;

W_m – вологість розчину в момент випробування.

Вологість розчину визначають випробуванням зразків або проб, отриманих:

- подрібненням зразків після їх випробування на міцність;
- з готових виробів або конструкцій.

При розрахунках вологості розчину застосовують формули:

- для вологості за масою, % :

$$W_m = \frac{m_e - m_c}{m_c} ; \quad (4.6)$$

- для вологості за об'ємом, % :

$$W_o = \frac{W_m \rho_o}{\rho_e}, \quad (4.7)$$

де m_e і m_c – маса зразка розчину до і після сушіння;

ρ_o – середня густина сухого розчину;

ρ_e – густина води ($\rho_v=1000$ кг/м³).

Водопоглинання розчину характеризує кількість води в % по відношенню до маси або об'єму сухих зразків, яку може поглинути розчин і утримувати у водонасиченому стані. Визначивши масу сухих і водонасичених зразків, водопоглинання обчислюють за формулами (4.6, 4.7). Температура води при насиченні зразків повинна бути $(20 \pm 2)^\circ$ С, насичення водою проводять доти, поки результати двох послідовних зважувань будуть відрізнятися не більше ніж на 0,1%. Проміжні зважування зразків виконують через кожні 24 год їх знаходження у воді. Зразки висушують до постійної маси до насичення їх водою, або після закінчення процесу водонасичення.

Міцність розчину на тиск визначають на зразках-кубах розмірами (70,7×70,7×70,7) мм у віці, який встановлено у стандарті або технічних умовах на даний вид розчину. На кожний термін випробувань виготовляють три зразки.

Зразки з розчинової суміші рухомістю до 5 см виготовляють у формах із піддоном, 5 см і більше – без піддона. При рухомості до 5 см суміш ущільнюють 12 натисками

шпателя (6 натисків вздовж однієї сторони та 6 – у перпендикулярному напрямку), з рухомістю 5 см і більше – штикуванням сталевим стержнем 25 разів. Форми, заповнені розчиною сумішшю, витримують до розпалублення 1 добу:

– на гідравлічних в'язучих – у камері нормального тверднення при температурі $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $(95\pm 5)\%$;

– на повітряних в'язучих – в приміщенні при температурі $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(65\pm 10)\%$.

Якщо через 1 добу міцність зразків недостатня для розпалублення їх допускається розпалублювати через (48 ± 2) год.

Після розпалублення зразки повинні зберігатися при температурі $(25\pm 10)^\circ\text{C}$. Зразки з розчинів на гідравлічних в'язучих протягом трьох діб зберігаються у камері нормального тверднення або у вологому піску, тирсі, поліетиленових пакетах. Час, що залишився до випробувань, зразки з розчинів, які тверднуть на повітрі, зберігаються у приміщенні при відносній вологості повітря $(65\pm 10)\%$, з розчинів, які тверднуть у вологому середовищі – у воді.

В умовах зимового мурування конструкцій на кожний термін випробувань виготовляють по 6 зразків, які зберігаються на відкритому повітрі в тих самих умовах, що і конструкції. У подальшому 3 зразки після їх відтавання і досягнення температури приміщення $(25\pm 10)^\circ\text{C}$ випробовують у терміні необхідні для контролю міцності розчину на стиск у конструкції, а 3 зразки, що залишилися випробовують після їх відтавання і подальшого 28-добового тверднення при температурі не нижче $(25\pm 10)^\circ\text{C}$.

При випробуванні зразків розчину стискальна сила повинна бути спрямована паралельно шарам укладки розчинової суміші у форму, а вертикальна вісь зразка проходить через центр плити преса. Навантаження на зразок прикладається протягом не менше 30 с зі швидкістю не більше 0,6 МПа/с.

Границю міцності розчину на стиск R_{cm} , обчислюють як середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох зразків. Для кожного зразка її розраховують із похибкою до 0,01 МПа за формулою:

$$R_c = \frac{P}{S}, \quad (4.8)$$

де P – руйнівне навантаження, Н;

S – робоча площа перерізу зразка, см².

Морозостійкість розчинів випробовують шляхом багаторазового поперемінного заморожування зразків кубів із ребром 70,7 мм у насиченому водою стані при температурі мінус 15...20° С і відтавання їх у воді за температури 15...20° С. Для проведення випробувань виготовляють 6 зразків-кубів, із яких 3 зразки піддають заморожуванню та відтаванню, а інші 3 зразки є контрольними. Основні і контрольні зразки після витримування у камері нормального тверднення у 28-добовому віці насичують водою протягом не менше 48 год при температурі 15...20° С. Температура заморожування зразків у морозильній камері – мінус 15...20° С, тривалість одного заморожування – не менше 4 год. Після вивантаження із морозильної камери зразки відтають у воді при температурі 15...20° С протягом не менше 3 год.

Марка за морозостійкістю розчинів визначається найбільшим числом циклів поперемінного заморожування і відтавання при якому втрата міцності не перевищує 25%, а втрата маси – не більше 5%.

Втрату міцності зразків, Δ , % обчислюють за формулою:

$$\Delta = \frac{R_{c.k} - R_{c.o}}{R_{c.k}} \cdot 100, \quad (4.9)$$

де $R_{c.k}$ – середнє арифметичне значення міцності на стиск контрольних зразків, МПа;

$R_{c.o}$ – середнє арифметичне значення міцності на стиск основних зразків після випробування їх на морозостійкість, МПа.

Контрольні зразки випробовують на міцність у насиченому водою стані перед початком заморожування основних зразків.

Втрату маси зразків, M , % обчислюють за формулою:

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (4.10)$$

де m_1 – маса насиченого водою зразка перед випробуванням на морозостійкість, г;

m_2 – маса насиченого водою зразка після випробування на морозостійкість, г.

Втрату маси зразків після випробування на морозостійкість обчислюють як середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох зразків.

Якщо при контрольному візуальному огляді, який проводять через кожні 5 циклів заморожування і відтавання, на двох із трьох зразках встановлені видимі пошкодження (розшарування, поява тріщин, викришування тощо) випробування на морозостійкість припиняють.

Приклад 4.1. Розрахувати показники основних властивостей будівельних розчинів за результатами випробувань, які наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати випробувань розчинів

Властивість, що контролюється	Показники	Значення для зразків			Значення показника властивості
		№1	№2	Середнє	
Рухомість розчинових сумішей	Глибина занурення конуса, мм	82	87	84	80
Густина розчинової суміші	Маса мірної посудини (m_1), г	350	350	350	
	Маса мірної посудини з розчиновою сумішшю (m), г	2300	2420	2360	
	Середня густина (ρ), кг/см ³	1,95	2,07	2,01	

продовження табл. 4.1

Властивість, що контролюється	Показники	Значення для зразків			Значення показника властивості
		№1	№2	Середнє	
Розшаровуваність	Вміст заповнювача у верхній частині ущільненої розчинової суміші (V_1), %	28,5	27,8	28,1	
	Вміст заповнювача у нижній частині ущільненої розчинової суміші (V_2), %	33,5	32,1	32,8	
	Показник розшаровуваності (I), %	8	7	7,5	
Водоутримувальна здатність	Маса фільтрувального паперу до випробовувань, г	15	15	15	
	після випробовувань, г	25	27	26	
	Маса приладу без розчинової суміші, г	650	649	649,5	
	з розчиновою сумішшю, г	845	840	843,5	
	Водоутримувальна здатність (W_y), %	94,9	93,8	94,1	

продовження табл. 4.1

Властивість, що контролюється	Показники	Значення для зразків			Значення показника властивості
		№1	№2	Середнє	
Середня густина розчину в сухому стані	Середня густина розчину ρ_w при вологості $W=15\%$, кг/м ³	2050	2040	2045	
	Вологість розчину в момент випробування $W_m, \%$	5	5	5	
	Середня густина розчину ρ_n , кг/м ³	1947	1938	1955	1947
Водопоглинання	Маса сухого зразка m_c , кг	0,21	0,230	0,227	
	Маса насиченого водою зразка m_v , кг	0,25	0,280	0,275	
	Середня густина розчину в сухому стані, кг/м ³	1947	1947	1947	
	у вологому стані, кг/м ³	2050	2060	2060	
	Водопоглинання за масою $W_m, \%$	19,1	23,7	21,4	21,4
	Водопоглинання за об'ємом $W_o, \%$	18,1	22,5	20,02	20,0

продовження табл. 4.1

Властивість, що контролюється	Показники	Значення для зразків			Значення показника властивості
		№1	№2	Середнє	
Границя міцності на стиск	Руйнівне навантаження, Н	31000	31500	31567	6,23
	Робоча площа перерізу зразка, см ²	51,4	49,8	50,6	
	Границя міцності, МПа	6,03	6,33	6,32	

4.2. Спеціальні властивості розчинів на основі сухих сумішей

Властивості розчинових сумішей і розчинів на основі сухих модифікованих будівельних сумішей нормуються ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Методи випробувань загальних властивостей розчинів, що виготовляються, в тому числі і на основі сухих будівельних сумішей, розглянуті вище. В цьому параграфі розглядається ряд методів випробувань спеціальних властивостей розчинових сумішей і розчинів на основі сухих модифікованих будівельних сумішей.

Розчинові суміші із сухих будівельних сумішей для лабораторного контролю виготовляють у змішувачі із насадкою зі швидкістю валу 400...600 обертів за хв. (рис. 4.3).

У ємність, діаметр якої співвідноситься з діаметром насадки в межах 1:2...3, спочатку вливають у необхідній кількості воду, потім засипають пробу сухої суміші достатню для проведення запланованих випробувань і перемішують протягом (60 ± 5) с. Отриману розчинову суміш витримують (180 ± 10) с і знову перемішують (45 ± 5) с. При випробуванні властивостей розчинових сумішей та розчинів значення кожного показника визначають як середнє арифметичне результатів випробувань не менше трьох зразків, якщо інше не вказано в конкретних методиках.

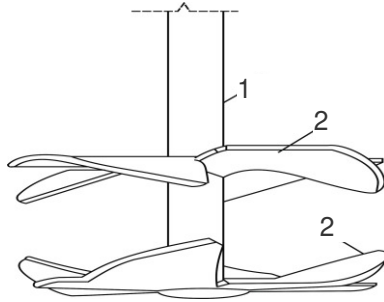


Рис. 4.3. Загальний вигляд насадки для змішувача:
 1 – стержень діаметром (7 ± 2) мм;
 2 – лопати діаметром (50 ± 5) мм, товщиною від 1,5 мм до 2 мм, загнуті під кутом (45 ± 5) , які розміщені одна від одної на відстані від 60 мм до 80 мм

Мурувальні розчини. Вимоги до сумішей для мурування, розчинових сумішей та розчинів на їх основі приведені в табл.3.10.

До спеціальних властивостей мурувальних розчинів можна віднести термін придатності і міцність зчеплення з основою, а для сумішей групи МР4 також теплопровідність.

Термін придатності визначають часом втрати рухомості або розтічності, строками тужавлення або часом зміни інших показників розчинових сумішей до ступеня, за якого стає неможливим їх подальше застосування.

Міцність зчеплення розчину з основою визначають на макетах, які можуть тверднути:

- 1) в повітряно-сухих умовах 28 діб;
- 2) 14 діб в повітряно-сухих умовах і 14 діб в сушильній шафі з температурою 70°C ;
- 3) 7 діб в повітряно-сухих умовах, 20 діб у водяній ванні при температурі води $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ з послідуочим висушуванням, і додатковим зануренням через 7 год. після приклеювання металевих відривачів у воду на 24 год;
- 4) 7 діб в повітряно-сухих умовах, 21 добу у водяній ванні при температурі $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ з послідуочим заморожуванням та

відтаванням протягом контрольного числа циклів (заморожування 2 год при температурі мінус $(15\pm 3)^\circ\text{C}$, відтавання 2 год у водяній ванні при температурі $12\dots 20^\circ\text{C}$).

В якості основи макетів застосовують спеціально підготовлену плиту з бетону класу не нижче В 16/20 із водопоглинанням не більше 6% за масою, завтовшки не менше 40 мм. На бетонну плиту наклеюють не менше 5 зразків керамічної або склоподібної плитки (допускається також плитка з природного каменю) розміром 50×50 мм. Зразки, які знаходяться на відстані не менше 15 мм один від одного привантажують гирею масою 2 кг.

Після витримування макетів у відповідних умовах тверднення до поверхні плитки епоксидним клеєм приклеюють металеві відривачі-пластини розмірами 50×50 мм і товщиною не менше 10 мм.

Розчин випробовують на міцність зчеплення визначенням зусилля на відрив плитки від основи. Результатом випробувань є середнє значення адгезійної міцності в $\text{H}/\text{мм}^2$ з точністю до 0,1 $\text{H}/\text{мм}^2$.

При випробуванні відзначають характер відриву зразків від основи. Можливі варіанти відриву (АТ-1, АТ-2, АТ-3) приведені на рис. 4.4.

При відриві зразків за варіантами АТ-2 або АТ-3 результати випробування слід вважати нижчими фактичного значення міцності зчеплення розчину з основою.

Для розчинів групи МР-4, призначених для теплозберігаючих огороджуючих конструкцій визначається теплопровідність (за методикою для бетонів).

Розчини для улаштування підлог. Вимоги до розчинових сумішей і розчинів цієї групи приведені в табл. 3.12.

Окрім властивостей, розглянутих раніше, для розчинів цієї групи залежно від їх призначення в конструкції підлог нормуються розтічність, границя міцності на розтяг при згині через 28 діб, стираність і усадка.

Розтічність розчинових сумішей визначають за діаметром розпливу розчинової суміші з кільця приладу Віка, який замірюють через 120 с з моменту підняття кільця з

точністю до 0,5 см у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

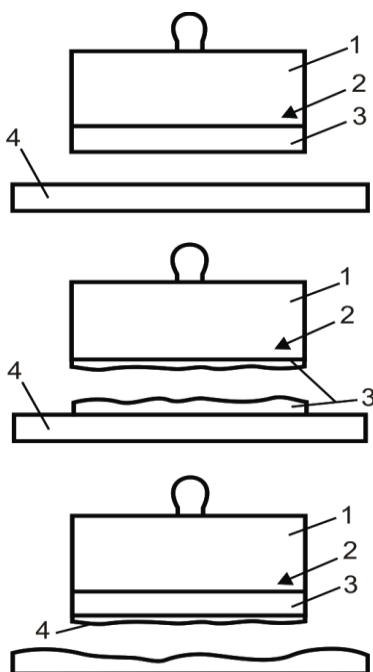


Рис. 4.4. Варіанти відриву зразка від основи:
а) АТ-1 – адгезійний відрив на границі зразок-основа;
б) АТ-2 – когезійний відрив по тілу зразка;
в) АТ-3 – відрив по тілу основи:
1 – гиря; 2 –металевий відривач; 3 – платка;
4 – основа

Границю міцності розчинів на розтяг при згині при використанні гідравлічних в'язучих визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239 у віці 3 та 28 діб. Для розчинів на гіпсових і гіпсовміщуючих в'язучих границю міцності на розтяг при згині визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-82 – після витримування 7 діб в повітряно-сухих, а потім – висушування до постійної маси при температурі $(50\pm 5)^\circ\text{C}$.

Стіраність розчинів також як і бетонів визначають за ДСТУ Б В.2.7-212 на установках типу “круг стірання” (рис. 4.5).

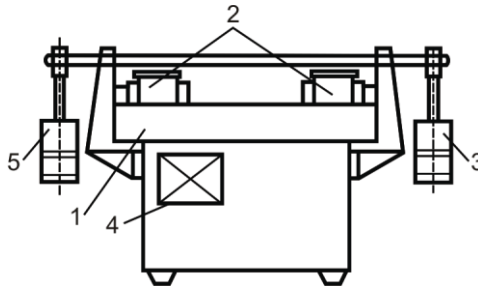


Рис. 4.5. Круг стірання типу ЛКИ – 3
1 – диск; 2 – зразки, що випробовуються;
3 – навантажувальний пристрій;
4 – лічильник обертів

Випробування проводять на зразках-кубах з довжиною ребра 70 мм, або циліндрах діаметром і висотою 70 мм у повітряно-сухому стані. До випробування зразки зважують і заміряють площу грані, що піддається стіранню. До кожного зразка прикладають вертикальне навантаження величиною (300 ± 5) Н, що відповідає тиску (60 ± 1) кПа. На стираючий диск рівномірним шаром насипають порцію шліфзерна. Через кожні 30 м (28 обертів круга типу ЛКИ-2 або ЛКИ-3) диск зупиняють, видаляють залишки абразиву і розтертого в порошок розчину та насипають нову порцію абразиву. Вказану операцію для одного циклу випробувань повторюють 5 разів (150 м шляху стірання).

Після кожного циклу випробувань зразки виймають із гнізда приладу, повертають на 90° в горизонтальній площині і проводять нові цикли випробувань. Усього для кожного зразка проводять 4 цикли випробувань (загальний шлях стірання 600 м).

Стіраність σ , г/см^2 визначають як середнє арифметичне значення втрати маси зразків із похибкою до $0,1 \text{ г/см}^2$ за формулою:

$$\sigma = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (4.11)$$

де m_1 і m_2 – відповідно маса зразка до і після випробовувань;

F – площа грані зразка, яка піддається стиранню, см².

Усадку розчинів контролюють згідно з ДСТУ Б В.2.7-216 на зразках-призмах розмірами 40×40×160 мм.

Розпалубку зразків виконують після кінця тужавлення, але не раніше ніж 24 год. з моменту формування і беруть початковий відлік лінійного розміру зразка, з яким порівнюють усі подальші виміри.

Розчини для кріплення матеріалів та виробів. Вимоги до сухих і розчинових сумішей та розчинів на їх основі для даної групи приведені в табл. 3.8.

До спеціальних властивостей розчинових сумішей і розчинів даної групи, не розглянутих раніше, можна віднести відкритий час, час коригування, зміщення матеріалу, що закріплюється, прогин, час можливого технологічного пересування.

Під *відкритим часом* розуміють допустимий час витримування розчинової суміші для закріплення матеріалів від початку її нанесення на основу до моменту утворення кірки на поверхні, яка запобігає закріпленню матеріалу. Відкритий час також як і міцність зчеплення визначають на макетах, що складаються з основи – бетонної плити, нанесеної на неї розчинової суміші і плиток, що приклеюються. До приклеювання зразки кожної серії (не менше 5 розміром 50×50 мм) витримують залежно від значення показника, вказаного в табл. 3.8. Макет з наклеєними зразками зберігають 28 діб у повітряно-сухих умовах. Відкритим часом у хв. вважають максимальний інтервал часу, за який розчин набуває міцності зчеплення із основою не менше 0,5 МПа.

Час коригування положення матеріалу, що закріплюється, оцінюють як час від початку приклеювання першої плитки до моменту випробування останньої плитки, коли ще не відбулося її відривання після коригування положення.

На шар розчинової суміші, який наноситься на горизонтальну бетонну плиту, одночасно кладуть три керамічні

плитки на відстані 50 мм одна від одної і навантажують їх гирями масою по 500 г на 30 с. Через термін, наведений в табл. 3.8 повертають без зусилля кожен укладену плитку на 180°. Результат є позитивним, якщо не менше двох плиток не відривалося.

Зміщення матеріалу, що закріплюється (схильність до сповзання керамічної плитки) визначають як її переміщення у вертикальній площині по розчинової суміші завтовшки ($3\pm 0,5$) мм, нанесеній на текстолітову плиту. На шар розчинової суміші кладуть керамічну плитку розміром (100×100) мм масою не менше (200 ± 10) г із водопоглинанням не більше 0,2% (для сумішей ЗК2, ЗК3 та ЗК4) або (150×150) мм масою (190 ± 10) г із водопоглинанням (15 ± 3) % (для сумішей ЗК1), або (100×100) мм з масою не менше (400 ± 10) г (для сумішей ЗК7). Плитку навантажують гирею 5 кг на (30 ± 2) с. Закріплюють індикатор біля одного з ребер плитки, переводять текстолітову плиту з нанесеним шаром розчинової суміші та плиткою у вертикальне положення і через 10 хв. фіксують показання індикатора. Для сумішей ЗК1 навішують на плитку вантаж масою 300 г на (60 ± 2) с і знову фіксують показання індикатора. Результатом випробування є замір сповзання плитки, мм при його наявності.

Прогин розчинів для закріплення визначається як зміна довжини розчину під час його навантаження до початку руйнування. До металевого піддона прикріплюють поліетиленову плівку так, щоб поверхня, на яку укладають розчиновою суміш не була деформованою. На поліетиленову плівку встановлюють шаблон у вигляді жорсткої рамки з неадсорбуючого матеріалу завдовжки (280 ± 1) мм і завширшки (45 ± 1) мм і шпателем заповнюють його розчиновою сумішшю. Після зняття шаблону залишають зразок розчину, який витримують на піддоні у поліетиленовому пакеті у лабораторних умовах протягом 14 діб, після чого виймають з пакету і у відкритому вигляді витримують ще 14 діб. Після витримання зразка протягом 28 діб його знімають з піддону та укладають на випробувальний стояк (рис. 4.6).

Деформують зразок, прикладаючи зусилля шляхом тиску на накладену на нього посередині кувалду зі швидкістю 2 мм/хв

до появи на нижній поверхні зразка першої тріщини. Результатом випробувань є середнє арифметичне значення прогину зразка, мм, як відстань від точки максимального прогину до горизонтальної поверхні зразка, коли з'явилася перша тріщина.

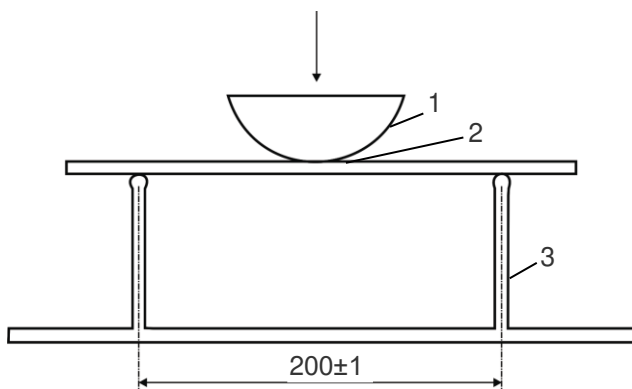


Рис. 4.6. Схема випробувального стояка для визначення прогину розчинів:
1 – кувалда; 2 – зразок розчину; 3 – стояк

Час можливого технологічного пересування по укладеній плитці визначається в годинах як час, коли міцність зчеплення розчинів з основою становить не менше 0,3 МПа.

Штукатурні, шпаклювальні та реставраційні суміші.

Вимоги до штукатурних, реставраційних та шпаклювальних розчинових сумішей та розчинів на їх основі приведені в табл. 3.2, 3.3. і 3.6.

Крім вимог до властивостей, методи визначення яких розглянуті раніше, для розчинів вказаних груп ставляться вимоги щодо коефіцієнта водопоглинання, паропроникності і тріщиностійкості.

Коефіцієнт водопоглинання розчинів визначають за масою води, яка поглинулася лицьовою поверхнею зразка площею не менше 50 см². Зразки формують із розчинової суміші на твердій підкладці. Розчинову суміш із мінеральним в'язучим наносять

шаром не менше 20 мм, з органічним в'язучим – шаром не менше 5 мм. Отримані зразки твердіють протягом 28 діб в повітряно-сухих умовах. Після цього їх бокові поверхні обробляють водонепроникним матеріалом. Потім зразки зважують (m_1) та занурюють у воду з температурою близько 20°C на 24 год на глибину (2 – 10) мм, так щоб змочувалась виключно їх лицьова поверхня, після чого виймають, промокають фільтрувальним папером та знову зважують (m_2). Коефіцієнт водопоглинання обчислюють за формулою:

$$K = \frac{m_2 - m_1}{F \cdot \sqrt{\tau}} \cdot k_2 / M^2 \cdot \sqrt{200}, \quad (4.12)$$

де m_2 – маса водонасиченого зразка, кг;

m_1 – маса сухого зразка, кг;

F – площа зразка в плані, м²;

τ – час занурення зразка, год.

Паропроникність розчинів – їх здатність пропускати або затримувати водяну пару в результаті різниці парціального тиску пари при однаковому атмосферному тиску на обох сторонах покриття, яке утворює розчин. Для визначення паропроникності виготовляють зразки розчину діаметром (50±1) мм і товщиною (20±1) мм. В скляну, або металеву посудину закладають вологопоглинаючу речовину і ставлять зразок. Зазор між зразком і стінкою посудини заповнюють герметизуючою пастою. Посудину зі зразком зважують кожні 24 год і визначають кількість водяної пари, що пройшла крізь зразок. Зважування повторюють доти, поки зміна маси за одиницю часу не буде постійною. Насичення водою вологопоглинаючої речовини не повинно перевищувати 5% початкової маси. *Коефіцієнт паропроникності* (δ_m), обчислюють за формулою:

$$\delta_m = \frac{(m_2 - m_1)h}{A(\tau_2 - \tau_1)(P_c - P_i)}, \quad (4.13)$$

де $m_2 - m_1$ – кількість водяної пари, що проходить крізь зразок за інтервал часу від τ_1 до τ_2 , кг;

h – товщина зразка, м;

A – площа зразка, м²;

$\tau_2 - \tau_1$ – інтервал часу між двома зважуваннями, с;

$P_c - P_i$ – різниця значень парціального тиску водяної пари на зразку, Па.

За коефіцієнт паропроникності приймають середнє арифметичне значення результатів чотирьох визначень однієї серії випробовувань, які відрізняються між собою не більше ніж на 5%.

Тріщиностійкість розчинів визначають за допомогою зразків, які отримують нанесенням розчинової суміші на основу з водопоглинанням не більше 3% за допомогою рамки (рис. 4.7) шаром перемінного перерізу від мінімально до максимально рекомендованої виробником товщини.

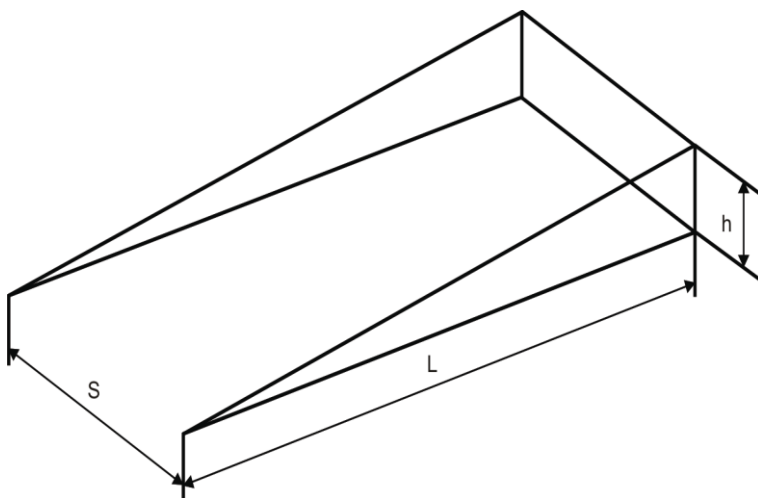


Рис. 4.7. Рамка для визначення тріщиностійкості розчинів

Розміри рамки, мм	h	L	S
Штукатурні розчини	30	150	80
Шпаклювальні розчини	10	150	60

Якісною оцінкою тріщиностійкості є відсутність тріщин на зразках із максимально рекомендованою товщиною після їх тверднення протягом 24 год у повітряно-сухих умовах.

Вміст повітряних пор у розчинах визначають за методикою ДСТУ Б В.2.7-170 із виготовленням зразків-балочок розмірами (40×40×160) мм та використанням як рідини гасу, в який їх занурюють під час випробувань.

Водопоглинання реставраційних розчинів визначається за допомогою трубки Карстена – скляного мірного циліндра з ціною поділки 0,1 мм із площею нижнього отвору не менше 4 см² та висотою не більше 200 мм. Розчинову суміш наносять на азбестоцементну пластинку або плиту та залишають тверднути 24 год. після нанесення. На зразок за допомогою герметика приклеюють три трубки Карстена: одну на середині плити, дві – одна навпроти одної на відстані 50 мм від краю. Після того, як герметик затвердне, в трубки наливають воду до верхньої поділки вимірювальної шкали. Через 24 год. фіксують об'єм поглинутої зразком води.

Результатом визначення водопоглинання є відношення середнього арифметичного значення кількості води, що поглинута розчином під трубками, до площі контакту поверхні матеріалу з водою.

Здатність до насичення солями реставраційних штукатурних розчинів визначається як здатність до адсорбційного поглинання солі з її концентрованого розчину. Зразки-балочки (40×40×160) мм, які тверднули 28 діб у повітряно-сухих умовах, висушують до постійної маси. Три зразки занурюють у насичені розчини солей натрію з групи хлоридів, нітратів та сульфатів, в яких тримають протягом однієї доби. Інші три зразки витримують як контрольні. Насичені зразки висушують до постійної маси, зважують після висушування та випробовують на міцність при стиску. Результатом випробувань є середнє арифметичне значення у відсотках різниці показників границі міцності насичених сіллю зразків і контрольних зразків.

Гідроізоляційні розчини. Вимоги до гідроізоляційних розчинів приведені в табл. 3.13.

Водонепроникність за методом "микрої плями" (ДСТУ Б В.2.7-170) визначають для розчинів, які призначені для жорсткої і еластичної гідроізоляції. Для випробовування виготовляють

бетонні зразки діаметром (150 ± 5) мм, висотою не більше 60 мм та наскрізним прямокутним прорізом по центру довжиною (100 ± 2) мм і шириною $(1,0\text{...}1,5)$ мм. На зразок наносять розчинну суміш, що випробовують. Зразки слід витримувати в повітряно-сухих умовах протягом мінімального терміну, який вказаний в інструкції щодо використання цієї суміші. Для випробувань зразки встановлюють у гнізда на металевій площадці випробувальної установки з підведенням води і притискають за допомогою кріплень так, щоб проріз у бетонному зразку по всій своїй довжині був під тиском води. Якщо гідроізоляційна суміш призначена для нанесення на бетонний зразок з боку дії води (позитивний тиск) (рис. 4.8), то зразок встановлюють основою вниз, якщо суміш призначена для гідроізоляції з боку основи (негативний тиск), то зразок встановлюють основою догори.

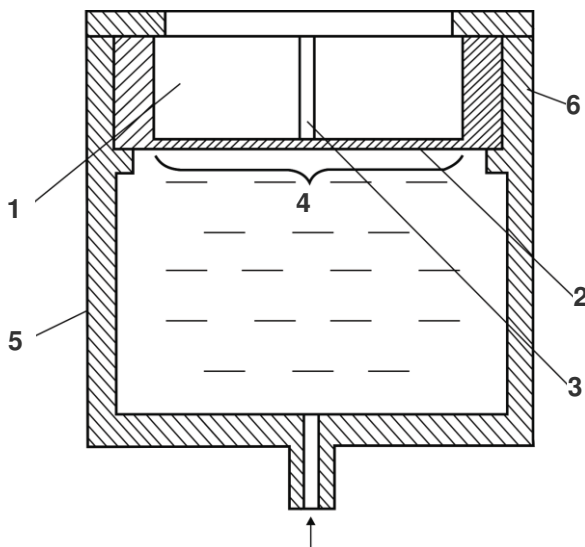


Рис. 4.8. Схема розташування зразка для випробування на водонепроникність при позитивному тиску:
 1 – бетонний зразок; 2 – покриття з суміші, що випробовується; 3 – проріз; 4 – поверхня зразка;
 5 – випробувальна камера стенду; 6 – ущільнювач

Еластичність гідроізоляційних розчинів при згині визначають за мінімальним діаметром металевого циліндричного стержня, згинання на якому не викликає механічних пошкоджень, тріщиноутворення чи розшарування зразка, виготовленого з еластичної гідроізоляційної суміші.

Зразок, що випробовують, кладуть на стержень, щільно притискають до нього та плавно згинають протягом (1...2) с на 180° навколо стержня, потім поверхню зразка в місці згину розглядають щодо наявності тріщин та розшарувань. Якщо вказані дефекти відсутні, то виконують згинання зразка кожен раз в іншому місці послідовно від стержня більшого діаметра до меншого до тих пір, поки не з'являться вищезазначені дефекти.

За результат випробувань приймають мінімальний діаметр стержня в міліметрах, при згинанні зразка на якому не було виявлено руйнування поверхні зразка. Оцінку еластичності покриття із гідроізоляційної суміші при згині на циліндричному стержні виконують після випробування трьох зразків на стержні одного діаметра. Результати випробувань повинні збігатися не менш ніж для двох зразків, що випробовуються, якщо збіг не досягнуто, випробування повторюють на шести зразках.

Розчини для анкерування і монтажу. Для визначення *міцності на виривання анкеру* у бетонній плиті висвердлюють круглі отвори глибиною не менше 50 мм, у центрі отвору встановлюють анкер і у простір між анкером та внутрішньою поверхнею отвору укладають розчинову суміш. Глибина закладки анкерів повинна дорівнювати $(50 \pm 1,5)$ мм. Після приготування зразок витримують в повітряно-сухих умовах протягом 28 діб і за допомогою випробувальної машини виривають анкер з бетону, фіксуючи максимальне прикладене зусилля. Зусилля виривання (Н) відносять до площі перерізу анкерів (мм^2). Розраховують середнє арифметичне значення міцності на виривання з точністю до 10 Н/мм^2 .

5. Проектування складів будівельних розчинів

5.1. Проектування складів розчинів

Розрахунок складів цементно-піщаних розчинів з заданою міцністю і рухомістю. Міцність розчинів як і бетонів залежить, переважно, від активності в'язучого і водов'язучого відношення. Для прогнозування міцності цементно-вапняних будівельних розчинів широко використовують формули М.О. Попова. При укладанні на щільну основу міцність розчинів (R_p) розраховують за формулою:

$$R_p = 0,25R_u(C/B - 0,4), \quad (5.1)$$

де R_u – активність цементу;

C/B – цементно-водне відношення.

При відсмоктуванні води пористою основою в розчинах з різним C/B залишається приблизно однакова кількість води і міцність змінюється залежно від витрати в'язучого:

$$R_p = KR_u(C - 0,05) + 4, \quad (5.2)$$

де K – коефіцієнт якості піску: для крупного піску $K=2,2$; піску середньої крупності $K=1,8$; дрібного піску $K=1,4$.

Для прогнозування міцності цементних розчинів, які укладають на щільну основу, можна використовувати формулу, запропоновану для дрібнозернистих бетонів:

$$R_p = AR_u(C/B - 0,8), \quad (5.3)$$

де A – коефіцієнт, рівний 0,8 для високоякісних матеріалів, 0,75 для матеріалів середньої якості і 0,65 для цементів низьких марок і дрібного піску.

Орієнтовно міцність на стиск цементних і змішаних розчинів у віці 28 діб можна також визначити за формулою

$$R_p = \frac{R_g Q_g}{1000} (763 + 2,4R_g Q_g - 0,002R_g^2 Q_g^2), \quad (5.4)$$

де R_g , – активність в'язучого, МПа;

Q_g – витрата в'язучого, т на 1 м³ піску.

За формулами міцності можна розрахувати необхідне C/B або безпосередньо витрату цементу на 1 м^3 розчину.

Орієнтовну витрату в'язучого при заданій марці цементу відповідно до формули (5.4) приймають за табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Орієнтовна витрата в'язучого

В'язучі	Марка розчину	Рекомендовані марки в'язучого	$R_e Q_e \cdot 10^{-2}$	Витрата в'язучого, кг	
				на 1 м^3 піску	на 1 м^3 розчину
Портланд-цемент і його різновиди	200	500	180	360	410
		400		450	490
	150	500	140	280	330
		400		350	400
		300		470	510
	100	500	102	205	245
400		255		300	
300		340		385	
75	500	81	160	195	
	400		200	240	
	300		270	310	
	200		405	445	
50	400	56	140	175	
	300		185	225	
	200		280	325	
25	300	31	105	135	
	200		155	190	
Вапновміщуючі в'язучі (вапняно-шлакові, пуцоланові)	25	150	31	206	240
		100		310	330
	10	150	14	93	110
100		140		165	
50		280		320	
4	50	6	120	145	
	25		240	270	

Для отримання заданої марки розчину при використанні в'язучих, активність яких в МПа ($R_{вф}$) відрізняється від наведеної в табл. 5.1 витрата в'язучого $Q_{вф}$ на 1 м^3 піску визначається за формулою

$$Q_{вф} = \frac{R_v Q}{R_{вф}} 1000. \quad (5.5)$$

Витрата в'язучого на 1 м^3 піску вологістю 3-7% в змішаних розчинах, що визначається при розрахунку і підборі складу, повинна бути по можливості найменшою, але не менше наведеної в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Мінімальна допустима витрата цементу, кг на 1 м^3 піску
в змішаних розчинах

Застосування розчину	Найменування розчину	Мінімальна витрата в'язучого, кг на 1 м^3 піску
Для наземної кладки будівель при відносній вологості повітря приміщень до 60%, а також кладки фундаментів в маловологісних ґрунтах	Цементно-вапняний,	75
	цементно-глиняний,	100
	цементний і цементно-вапняний з органічними пластифікаторами	100
Те ж, а також для кладки фундаментів у дуже вологих і насичених водою ґрунтах	Те ж	100
		125
		125

Витрату в'язучого на 1 м^3 розчину визначають діленням витрат в'язучого на 1 м^3 піску на коефіцієнт виходу розчину. Останній представляє собою відношення об'єму розчину до об'єму піску при даному складі розчину.

Кількість неорганічних пластифікаторів (вапняного або глиняного тіста) V_0 в л на 1 м^3 піску розраховують за формулою:

$$V_0 = 170(1 - 0,002Q_6) \quad (5.6)$$

При застосуванні кам'яних матеріалів із підвищеним водоглинянням в районах із жарким і сухим кліматом витрата вапняного тіста для підвищення водоутримуючої здатності розчину може бути збільшена в 1,5 рази. Вапно застосовують у виді вапняного тіста з густиною $\rho_0 = 1400 \text{ кг/м}^3$ (для вапна II сорту, при застосуванні вапна I сорту кількість тіста зменшується на 10 %). При застосуванні вапняного тіста з іншою густиною кількість його визначають множенням розрахункового об'єму тіста з $\rho_0 = 1400 \text{ кг/м}^3$ на коефіцієнт K_6 (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Значення коефіцієнта K_6 для вапняного тіста різної густини

Густина вапняного тіста або молока	K_6	Густина вапняного тіста або молока	K_6	Густина вапняного тіста або молока	K_6
1,50	0,80	0,36	1,11	1,22	1,82
1,48	0,83	1,34	1,17	1,20	2,00
1,46	0,87	1,32	1,25	1,18	2,22
1,44	0,90	1,30	1,33	1,16	2,50
1,42	0,95	1,28	1,43	1,14	2,86
1,40	1,00	1,26	1,54	1,12	3,33
1,38	1,05	1,24	1,67	1,10	4,00

Добавка глини вводиться в розчин у вигляді тіста з глибиною занурення конусу 13...14 см або порошку грубого помелу. При застосуванні глиняного порошку з пісної глини його дозу порівнюють до дози глиняного тіста, а з жирної зменшують на 25 % порівняно з розрахунковим об'ємом.

Для цементно-вапняних і цементно-глиняних розчинів рухомістю 9...10 см витрату води, л на 1 м^3 піску орієнтовно розраховують за формулою:

$$B = 0,5(C + V_o \rho_{o,o}), \quad (5.7)$$

де $\rho_{o,o}$ – середня густина неорганічного пластифікатора, кг/л (для вапняного тіста 1,4).

Фактичну витрату води уточнюють на пробних замісах при отриманні розчинової суміші необхідної рухомості.

Для покращення властивостей розчинів (пластичності, водоутримуючої здатності, міцності) можна вводити золу-виносу ТЕС. Оптимальний вміст золи в цементно-вапняних розчинах (100...200 кг/м³) дає можливість економити до 30...50 кг/м³ цементу і 40...70 кг/м³ вапняного тіста. Розчини з добавкою золи не рекомендується застосовувати в зимовий період.

Для підвищення пластичності цементних розчинів, повної або часткової заміни вапняного тіста застосовують добавки органічних пластифікаторів-мікропіноутворювачів.

Для проектування складів цементно-піщаних розчинів можна використовувати методику рекомендовану для розрахунку складів піщаних бетонів.

Установлено, що для кожного складу піщаного бетону є оптимальне значення В/Ц, при якому забезпечуються найвищі значення міцності. При низьких значеннях В/Ц ($V/C \leq 0,4$) міцність бетону змінюється лінійно залежно від цементно:піщаного співвідношення (Ц:П). При зменшенні Ц:П нижче оптимальних значень знижується легкоукладальність сумішей (рис. 5.1), що утруднює їх укладання, при збільшенні зростає кількість надлишкової води, що також приводить до зниження міцності.

В.П. Сизов для піщаного, як і для звичайного бетону, при розрахунку В/Ц запропонував застосовувати формулу:

$$B / C = \frac{(A + \sum \Delta A) R_u}{\frac{f_{cm}}{K_1 K_2} + 0,5(A + \sum \Delta A) R_u}, \quad (5.8)$$

де $\sum \Delta A$ – сума відповідних поправок залежно від показників легкоукладальності, модуля крупності піску, нормальної густоти цементного тіста.

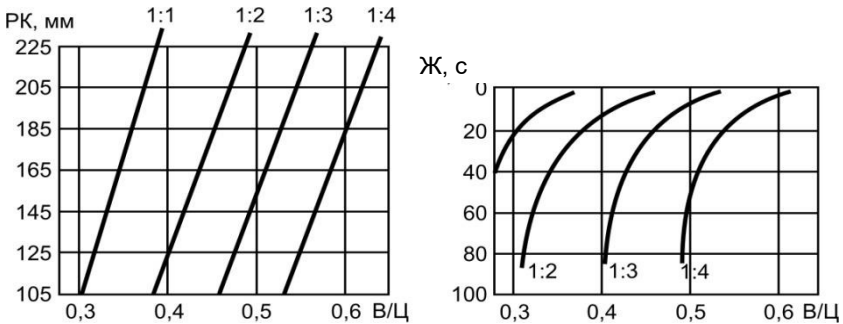


Рис. 5.1. Графіки для вибору співвідношення між цементом і піском середньої крупності (водопотреба 7%), яке забезпечує задані значення розпливу конусу (РК) і жорсткості (Ж) цементно-піщаних сумішей

Коефіцієнт K_1 залежить від мінералогічного складу цементу: при $C_3A > 10\%$ $K_1 = 0,88$; $C_3A < 10\%$ $K_1 = 0,92$; $C_3A < 6\%$ $K_1 = 0,99$; $C_3S > 55\%$ $K_1 = 0,92$. Коефіцієнт K_2 залежить від коефіцієнта варіації міцності бетону (V_c). При $V_c = 9 \dots 12\%$ $K_2 = 0,98$, $V_c = 13\%$ $K_2 = 0,95$ і $V_c = 14 \dots 17\%$ $K_2 = 0,92$.

Зміна в піску вмісту відмулюваних домішок від 1 до 5% викликає зменшення значення коефіцієнта A від 0,52 до 0,47. У цих же межах відповідно зменшуються значення A при переході від малорухомих до литих сумішей, зниженні модуля крупності піску від 3 до 1, збільшенні нормальної густоти цементного тіста від 27 до 34%.

Якість заповнювача для розчинів позначається на його основних властивостях у більшій мірі ніж для звичайних важких бетонів. За даними Ю.М. Баженова заміна в піщаному бетоні крупного піску дрібним може зменшувати міцність на 25...30%, а іноді в 2...3 рази.

При заданому В/Ц співвідношення між піском і цементом ($P:C=n$) однозначно визначається показником легкоукладальності суміші (рис. 5.1).

Відомі значення В/Ц і n дозволяють легко знайти, на основі рівняння матеріального балансу (суми абсолютних

об'ємів) витрати всіх компонентів цементно-піщаної розчинової суміші:

$$Ц = \frac{1000 - V_{n.г}}{1/\rho_{ц} + B/Ц + n/\rho_n}, \quad (5.9)$$

$$B = Ц \cdot B/Ц, \quad (5.10)$$

$$\Pi = nЦ. \quad (5.11)$$

У наведених формулах: $V_{п.в}$ – об'єм втягнутого повітря, л/м³; $\rho_{ц}$ і $\rho_{п}$ – густина цементу і піску в кг/л.

Витрату піску в сумішах можна розраховувати також на основі уявлень про заповнення цементним тістом об'єму пустот між зернами заповнювача з урахуванням їх необхідного розсунення. У цьому випадку розв'язується система рівнянь:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{\Pi}{\rho_n} + B + V_{п.в} = 1, \quad (5.12)$$

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B = \alpha_{ц.п} \Pi_n^0 \frac{\Pi}{\rho_{п.п}}, \quad (5.13)$$

де $\rho_{п.п}$ – насипна густина піску, кг/м³;

Π_n^0 – пустотність піску;

$\alpha_{ц.п}$ – коефіцієнт заповнення пустот і розсунення зерен піску.

Звідси:

$$\Pi = \frac{\rho_n \rho_{п.п} (1 - V_{п.г})}{\rho_{п.п} + \alpha_{ц.п} \Pi_n^0 \rho_n}. \quad (5.14)$$

Формулу (5.11) можна також записати у виді:

$$\Pi = \frac{\rho_{п.п} (1 - V_{п.г})}{1 + \Pi_n^0 (\alpha_{ц.п} - 1)}. \quad (5.15)$$

За експериментальними даними В.П. Сизова коефіцієнт $\alpha_{ц.т.}$ залежить від показників легкоукладальності цементно-піщаних сумішей, величини Ц/В, модуля крупності піску і нормальної густоти цементного тіста.

Розрахувавши витрату піску за формулою (5.15) можна знайти витрату цементу, як відношення всього об'єму цементного тіста в бетонній суміші ($V_{ц.т.}$) до виходу цементного тіста з 1 кг цементу ($V'_{ц.м}$).

Об'єм цементного тіста, л/м³:

$$V_{ц.т.} = 1000 - V_{п.}, \quad (5.16)$$

де $V_{п.}$ – абсолютний об'єм піску в л в 1 м³ бетонної суміші.

Вихід цементного тіста (л) з 1 кг цементу:

$$V'_{ц.м} = \frac{1}{\rho_{ц.}} + B / Ц, \quad (5.17)$$

$$Ц = \frac{V_{ц.м}}{V'_{ц.м}}. \quad (5.18)$$

При проектуванні складів розчинів необхідно враховувати вплив температури на міцність розчинів і можливість досягнення нормованого значення міцності в проектний термін. Орієнтовні значення відносної міцності цементних розчинів у різному віці залежно від температури тверднення приведені в табл. 5.4, 5.5.

В якості протиморозних добавок при приготуванні розчинів у зимовий період використовують нітрит натрію, поташ, сечовину, нітрат кальцію із сечовиною, нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК), хлориди натрію і кальцію, а також деякі інші солі. При цьому необхідно враховувати ряд обмежень: розчини з хлоридами кальцію, натрію або ННХК можна застосовувати лише для неармованих підземних конструкцій, а також для мурування стін і колон нежитлових будівель, поташ не можна використовувати в кількості понад

10% в розчинах із використанням заповнювачів, які містять реакційноздатний кремнезем. Забороняється застосовувати всі види добавок при зведенні конструкцій, які експлуатуються при температурі вище 40° С або вологості понад 60%, в умовах впливу агресивних факторів, в зоні перемінного рівня води і під водою без спеціальної ізоляції. Для конструкцій, на поверхні яких не допускається утворення висолів, розчин із добавкою повинен бути попередньо випробуваний на висолоутворення.

Таблиця 5.4

Відносна міцність розчинів, %

Температура тверднення, °С	Тривалість тверднення розчинів на портландцементі, діб				Температура тверднення	Тривалість тверднення розчинів на портландцементі, діб			
	1	3	7	28		1	3	7	28
1	1	5	15	52	30	23	49	72	-
5	4	11	25	68	35	27	58	79	-
10	6	18	37	83	40	32	66	87	-
15	10	24	47	95	45	38	75	94	-
20	13	33	55	100	50	43	85	99	-
25	18	42	64	104					

Примітки: 1. При температурі 30°С і вище 100 % міцності досягається до 14-добового терміну тверднення розчину за умови достатньої вологості. 2. Ріст міцності мурувальних розчинів у зимовий період можна забезпечити введенням ряду хімічних добавок (табл. 5.5).

Середня температура розчину (°С) із хімічними добавками в момент укладання повинна бути: при температурі повітря до мінус 10°С – не нижче 4...6; від мінус 11 до мінус 20°С – 9...11; нижче мінус 20°С – 14...16.

Таблиця 5.5

Відносна міцність розчинів із добавками залежно від температури тверднення

Добавка	Середньо-добова температура, °С	Кількість добавки, % від маси цементу	Орієнтовна міцність розчину, % від його марки при твердненні, діб		
			7	28	90
Нітрит натрію	0...-5	5	10	40	55
	-6...-9	8	5	30	40
	-10...-15	10	5	30	40
Поташ	0...-5	5	25	60	80
	-6...-15	10	20	50	65
	-16...-30	15	10	35	50
Нітрит натрію + поташ	0...-5	2,5+2,5	20	50	75
	-6...-15	5+5	15	40	60
	-16...-30	6+6	5	35	45
Хлористий натрій + хлористий кальцій	0...-5	3+0	35	80	100
	-6...-10	3,5+1,5	25	45	70
	-11...-15	3+4,5	15	25	50

Приклад 5.1. Розрахувати склад складного розчину марки 50 для кладки стін будівель із цегли. Рухомість розчину повинна складати 70 мм. В'яжуче – портландцемент активністю 30 МПа і насипною густиною $\rho_{н.ц}=1200\text{кг/м}^3$. Неорганічна добавка – вапняне тісто з середньою густиною $\rho_{в.т}=1400\text{кг/м}^3$, пісок – дрібний кварцовий із насипною густиною $\rho_{н.п}=1350\text{кг/м}^3$ і вологістю 6%.

Визначаємо витрату матеріалів на 1 м³ піску.

1. За табл. 5.1 знаходимо витрату цементу $C=185$ кг та його об'єм $V_{ц}=185:1,2=154$ л.

2. Об'єм вапняного тіста за формулою (5.6): $V_{д}=170(1-0,002 \cdot C)=170 \cdot 0,630=107$ л, його маса $107 \cdot 1,4=150$ кг.

3. Складаємо пропорцію об'ємних частин розчину (цемент:вапно:пісок):

$$\frac{V_{ц_1}}{V_{ц_2}} : \frac{V_{д_1}}{V_{д_2}} : \frac{V_{п_1}}{V_{п_2}} = \frac{154}{154} : \frac{107}{154} : \frac{1000}{154} = 1 : 0,7 : 6,5.$$

4. Витрата води за формулою (5.7):

$$B = 0,50(185+150) = 167 \text{ л.}$$

5. За результатами пробного замісу коефіцієнт виходу розчину – 0,84.

6. Витрата матеріалів на 1 м³ розчину:

$$\text{цемент} - \frac{185}{0,84} = 220 \text{ кг};$$

$$\text{вапно} - \frac{150}{0,84} = 179 \text{ кг};$$

$$\text{пісок} - \frac{1}{0,84} = 1,19 \text{ м}^3;$$

$$\text{вода} - \frac{167}{0,84} = 199 \text{ л.}$$

Приклад 5.2. Розрахувати склад розчину М50 для надземної кладки стін будинку з нормальним режимом експлуатації при температурі – 12° С.

Матеріали: в'язуче – портландцемент М300 з насипною густиною 1300 кг/м³; пластифікуюча добавка – вапняне тісто з густиною 1400 кг/м³; пісок із вологістю 5% і насипною густиною 1300 кг/м³.

Розрахунок витрат матеріалів на 1 м³ піску:

1. Витрата цементу за табл. 5.1 складає 185 кг ($V_{ц_1} = 142$ л);

2. Витрата вапняного тіста за формулою (5.6):

- за об'ємом:

$$170(1-0,002 \cdot 185) = 107 \text{ л};$$

- за масою:

$$107 \cdot 1,4 = 150 \text{ кг.}$$

3. Склад розчину в частинах за об'ємом:

$$\frac{142}{142} : \frac{107}{142} : \frac{1000}{142} = 1 : 0,75 : 7;$$

4. Витрата води за формулою (5.7):

$$B = 0,5(185+150) = 167,5 \text{ л};$$

5. В якості протиморозної добавки вибираємо нітрит натрію (НН). Витрата його на 1 м^3 піску при температурі -12°C складе (табл. 5.5) 10% від маси цементу:

$$НН = 1850,1 = 18,5 \text{ кг};$$

6. Кількість розчину нітриту натрію 28 % -ної концентрації складає:

$$18,5/0,28 = 66,1 \text{ кг};$$

7. Вміст води в 28%-ному розчині нітриту натрію:

$$66,1 - 18,5 = 47,6 \text{ л};$$

8. Витрата води замішування на 1 м^3 піску з урахуванням води, що міститься в розчині нітрату натрію складе:

$$B' = 167,5 - 47,6 = 119,9 \text{ л}.$$

Приклад 5.3. Розрахувати склад цементно-піщаного розчину з міцністю 20 МПа і легкоукладальністю 5-7 см.

Матеріали: портландцемент М400, пісок з модулем крупності $M_k=1,5$, густиною $\rho_n=2,65 \text{ кг/л}$.

Розрахунок виконуємо за методом Ю.М. Баженова:

1. За формулою (5.3) знаходимо В/Ц:

$$B/C = 0,75 \cdot 40 / (20 + 0,8 \cdot 0,75 \cdot 40) = 0,68.$$

2. За графіком (рис. 5.1) встановлюємо відношення Ц:П. Воно дорівнює 1:4. Враховуючи поправку на крупність піску (рис. 5.2), уточнюємо відношення Ц:П. Воно складає 1:3,7.

3. Витрату цементу знаходимо за формулою (5.9) без урахування об'єму втягнутого повітря ($V_{п.в}$):

$$Ц = \frac{1000}{\left(\frac{1}{3,1}\right) + 0,68 + \left(\frac{3,7}{2,63}\right)} = 415 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

4. Витрата води (5.10):

$$B = 415 \cdot 0,68 = 282 \text{ л/м}^3.$$

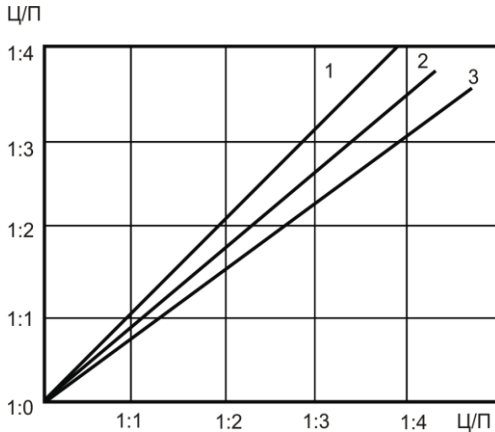


Рис. 5.2. Графік для корегування співвідношення Ц/П при забезпеченні заданої рухомості цементно-піщаної суміші залежно від модуля крупності піску (M_k):
 1 – $M_k = 2,5$; 2 – $M_k = 1,5$; 3 – $M_k = 0,75$
 (Ц/П – співвідношення для піску середньої крупності, яке приймається за рис.5.1)

5. Витрата піску (5.511):

$$П = 3,7 \cdot 415 = 1535,5 \text{ кг/м}^3.$$

5.2. Проектування складів будівельних розчинів з застосуванням математичного планування експериментів

Математичне планування експериментів (МПЕ) як метод математичного моделювання дає можливість розв'язувати задачі проектування складів розчинів із різноманітністю вихідних умов і впливаючих факторів.

Основні переваги математичного моделювання при розв'язуванні задач проектування складів розчинів:

– можливість отримання адекватних за певних умов кількісних залежностей для показників нормованих властивостей матеріалів, або їх рецептурно-технологічних параметрів (водопотреба, співвідношення заповнювачів,

водов'язуче відношення, об'єм втягнутого повітря та ін.) з врахуванням впливу конкретних факторів і ефектів їх взаємодії;

- можливість розрахунків складів багатокомпонентних розчинових сумішей при нормуванні кількох вихідних параметрів;

- можливість виконання оптимізаційних розрахунків і знаходження оптимальних складів при заданих критеріях і обмеженнях.

Математичні моделі, які отримані при реалізації МПЕ, дають можливість розв'язувати задачі проектування складів розчинів разом із вибором режимних параметрів для різних технологічних операцій і за допомогою системного аналізу оцінювати альтернативні рішення. З цією метою можлива реалізація різноманітних алгоритмів, використання аналітичних, графоаналітичних і графічних методів.

Поряд із перевагами застосування математичних моделей для проектування складів розчинів слід враховувати, що моделі, які отримані при застосуванні МПЕ мають локальний характер, тобто вони справедливі при певних вихідних умовах, використанні конкретних матеріалів, визначеної області варіювання факторів. При зміні заданих умов, моделі слід застосовувати обережно і враховувати можливість суттєвого збільшення похибки для отримуваних рішень. При необхідності врахування зміни факторів, які безпосередньо не враховуються в моделях, доцільно за допомогою спеціальних адаптивних алгоритмів періодично здійснювати корегування коефіцієнтів моделей.

Рішення задач багатопараметричного проектування складів розчинів із застосуванням комплексів математичних моделей доцільно виконувати з допомогою комп'ютерних програм, що дозволяють розрахувати базові склади і корегувати їх із врахуванням виробничої інформації, проводити статистичний контроль показників нормованих властивостей матеріалів.

Для проектування складів розчинових сумішей можливе використання поліномів двох типів:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{\kappa} b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{\kappa} b_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \dots, \quad (5.19)$$

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{\kappa} a_i \cdot V_i + \sum_{i=1}^{\kappa} a_{ii} \cdot V_i^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij} \cdot V_i \cdot V_j + \dots, \quad (5.20)$$

де b і a – статистичні оцінки дійсних коефіцієнтів регресії;
 x і V – досліджувані перемінні або фактори.

Відмінність між двома поліномами полягає в тому, що якщо в поліномі (5.19) фактори x_i є незалежними, то в поліномі (5.20) виконується умова:

$$\sum_{i=1}^n V_i = 1, \quad (5.21)$$

де V_i – парціальна частка i -го компонента суміші;
 n – число компонентів.

Поліноміальні моделі (5.19) застосовують, коли склад суміші задається κ -1 питомими витратами компонентів або їх співвідношеннями, де κ – число компонентів. Вміст компонента x_{κ} не варійованого відповідно до матриці планування, знаходиться із умови матеріального балансу:

$$x_{\kappa} = 1 - \sum_{i=1}^{\kappa-1} x_i. \quad (5.22)$$

В задачах проектування складів розчинів поліноміальні рівняння регресії можна використовувати як кількісні залежності справедливі при визначених граничних умовах.

Якщо для нормованих властивостей розчину $\sum_{i=1}^m y_i$ отримані

квадратичні поліноміальні моделі з $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_{\kappa}$ заданими факторами, то встановлення значення певного фактору x_n , наприклад цементно-водного відношення, можливо при представленні моделей у вигляді квадратних рівнянь:

$$b_0 + \sum_{i=1}^{\kappa} b_i x_i + \sum_{i=1}^{\kappa} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j - y_i = 0. \quad (5.23)$$

Задавшись нормованим значенням параметра (y_i) і стабілізувавши інші фактори на визначеному рівні, можна знайти значення x_n як кореня квадратного рівняння:

$$x_n = \frac{-C_n \pm \sqrt{C_n^2 - 4b_{nn}l}}{2b_{nn}}, \quad (5.24)$$

$$\text{де } C_n = b_n + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\kappa} b_{ni}x_i; \quad l = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\kappa} b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^{\kappa} b_{ii}x_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{\kappa} b_{ij}x_i x_j - y_i.$$

Перехід до значення фактора в натуральних одиницях досягається за допомогою формули перетворення:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i_0}}{\Delta \tilde{x}_i}, \quad (5.25)$$

де x_i – кодоване значення фактора;

\tilde{x}_i – значення фактора в натуральних одиницях;

\tilde{x}_{i_0} – значення фактора в натуральних одиницях на основному рівні;

$\Delta \tilde{x}_i$ – інтервал варіювання фактора в натуральних одиницях.

Одночасне варіювання K -компонентів суміші при використанні звичайних планів і моделей типу (5. 20) можливе при використанні парціальних відношень:

$$x_l = \frac{V_l}{V_l + V_2}; \quad x_{\kappa-l} = \frac{V_l + V_2 + \dots + V_{\kappa-l}}{V_l + V_2 + \dots + V_{\kappa}}, \quad (5.26)$$

де V_l – об'ємна концентрація компонента.

Шляхом простих перетворень можна знайти об'ємні частки кожного з компонентів суміші: $V_l = x_l x_2$; $V_2 = (l - x_l) x_2$ і т.д.

При плануванні відношень (5.26) реалізується поліструктурний підхід до дослідження складів сумішей і матеріалів на їх основі, коли в міру збільшення числа

компонентів послідовно змінюється структурний рівень факторів.

Для одержання поліноміальних моделей типу (5.19) застосовують різні типові плани, що дозволяють варіювати досліджувані фактори на двох, трьох і більше рівнях, оптимізуючи число дослідів та інші статистичні параметри.

Для отримання поліноміальних моделей типу (5.20) застосовують плани, які дають можливість оптимально розташувати експериментальні точки на симплексі-фігурі, утвореної $(K+1)$ незалежними точками у K -мірному просторі (трикутнику, тетраедрі та ін.). Із симплексних планів найбільш відомі плани Шефе, особливістю яких є рівномірне розташування на симплексі експериментальних точок (симплексні решітки). В планах Шефе мінімізоване число експериментальних точок: при $K=3$ воно дорівнює 6 у планах другого порядку, 10 – третього. Поліноміальні моделі (5.20) безпосередньо дозволяють будувати і досліджувати на симплексі або його площинних проєкціях діаграми властивість-склад.

Багатофакторні поліноміальні моделі дають можливість знаходити оптимальні значення таких факторів як співвідношення заповнювачів, вміст добавок та ін., і, таким чином, оптимізувати розрахункові склади розчину, що враховують задану сукупність факторів і область їх варіювання. При цьому можливі два підходи:

– фактори, що оптимізуються, визначаються з рівнянь, де вони виконують роль залежних змінних;

– одержують окремі рівняння для факторів, що оптимізуються (добавки суперпластифікатора та ін.), які разом з рівняннями нормованих параметрів використовують в розрахунках складів сумішей.

Поряд із диференціальним аналізом для отримання оптимізаційних рішень можливе застосування канонічного, ізопараметричного аналізу, лінійного програмування та інших методів.

Приклад 5.4. Розрахувати за допомогою математичних моделей отриманих із застосуванням МПЕ (табл. 5.6) склад золотмісної розчинової суміші яка містить комплексну добавку суперпластифікатора і повітрявтягувальної ПАР для мурувального розчину марки М100 і міцністю зчеплення з основою не менше 0,2 МПа. Золотцементне відношення (З/Ц) – 0,4, добавки: суперпластифікатор (СП) – 0,25 %, повітрявтягувальна ПАР (ПД) – 0,04 % від маси цементу.

1. Знайдемо з рівнянь значення проектної міцності на стиск (y_1) та адгезійної міцності (y_2) і величину необхідного В/Ц. Приймаємо в кодованих величинах:

$$x_2 = \frac{0,4 - 0,35}{0,35} = 0,14; x_3 = \frac{0,25 - 0,35}{0,35} = -0,28;$$

$$x_4 = \frac{0,04 - 0,025}{0,025} = 0,6.$$

Розв'язавши рівняння для y_1 і y_2 (табл. 5.6) відносно x_1 та перейшовши від кодованих до натуральних значень факторів, отримаємо з умови міцності на стиск $(B/Ц)_1 = 1,07$, адгезійної міцності $(B/Ц)_2 = 1,03$. Остаточоно приймаємо $B/Ц = 1,03$.

2. З моделі рухомості (y_3), прийнявши рухомість розчинової суміші по зануренню конуса $PK=10$ см при

$$x_1 = \frac{1,03 - 0,8}{0,2} = 1,15; x_2 = 0,14; x_3 = -0,28; x_4 = 0,6 \text{ знайдемо,}$$

що $x_5 = -0,03$, перейшовши до натурального значення, отримаємо $B = 269 \text{ кг/м}^3$.

3. Витрата цементу:

$$Ц = B : (B/Ц) = 269 : 1,03 = 261 \text{ кг/м}^3.$$

4. Витрата золи:

$$З = 0,4Ц = 0,4 \times 261 = 104 \text{ кг/м}^3.$$

5. Витрата повітрявтягувальної добавки:

$$ПД = 0,0004Ц = 0,0004 \times 261 = 0,104 \text{ кг/м}^3.$$

Об'єм втягнутого повітря (знайдено експериментально)

$$V_n = 6 \%$$

6. Витрата суперпластифікатора:

$$СП = 0,0025Ц = 0,0025 \times 261 = 0,653 \text{ кг/м}^3.$$

7. Витрата піску:

$$П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_4} - \frac{3}{\rho_3} - B - V_n \right) \rho_n .$$

При $\rho_4 = 3,1 \text{ г/см}^2$, $\rho_3 = 2,4 \text{ г/см}^2$:

$$П = \left(1000 - \frac{261}{3.1} - \frac{104}{2.4} - 269 - 60 \right) \times 2,65 = 1439 \text{ кг/м}^3 .$$

Таблиця 5.6

Математичні моделі для розрахунків складів мурувальних розчинів

Вихідний параметр	Модель	Фактори
Міцність при стиску у віці 28 діб, МПа	$y_1 = 24,8 - 8,04x_1 + 1,207x_2 + 2,49x_3 - 2,03x_4 + 1,04x_1^2 - 0,458x_2^2 + 0,342x_3^2 - 2,71x_4^2 + 0,33x_1x_2 + 0,66x_1x_3 + 0,23x_2x_3 + 0,44x_2x_4 - 0,18x_3x_4$	$x_1 = (B/C - 0,8)/0,2$ $x_2 = (3/C - 0,7)/0,35$ $x_3 = (СП - 0,35)/0,35$ $x_4 = (ПД - 0,025)/0,025$
Міцність зчеплення з основою, 28 діб, МПа	$y_2 = 0,639 - 0,028x_1 + 0,018x_2 + 0,057x_3 + 0,026x_4 - 0,0792x_1^2 - 0,074x_2^2 - 0,0542x_3^2 - 0,0542x_4^2 + 0,004x_1x_2 + 0,004x_1x_4 + 0,011x_2x_3$	$x_5 = (B - 270)/30$ В/Ц – водоцементне відношення; З/Ц – золоцементне відношення; СП – добавка суперпластифікатора, %; ПД – повітрявтягувальна добавка; В – витрата води, кг/м ³
Рухомість розчинової суміші, см	$y_3 = 9,73 + 0,62x_2 + 2,2x_3 + 1,08x_4 + 1,25x_5 + 0,37x_1^2 + 0,62x_2^2 + 0,37x_3^2 - 1,14x_4^2 + 0,37x_5^2 + 0,41x_1x_2 - 0,59x_1x_5 + 0,28x_3x_4 + 0,28x_3x_5$	СП – добавка суперпластифікатора, %; ПД – повітрявтягувальна добавка; В – витрата води, кг/м ³

Розрахунковий номінальний склад розчинової суміші (кг/м³):

$$Ц=269; З=104; П=1439; В=269; ПД=0,104; СП=0,653.$$

5.3. Оптимізація складів будівельних розчинів

Будівельні розчини, особливо на основі сухих будівельних сумішей, можуть включати значну кількість компонентів.

Отримання для них досить загальних розрахункових залежностей склад-властивості є досить проблематичним завданням. У зв'язку з цим для проектування складів багатокомпонентних розчинів перспективним є використання рівнянь регресії, що зв'язують показники нормованих властивостей матеріалів і фактори, що характеризують їх склад. При цьому критерієм оптимізації може служити загальна вартість багатокомпонентних матеріалів за умови забезпечення нормованих властивостей і ряду встановлених обмежень.

Знаходження оптимального рішення задач даного типу можна сформулювати наступним чином:

$$В_{т0} = В_{т1}K_1 + В_{т2}K_2 + В_{т3}K_3 + \dots + В_{тn}K_n \rightarrow \min \quad (5.27)$$

$$P_1 \geq f_1(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (5.28)$$

$$P_2 \geq f_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$P_m \geq f_m(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5.29)$$

При $x_1, x_2, \dots, x_n \in [a \dots b]$,

де $В_{т0}$ і $В_{т1}, В_{т2}, В_{т3}, \dots, В_{тn}$ – відповідно вартість суміші і її компонентів, грн./кг;

$K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ – витрати компонентів, кг/м³;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ – задані показники якості матеріалів;

$a \dots b$ – обмеження на можливі значення факторів.

Рішення такої оптимізаційної задачі можливо за допомогою методів математичного програмування, Програма Microsoft Excel і, зокрема, її додаток "Пошук

рішення" дозволяє вирішувати завдання даного типу. Для отримання поліноміальних моделей доцільно використовувати методологію математичного планування експериментів.

Приклад 5.5. *Запроектувати оптимальний склад гіпсо-перлітових штукатурних розчинів на основі сухих будівельних сумішей.*

Вихідні матеріали: гіпсове в'яжуче Г-5, спучений перлітовий пісок М-100 фракції 0.16 ... 1.25, вапнякова мука, гідратне вапно, ефір крохмалю. Витрату води для досягнення заданої рухомості розчинової суміші 8 см визначали експериментально. Виготовлення та випробування зразків визначали згідно ГОСТ 31377-2008.

Для отримання відповідно до заданих умов планування (табл.5.7) поліноміальних моделей були виконані алгоритмізовані експерименти згідно тривірневого п'ятифакторного плану Na_5 .

Таблиця 5.7

Умови планування експерименту

Фактори впливу		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральні	кодовані	-1	0	+1	
Відношення перліту до гіпсу по масі (П/Г)	X_1	0,02	0,04	0,06	0,02
Відношення вапнякового борошна до гіпсу по масі (В.Б/Г)	X_2	0,4	0,6	0,8	0,2
Відношення гідратного вапна до гіпсу по масі (Г.В/Г)	X_3	0,17	0,37	0,57	0,2
Відношення ефіру целюлози Ец, % до маси суміші	X_4	0,23	0,25	0,27	0,02
Вміст ефіру крохмалю Екр, % від маси суміші	X_5	0,03	0,05	0,07	0,02

Отримані експериментально-статистичні моделі міцності розчину на стиск (R_{cm}^7) і розтяг при згині ($R_{пз}^7$) у віці 7 діб, МПа, його густини, ρ_0 , кг/м³ і витрати води в % від маси суміші представлені в кодованому вигляді (табл 5.8).

Таблиця 5.8

Експериментально - статистичні моделі гіпсо-перлітового розчину

Вихідні параметри	Експериментально-статистичні моделі
Міцність при стиску, МПа	$R_{cm}^7 = 2,46 - 0,05X_1 + 0,044X_2 + 0,01X_3 - 0,11X_4 +$ $+ 0,18X_5 + 0,16X_1^2 + 0,21X_2^2 + 0,56X_3^2 - 0,34X_4^2 -$ $0,44X_5^2 - 0,14X_1X_2 - 0,07X_1X_3 - 0,16X_1X_5 - 0,07X_2X_3 -$ $- 0,16X_2X_5 + 0,04X_3X_4 + 0,27X_3X_5$ (5.30)
Міцність на розтяг при згині, МПа	$R_{пз}^7 = 1,86 - 0,02X_1 + 0,02X_2 - 0,04X_3 - 0,01X_4 +$ $+ 0,02X_5 + 0,13X_1^2 + 0,13X_2^2 - 0,02X_3^2 - 0,07X_4^2 +$ $+ 0,08X_5^2 + 0,01X_1X_2 + 0,03X_1X_4 - 0,09X_1X_5 +$ $+ 0,01X_2X_3 - 0,04X_2X_4 + 0,08X_3X_4 + 0,01X_4X_5$ (5.31)
Густина, кг/м ³	$\rho_0 = 998,92 - 67,99X_1 + 9,45X_2 + 3,55X_3 -$ $- 3,39X_4 - 4,49X_5 + 37,19X_1^2 + 0,69X_2^2 - 0,30X_3^2 +$ $+ 0,19X_4^2 + 0,19X_5^2 + 4,81X_1X_2 + 5,18X_1X_3 +$ $+ 6,18X_2X_5 + 6,81X_2X_4 + 2,06X_2X_5 - 6,56X_3X_4 -$ $- 2,06X_3X_5 - 5,43X_4X_5$ (5.32)
Витрата води, % за масою	$B = 53,31 + 0,06X_1 - 1,22X_2 + 0,45X_3 + 0,33X_4 -$ $- 0,19X_5 + 0,79X_1^2 + 0,79X_2^2 + 0,29X_3^2 + 0,29X_4^2 +$ $+ 0,04X_5^2 - 0,22X_1X_2 - 0,53X_1X_3 - 0,28X_1X_4 +$ $+ 0,41X_2X_4 - 0,28X_2X_5 - 0,34X_3X_5 - 0,28X_4X_5$ (5.33)

Аналіз наведених моделей дозволяє проранжувати вплив досліджених факторів на основні властивості гіпсо-перлітового розчину (табл.5.9).

Таблиця 5.9

Вплив факторів на властивості розчину	
Властивості	Вплив факторів
Міцність розчину на стиск у віці 7 діб, МПа	$X_5 > X_4 > X_1 > X_2 > X_3$
Міцність розчину на розтяг при згині у віці 7 діб, МПа	$X_3 > X_1 > X_2 > X_5 > X_4$
Середня густина, кг/м ³	$X_1 > X_2 > X_3 > X_5 > X_4$
Витрата води % від маси суміші	$X_1 > X_2 > X_3 > X_4 > X_5$

Визначальними параметрами якості розчину приймаємо його міцність на стиск у віці 7 діб і середню густина. Тоді задача знаходження оптимального складу формулюється так:

- знайти значення фактів складу розчину $X_1...X_5$, що дозволяють мінімізувати його вартість:

$$V_{T_0} = V_{T_{\Gamma}}\Gamma + V_{T_{\Pi}}\Pi + V_{T_{В.Б}}В.Б + V_{T_{Г.В}}Г.В + \\ + V_{T_{Е.Ц}}Е.Ц + V_{T_{Е.КР}}Е.КР \rightarrow \min \quad (5.34)$$

за умови забезпечення необхідних показників якості при $X_1...X_5 \in [-1...+1]$, де $V_{T_{\Gamma}}$, $V_{T_{\Pi}}$, $V_{T_{В.Б}}$, $V_{T_{Г.В}}$, $V_{T_{Е.Ц}}$, $V_{T_{Е.КР}}$ – відповідно вартість гіпсового в'яжучого, перліту, вапнякового борошна, гідратного вапна, добавки ефіру целюлози і ефіру крохмалю, грн / кг; Γ , Π , $В.Б$, $Г.В$, $Е.Ц$, $Е.КР$ – витрати гіпсового в'яжучого, перліту, вапнякового борошна, гідратного вапна, ефіру целюлози і ефіру крохмалю.

Підставляємо в моделі (5.30), (5.32) значення нормованих показників міцності і густини розчину, а в вираз (5.34) - значення вартості компонентів гіпсо-перлітової суміші. Встановлюємо обмеження значення факторів (в кодованих змінних від -1 до 1). Програма перебирає різні комбінації чинників, що забезпечують не менше заданого значення міцності при допустимому значенні густини, мінімізуючи при цьому функцію (5.34).

Використовуючі приведену методику можна задавшись, наприклад необхідними значеннями міцності розчину на стиск

$R_{ст}^7 = 2,3$ МПа і густини $\rho_0 = 950$ кг/м³ при рухомості суміші 8 см за умов вартості в грн / кг : гіпсового в'язучого (Г) – 2, перліту (П) – 10, вапнякового борошна (В.Б) – 1, гідратного вапна (Г.В) – 4, ефіру целюлози (Е_ц) – 190 і ефіру крохмалю (Е_к) – 104 розрахувати склад сухої суміші, який забезпечує її мінімальну вартість. Він виявляється наступним (кг/т):

$\Gamma = 573$; $\Pi = 33$; $В.Б = 293$; $Г.В = 97$; $Е_{ц} = 2,6$; $Е_{к} = 0,7$.

5.4. Експериментальна перевірка і корегування розрахункового складу.

Властивості розчинів формуються в результаті складних фізико-хімічних процесів під впливом багатьох факторів, які в повній мірі врахувати в розрахункових методиках практично неможливо. Тому розрахункові номінальні склади розчинів потребують експериментальної перевірки і уточнення. З цією метою в лабораторних умовах виконуються т.зв. *пробні заміси* і за результатами відповідних випробувань визначають уточнені склади розчинових сумішей, які забезпечують задані вимоги.

Залежно від конкретних можливостей будівельної лабораторії і графіка проведення робіт, об'єм лабораторних робіт при експериментальному уточненні складів розчинів може бути різним.

Для звичайного розчину розрахунковий склад перевіряють на пробному замісі об'ємом 10 л або більше залежно від обсягу випробувань та визначають рухомість, а також середню густину бетонної суміші після її ущільнення у формі. Підвищення занурення конусу, якщо воно не відповідає заданим значенням, досягають послідовним додаванням у пробний заміс 5...10 % води і цементу з забезпеченням прийнятого Ц/В. Зменшення рухомості досягають послідовним додаванням 5...10% за масою піску у співвідношенні, що знайдене розрахунком.

У підбраному номінальному складі розчину фіксують фактичну витрату кожного матеріалу на заміс (g_i) і визначають густину суміші ($\rho_{p.c.}$). Фактичні витрати матеріалів на 1 м³ суміші розраховують за формулами:

$$Ц_1 = \frac{\rho_{p.c.}}{\sum g} g_{ц}; \quad П_1 = \frac{\rho_{p.c.}}{\sum g} g_n; \quad B_1 = \frac{\rho_{p.c.}}{\sum g} g_e, \quad (5.35)$$

де $g_{ц}$, g_n , $g_{ц}$, g_e – відповідно фактичні витрати цементу, піску, води на заміс.

При введенні в суміш тонкодисперсних мінеральних наповнювачів їх фактичні витрати знаходять за аналогічними формулами.

Приклад 5.6. Відкорегувати склад мурувального розчину марки М50 з рухомістю по зануренню еталонного конуса 7 см. В'язуче – портландцемент з активністю 30 МПа, в якості неорганічного пластифікатора застосовується вапняне тісто. Заповнювачем служить кварцовий пісок із насипною густиною $\rho_n = 1350 \text{ кг/м}^3$.

Розрахунковий склад розчину на 1 м^3 піску: цемент $Ц' = 167 \text{ кг}$; вапняне тісто $V_m = 112 \text{ л}$; $M_m = 112 \cdot 1,4 = 156 \text{ кг}$;

вода $B = 159 \text{ л}$.

1. Розраховуємо потрібну кількість матеріалів на пробний заміс в розрахунку на 3 л піску:

- цементу: $Ц'_3 = \frac{167 \cdot 3}{1000} = 0,5 \text{ кг}$;

- вапняного тіста: $V_m = \frac{112 \cdot 3}{1000} = 0,336 \text{ л}$;

- води: $B'_3 = \frac{159 \cdot 3}{1000} = 0,477 \text{ л}$.

2. Виготовляємо пробний заміс. Витрату води приймаємо спочатку $0,80,477 = 0,38 \text{ л}$. Враховуючи фактичну рухомість розчинової суміші збільшуємо вміст води до $B'_3 = 0,9 \cdot 0,477 = 0,44 \text{ л}$.

3. Фактичний об'єм води на 1 м^3 піску:

$$B = \frac{0,44 \cdot 1000}{3} = 146 \text{ л}.$$

4. Знаходимо експериментально середню густину розчинової суміші:

$$\rho_p = 1900 \text{ кг/м}^3.$$

5. Фактичний об'єм розчинової суміші:

$$V_{\phi} = \frac{167 + 156 + 1350 + 146}{1900} = 0,95 \text{ м}^3.$$

6. Уточнюємо склад розчину і визначаємо витрати матеріалів у кг на 1 м³ розчину:

$$П = \frac{1000}{0,95} \cdot 1,35 = 1421 \text{ кг};$$

$$Ц = \frac{167}{0,95} = 176 \text{ кг};$$

$$V_m = \frac{112}{0,95} = 118 \text{ л або } M_m = 118 \cdot 1,4 = 165 \text{ кг};$$

$$B = \frac{146}{0,95} = 153 \text{ л}.$$

6. Шляхи ресурсозбереження і покращення властивостей технології будівельних розчинів

6.1. Мінеральні наповнювачі – активні компоненти розчинів

Одним з основних напрямків зменшення витрат цементу в будівельних розчинах є введення в їх склад дисперсних наповнювачів. Ідея введення в цементні системи дисперсних мінеральних наповнювачів (мікронаповнювачів) пов'язана з класичними роботами присвяченими процесам гідратації і структуроутворення цементного каменю. У відповідності з цими роботами наповнювачі – це дисперсні частинки, розмір яких не створює в матричному матеріалі власні поля деформацій і напружень, що дозволяє їм брати участь в організації структури в'язучого.

Доцільність введення наповнювачів в цементні композити значною мірою впливає з відомих уявлень, про цементний камінь як "мікробетон", в якому роль матриці виконує гідратна фаза, отримана при хімічній взаємодії з водою зерен цементу менше 30 мкм, а роль наповнювача – більш крупні зерна цементу, які гідратуються лише з поверхні. При забезпеченні досить високої тонкості помелу клінкерної складової, виходячи з цієї концепції, частину зерен цементу можна замінити дисперсними матеріалами, які не вступають в хімічну взаємодію з водою.

Доцільність введення наповнювачів до складу розчинів впливає також з необхідності забезпечити їх достатню щільність без перевитрати цементу. Для заповнення пустот між зернами наповнювача може витрачатися більше 60% в'язучого, при цьому активно бере участь у формуванні клейового прошарку лише менша його частина.

Мінеральні наповнювачі в цементних системах умовно поділяють на активні та інертні. До активних наповнювачів, які також називають *активними мінеральними добавками* відносять дисперсні мінеральні речовини, які здатні взаємодіяти з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі клінкерних мінералів. До активних наповнювачів можна віднести також

карбонатні порошки, які взаємодіють з алюмінатною фазою цементу, з утворенням комплексних сполук типу гідрокарбоалюмінатів. У світі сучасних теоретичних уявлень про структурування цементних систем другу групу мінеральних наповнювачів, які не вступають безпосередньо в хімічну взаємодію з продуктами гідратації цементу неточно називати інертними. Вони також активно впливають на фізико-хімічні процеси структурування та синтезу властивостей розчинів.

Відповідно до класифікації мінеральних наповнювачів, залежно від ступеня активності по відношенню до продуктів гідратації цементу їх ділять на 4 групи:

I – повільно твердіючі дисперсні матеріали (основні шлаки, золи та ін.);

II – мінеральні порошки, які хімічно взаємодіють з продуктами гідратації цементу (кислі золи і шлаки, мікрокремнезем, метакаолін та ін.);

III – дисперсні матеріали, які характеризуються низькою реакційною активністю при питомій поверхні 400...500 м²/кг (андезити, сиєніти, діабази, граніти);

IV – реакційно неактивні наповнювачі (піролюзит, деякі оксиди металів та ін.).

Ця класифікація також є умовною і справедливою при дисперсності порід, що не перевищує 600 м²/кг. Вона як і попередня враховує лише хімічну активність не беручи до уваги такий найважливіший показник активності наповнювача як величину його поверхневої енергії, яка визначає міцність адгезійних контактів у системі цемент-наповнювач. Відповідно до термодинамічної концепції адгезії для створення міцних адгезійних контактів поверхнева енергія наповнювача повинна бути більшою ніж поверхнева енергія цементу.

В основу класифікації активних мінеральних добавок покладені їхня активність і хіміко-мінералогічний склад (табл. 6.1). Активними мінеральними добавками вважають звичайно такими, якщо вони забезпечують кінець тужавлення цементного тіста, виготовленого на основі добавки і гашеного вапна не пізніше, чим через 7 діб після замішування водою, а зразки з

цього тіста зберігають водостійкість через 3 доби після закінчення тужавлення. Активність добавок вимірюють по кількості CaO в мг, поглиненого 1 г добавки з водного розчину вапна протягом 30 діб. Вона коливається від 50...100 для золи-виносу до 350...400 мг CaO і більше на 1 г високоактивних мінеральних добавок (мікрокремнезем, метакаолін та ін.). Активність мінеральних добавок визначають також за допомогою мікрокалориметричного методу за значенням питомої теплоємності і тепловиділення при їхньому змочуванні в полярних і неполярних рідинах з врахуванням коефіцієнту гідрофільності і ряду інших параметрів.

Таблиця 6.1

Класифікація і характеристики мінеральних добавок

№	Класифікація		Хімічний і мінеральний склад	Характеристика
	Ознака	Матеріал		
1	В'яжучі властивості	Швидкоохолоджені металургійні шлаки	Силікатне скло, що містить CaO, MgO, Al ₂ O ₃ . Кристалічні компоненти – в невеликій кількості	Гранули з 5...15% вологи. Після висушування подрібнюються до розміру <45 мкм. S _{пит} – 350...500 м ² /кг (по Блейну)
2	В'яжучі і пуцоланові властивості	Висококальцієва зола-виносу (CaO>10%)	Аморфний кремнезем, що містить CaO, MgO, Al ₂ O ₃ . Кристалічні компоненти можуть бути присутні в виді SiO ₂ , C ₃ A.	10...15% часток розміром >45 мкм. Більша частина – сферичної форми. S _{пит} – 400 м ² /кг (по Блейну)

продовження табл. 6.1

№	Класифікація		Хімічний і мінеральний склад	Характеристика
	Ознака	Матеріал		
3	Висока пуцоланова активність	Мікрокремнезем	Мікрокремнезем аморфної модифікації	Порошок з часток сферичної форми $d=0,1$ мкм. $S_{\text{пит}} \approx 20 \text{ м}^2/\text{кг}$ (по БЕТ)
		Зола рисової лузги	Те саме	Частки <45 мкм з розвиненою комірчастою структурою. $S_{\text{пит}} \approx 60 \text{ м}^2/\text{кг}$ (по БЕТ)
4	Нормальна пуцоланова активність	Низькокальцієва зола-виносу ($\text{CaO} < 10\%$)	Силікатне скло, що містить Al_2O_3 , Fe_2O_3 , луѓи. Кристалічна речовина із SiO_2 , муліту, гематиту, магнетиту	Порошок із сферичних часток >45 мкм. Більшість часток >20 мкм. $S_{\text{пит}} \approx 250 \dots 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ (по Блейну)
		Природні матеріали, опока	Крім алюмосилікатного скла, містить кварц, польовий шпат, слюду	Більшість часток розмілена до розміру <45 мкм. Структура – гострокутна
5	Слабка пуцоланова активність	Повільно охолоджені шлаки, золи гідровидалення, золошлаки	Кристалічні силікатні матеріали. Мало некристалічних компонентів	Подрібнюються додатково для надання пуцоланових властивостей

Властивості розчинів, що містять мінеральні наповнювачі, залежать значною мірою від їх водопотреби, яка впливає на водопотребу сумішей, що необхідна для досягнення заданих

показників легкоукладальності. Водопотреба наповнювачів залежить від багатьох факторів: водопоглинання, форми і особливостей поверхні зерен, дисперсності та ін. Більшість мінеральних наповнювачів тою чи іншою мірою збільшують водопотребу розчинових сумішей. Разом з тим такий наповнювач як зола-виносу завдяки скловидній поверхні частинок, їх сферичній формі, може викликати при оптимальній концентрації пластифікуючий ефект. Цей ефект зменшується або зникає повністю при застосуванні більш грубодисперсних зол, що містять підвищену кількість незгорілих вуглецевих частинок із високим водопоглинанням, а також частинок неправильної форми.

Негативний вплив активних дисперсних наповнювачів на міцність цементних композитів до певної оптимальної концентрації не спостерігається за умови запобігання істотного збільшення водопотреби суміші. Міцність наповнених цементних систем формується в результаті синтезу хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних процесів у системі цемент-вода-заповнювач. Наповнювач у цих процесах бере активну участь. Характер та величина ефекту можуть коливатися в широкому діапазоні залежно від того, якою мірою змінюється склад і структура матеріалу. При цьому важливе значення мають такі чинники як ступінь гідратації і фазовий склад наповненого цементного каменю, адгезійна міцність цементного каменю по відношенню до заповнювачів, особливості кристалічної та порової структури.

Збільшення ступеня гідратації та обсягу гідратних новоутворень є основним результатом введення наповнювачів, що мають досить високу пуцоланову активність таких як золи і шлаки. При введенні високодисперсних кремнеземистих наповнювачів з високою поверхневою енергією, таких як мікрокремнезем і метакаолін, істотно змінюються умови утворення структури цементного каменю, прискорюється утворення зародків кристалів гідратних новоутворень, структура стає значно щільнішою, різко зростає адгезійна міцність і міцність цементного каменю в контактній зоні з заповнювачами. Введення малоактивних наповнювачів може бути ефективним

як замість частини цементу, так і піску в результаті зменшення товщини клейового прошарку на зернах заповнювачів і зменшення їх пористості.

Оптимальна кількість дисперсних наповнювачів у цементних системах коливається, як правило, в інтервалі від 10 до 70%.

Є суперечливі рекомендації щодо оптимальної дисперсності наповнювачів. Рекомендується при введенні в цемент інертних або малоактивних наповнювачів більш тонко подрібнювати клінкерну складову, більш активних наповнювачів – навпаки. У роботах останніх років констатується, що підвищену міцність наповнені дисперсні системи (у присутності суперпластифікаторів) мають при використанні наповнювачів з дисперсністю до 900...1200 м²/кг, тобто такої, що в 2...4 рази перевищує дисперсність цементу. Теоретичні обґрунтування показали, що для цементно-водних систем, наповнених меленим кварцовим піском, оптимальне співвідношення між розмірами наповнювача і в'язучого повинно знаходитися в межах 8...10. Разом з тим, якщо поверхнева енергія зерен наповнювача істотно вища, ніж у зерен цементу, бажане співвідношення діаметрів їх часток наближається до 1.

Прогнозуючи вплив наповнювачів на міцність цементних композитів, необхідно враховувати хіміко-мінералогічний склад клінкеру. При використанні всіх видів наповнювачів, які володіють пуцолановою активністю, надають перевагу цементам із підвищеним вмістом аліту, що утворює при гідролізі Ca(OH)₂.

Поряд із впливом активних наповнювачів на міцність при стиску відзначається їх позитивний вплив на відношення міцності на розтяг до міцності на стиск і, відповідно, на тріщиностійкість цементних композитів. При введенні тонкодисперсних високоактивних наповнювачів можна очікувати деякого збільшення усадочних деформацій. Разом з тим, при зниженій водопотреби відзначається можливе зниження усадочних деформацій наповнених цементних композитів. Це особливо характерно при використанні

наповнювачів із низькою хімічною активністю, які так само як і заповнювачі зменшують відносний вміст в тверднучій системі гідросилікатів кальцію.

Крім міцнісних та деформаційних властивостей, введенням в цементні системи певних мінеральних наповнювачів можна управляти при необхідності їх корозійною стійкістю, екзотермією, жаростійкістю, водонепроникністю та ін.

Разом з тим, поряд з позитивним ефектом введення мінеральних наповнювачів може викликати певні негативні наслідки. Наприклад, наповнювачі, що містять розчинні луги, можуть викликати підвищення реакційної здатності в'язучого до заповнювачів з активним кремнеземом. У цьому випадку при використанні реакційноздатних заповнювачів вміст лужних оксидів у наповненому в'язучому не повинен перевищувати 0,6% за масою і бажано використання практично безлужних цементів. У той же час деякі дослідження показали, що заміщення цементу таким наповнювачем як кам'яновугільна зола зменшує взаємодію між лугами та заповнювачами і допустима межа можливого вмісту лужних оксидів у цементно-зольному в'язучому може бути піднята.

Спеціальні експериментальні обґрунтування необхідні при введенні мінеральних наповнювачів у цементні композити підвищеної морозостійкості, стійкості до стирання, тверднучи в умовах низьких температур та ін.

Підвищення ефективності наповнювачів в цементних системах досягається їх активацією. Класифікація способів активації наповнювачів із зазначенням їх можливої кількості у відсотках від маси цементу і очікуваного зростання міцності наведена в (табл. 6.2).

Підвищення питомої поверхні наповнювачів шляхом додаткового подрібнення (механічний спосіб) і модифікування його поверхні добавками ПАР (хімічний спосіб) можна вважати основними дослідженими способами їх активації. Ефективною є комбінація обох способів (механо-хімічний спосіб).

Таблиця 6.2

Способи активації наповнювачів та їх вплив на міцність цементних композитів

Способи активації	Кількість наповнювача від маси цементу, %	Ріст міцності бетонів, %
- домел зі створенням захисних плівок	5...15	125...140
- введення активних присадок для підвищення поверхневої енергії	15...30	130...155
- термообробка до склування	3...18	150
- гідротермальна обробка	30...50	145...165
- гідромеханічна обробка з вапновмісними компонентами	30...40	150...170
- обробка розчинами сильних кислот	10...25	150...165
- обробка гідрофілізуючими ПАР	10...25	115...120
- акустична обробка	≤100	140...180
- електродинамічна обробка	100	150...170

При домелі наповнювачів збільшується їх хімічний потенціал. Істотний вплив на підвищення активності при подрібненні порошків мають кристалічна структура мінералів і часткова аморфізація, утворення ненасичених валентних зв'язків.

При обробці наповнювача добавками ПАР в результаті створення адсорбційного середовища має місце зменшення міжфазної поверхневої енергії і, як наслідок, збільшення адгезійної міцності. Вплив адсорбційного середовища, створюваного ПАР, зростає в міру підвищення дисперсності наповнювача і, відповідно, надлишкової поверхневої енергії.

Активація адгезійної здатності мінеральних порошків може досягатися в результаті збільшення їх вільної поверхневої

енергії при дії електричного і магнітних полів, ультразвукової обробки, за допомогою іонізуючих випромінювань.

Для практичної технології розчинів цікаві способи активації наповнювачів, що легко реалізуються і потребують мінімальних витрат енергетичних ресурсів. У цьому плані перспективним є синтез композиційних наповнювачів, що складаються з двох або декількох компонентів, які підсилюють їх інтегральний ефект в цементних системах.

6.2. Зола - виносу – ефективний вид мінерального наповнювача

Однією з ефективних мінеральних добавок, як показали підтвержені практичним досвідом численні дослідження, є кам'яновугільна зола виносу (надалі зола). Зола активно впливає на усіх стадіях гідратації і структуроутворення цементних систем, формування структури композиційних будівельних матеріалів, тобто послідовного переходу від коагуляційної структури до утворення просторового кристалічного каркасу.

Завдяки склоподібній алюмосилікатній фазі, зола володіє пуцолановою активністю і хімічно взаємодіє з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який виділяється при гідролізі клінкерних мінералів цементу. Введення золи в цементно-водні системи не тільки збільшує обсяг гідратних новоутворень, але й прискорює процес гідролізу, збільшує ступінь гідратації цементу, що, у кінцевому рахунку, позитивно позначається на міцності цементного каменю

Володіючи високою питомою поверхнею, окрім прямої хімічної взаємодії з цементом, зола активно впливає на фізико-хімічні процеси біля поверхні розподілу цементне тісто – наповнювач. В міру утворення конденсаційно-кристалізаційної структури цементного каменю відбувається формування епітаксіальних контактів між цементним тістом і зернами наповнювача. Відповідно до вчення Гіббса-Фольмера значно зменшується також енергія утворення зародків кристалів при наявності центрів кристалізації, якими служать частинки наповнювача.

Активність золи залежить від вмісту склоподібної фази. Встановлений тісний зв'язок між міцністю розчину, який містить золу, і розрахунковою питомою поверхнею склоподібної фази. Скло в золах можна розглядати як матеріал, що містить аморфіти – утворення, близькі за складом і структурою відповідним кристалічним фазам, але з дуже високою питомою поверхнею, і неупорядковані глиноземисто-кремнеземисті прошарки між ними. На гідралічну активність кальцієво-алюмосилікатного скла, яке міститься в золі, позитивно впливають домішки магнію, заліза і деяких інших елементів.

Певною гідралічною активністю в золах, поряд із склоподібною фазою, володіє дегідратована і аморфізована глиниста речовина. Активність залежить від мінералогічного складу глин, які входять у мінеральну частину палива. З підвищенням у золі вмісту аморфізованої глинистої речовини збільшується її водопотреба.

Важливим показником якості золи, визначаючим її активність, є дисперсність і гранулометричний склад. Для золи характерний значний вміст часток, які мають дрібні замкнуті пори. Вони є результатом спучування розплавленої мінеральної маси газами, що виділяються при дегідратації глинистих мінералів, дисоціації часток вапняку, гіпсу й органічних речовин. Пори можуть досягати 60% об'єму часток золи. Високий вміст мікропор у золі обумовлює і високе значення її дійсної питомої поверхні, вимірювання якої, виконані по адсорбції азоту, показали, що вона на порядок вища питомої поверхні цементу. З високою питомою поверхнею золи пов'язані такі її властивості, як адсорбційна здатність, гігроскопічність, гідралічна активність.

Наслідком активного впливу золи на процеси гідратації і формування структури цементного каменю є суттєва зміна властивостей розчинових сумішей. Введення в розчинову суміш золи, на відміну від інших наповнювачів, не погіршує, а за певних умов покращує рухомість суміші. Уже першими дослідниками було встановлено, що залежність рухомості бетонних і розчинових сумішей від вмісту золи має

екстремальний характер, і оптимальний вміст її повинен бути не більшим 30% маси в'язучого. На пластифікуючий ефект золи впливає форма, стан поверхні часток, їхня дисперсність.

Ряд дослідників вважають, що кулеподібні частинки золи можна розглядати як тверді “шарикопідшипники” в суміші, аналогічно тому, як пухирці емульгованого повітря, що при використанні повітровтягувальних добавок проявляють пластифікуючу дію на розчинову суміш, виконуючи роль своєрідних повітряних “шарикопідшипників”. Більш крупні фракції містять більше незгорівших вуглецевих частинок (НВЧ), які мають підвищене водопоглинання, і частинок неправильної форми.

Підвищення дисперсності зол і зниження водопотреби може бути досягнуте їх відбором з останніх полів електрофільтрів або помелом, який руйнує наявні в них органомінеральні агрегати. Зменшення водопотреби золи при помелі пояснюється зменшенням кількості капілярної води, утримуваної агрегованими частинками, що веде до більш значного ефекту, ніж зростання кількості адсорбованої плівкової води, яке має місце по мірі збільшення питомої поверхні.

Введення золи сприяє зменшенню водовідділення розчинової суміші. Пластифікуюча та водутримуюча здатність золи обумовлює насамперед перспективність її застосування в мурувальних та інших розчинах. Розчинові суміші з оптимальною добавкою золи мають достатньо високу життєздатність і придатні для транспортування на віддалені відстані.

Для оцінки впливу золи на міцність цементно-піщаного розчину можна використовувати поняття *приведеного Ц/В* та її “*цементуючої ефективності*”, яке характеризується коефіцієнтом $K_{ц.е}$. При прогнозуванні міцності розчину приведені цементно-водне відношення можна розраховувати за формулою:

$$(Ц/В)_{пр} = \frac{Ц + K_{ц.е} m_3}{В}, \quad (6.1)$$

де Ц – витрата цементу у золівмісному розчині;

V – витрата води;

m_3 – масова частка золи у змішаному в'язучому.

З метою визначення значення $K_{ц,е}$ можна встановити для даного цементу експериментальну залежність $R_p = f(C/V)$, потім за значеннями міцності матеріалу з добавкою золи визначити $(C/V)_{пр}$. Визначивши значення $(C/V)_{пр}$ та задавшись оптимальним вмістом золи з відомим $K_{ц,е}$, можна знайти необхідне C/V золовмісних розчинів і проектувати їх склади.

Більшість дослідників відзначають позитивний вплив підвищення дисперсності золи на міцність цементно-зольних сумішей. Встановлено, що активність золи істотно підвищується при доведенні розмірів її часток до 5...30 мкм.

Найбільш сприятливий вплив добавки золи на міцність композиційних матеріалів спостерігається при відносно невеликій витраті в'язучих. Це обумовлено помітним зниженням водопотреби "пісних" розчинових сумішей при заміні частини цементу золою.

Для досягнення високої міцності золовмісних розчинів суттєве значення має хіміко-мінералогічний склад клінкера. Для проявлення пуцоланової реакції золи кращими є цементи з підвищеним вмістом аліту, які при гідролізі утворюють значну кількість $Ca(OH)_2$. Доцільною є добавка зол до розчинів на портландцементях із високим вмістом мінералів – силікатів.

Зола не тільки підвищує когезійну та адгезійну міцність цементної матриці, але й, що дуже важливо для розчинових сумішей, знижує пустотність заповнювача.

При деякому відставанні міцності золовмісних розчинів у ранні строки багатьма авторами показано, що в період 28...180 діб інтенсивність росту їх міцності при стиску приблизно така ж або вища, ніж без добавки золи. У розчинів із золою, так як і з іншими активними мінеральними добавками, більш високе відношення міцності на розтяг до міцності на стиск.

Зола сприяє підвищенню сульфатостійкості цементних розчинів і бетонів так само, як і інші активні мінеральні добавки. Результати 10-річних випробувань показали, що бетон, який містить зольний цемент, більш стійкий до впливу морської води навіть у порівнянні з бетоном на шлакопортландцементі.

Як і інші активні мінеральні добавки зола-виносу може викликати деяке зменшення морозостійкості розчинів. Встановлено, що при дозуванні золи 30..40% маси змішаного в'язучого спостерігається різке збільшення капілярного підсосу і водопоглинання, особливо в початковий строк випробувань, що свідчить про підвищення абсолютного об'єму відкритих капілярних пор, заповнення яких водою відбувається під дією сил гідростатичного тиску; при цьому загальна пористість хоча і зростає, але значно менше. Дослідження показали, що при заміні цементу золою істотно зменшується об'єм контракційних пор. По мірі зростання вмісту золи співвідношення між капілярною і контракційною пористістю змінюється. Капілярне водопоглинання з додаванням до цементу золи підвищується приблизно на 10...20% на кожні 10% добавки золи. Значне підвищення морозостійкості золовмісних розчинів і бетонів досягається введенням добавок ПАР.

У цементних розчинах оптимальний вміст золи рекомендується 100 – 200 кг/м³, при цьому в «пісних» малоцементних розчинах він складає 80 – 125% маси цементу, у більш «жирних» – 40 – 50%. Тонкодисперсна зола-виносу може застосовуватись замість частини цементу і піску. Крупнодисперсну золу раціонально застосовувати замість частини піску без зміни витрати цементу.

При застосуванні золи в цементних розчинах необхідна витрата цементу звичайно знижується на 30-50 кг/м³ при одночасному поліпшенні легкоукладальності розчинової суміші. Перевитрата цементу при повній заміні піску золою усувається добавкою вапняного тіста.

6.3. Хімічні добавки

Існує декілька систем класифікації хімічних добавок - за механізмом їхньої дії, хімічним складом, основному технологічному ефекту.

Найбільш зручною класифікацією хімічних добавок за механізмом їхньої дії є класифікація, запропонована В.Б.Ратіновим і Т.І.Розенберг. Вона поділяє добавки на 4 класи:

1. Добавки, що змінюють розчинність в'язучих речовин;
2. Добавки, що реагують із в'язучими речовинами з утворенням важкорозчинних або малодисоційованих сполук;
3. Готові центри кристалізації (кристалічні затравки);
4. Органічні поверхнево-активні речовини (ПАР).

Кожний із класів добавок ділиться на окремі групи. Так, добавки першого класу поділяють на такі, що містять і не містять однойменні з в'язучими іони. В добавках другого класу виділяють добавки, що вступають із в'язучими речовинами в реакції приєднання й в обмінні реакції. У добавках четвертого класу - ПАР - можна виділити чотири групи: які утворюють важкорозчинні або малодисоціюючі продукти, що коагулюють у присутності іонів електроліту, хімічно не взаємодіючі і взаємодіючі з гідроксидом кальцію, алюмінатами і лугами цементу. Всі добавки ПАР розділяють на добавки гідрофлізуючого та гідрофобізуючого типів.

Є різні класифікації добавок за основним ефектом їхньої дії. Поширена в СНД класифікація пропонує виділяти 4 класи добавок-модифікаторів:

1-ий – регулятори реологічних властивостей бетонних та розчинових сумішей, їхньої здатності до збереження у часі;

2-ий – регулятори тужавлення і твердіння, кінетики тепловиділення;

3-ій – регулятори пористості бетонів та розчинів, що забезпечують їх морозостійкість, водонепроникність;

4-ий – що додають цементним композитам спеціальні властивості, (гідрофобні, електропровідні, біоцидні і т.д.).

Інша класифікація добавок за технологічним ефектом запропонована Асоціацією стандартизації й випробувань матеріалів (ASTM) (табл.6.3).

В європейських нормах (EN934-2) хімічні добавки пропонується розділяти як в залежності від технологічного ефекту, так і призначення (табл.6.4).

Прагнення до універсалізації дії добавок і підсилення їхнього технічного ефекту зумовили широке поширення *комплексних (композиційних) добавок*. Комплексні добавки можна розділити на дві категорії. Перші представлені сумішами

добавок, що належать до одного класу, а другі – до різних класів.

Таблиця 6.3

Класифікація хімічних добавок за ASTM

Тип	Технологічний ефект	Номер стандартів
A	Водозниження	C494
B	Уповільнення твердіння	C494
C	Прискорення твердіння	C494
D	Водозниження / уповільнення твердіння	C494
E	Водозниження / прискорення твердіння	C494
F	Значне водозниження Значне водозниження / уповільнення твердіння	C494
	Пластифікування для литого бетону	C1017
	Пластифікування / уповільнення твердіння литого бетону	C1017
	Повітрявтягування	C260
	Добавки для торкрет-бетону	C1141

Всі комплексні добавки можна вважати *поліфункціональними модифікаторами (ПФМ)* цементних систем і розділити на чотири групи: I - суміші електролітів; II- суміші ПАР; III- суміші електролітів і ПАР; IV - суміші хімічних і мінеральних добавок.

ПФМ першої групи дозволяють регулювати терміни тужавлення, темпи твердіння, захисні властивості матеріалів стосовно арматури. Широке застосування ПФМ першої групи знаходять як протиморозні добавки у зимовий час.

Таблиця 6.4

Класифікація добавок за EN934-2

Призначення	Технологічний ефект
Зменшення кількості води - пластифікатори *	Зниження водовмісту суміші без зміни консистенції або збільшення легкоукладальності без зміни водовмісту
Значне зменшення кількості води - суперпластифікатор**	Значне зниження водовмісту без зміни консистенції або значне збільшення легкоукладальності без зміни водовмісту
Збільшення зв'язності води в бетонній суміші	Запобігання втрат води за рахунок водовідділення
Повітрявтягування	Втягування в процесі перемішування суміші певної кількості дрібних, рівномірно розподілених бульбашок повітря, які залишаються в структурі затверділого матеріалу
Прискорення тужавлення	Скорочення тривалості періоду переходу суміші із пластичного в твердий стан
Прискорення твердіння	Збільшення швидкості зростання міцності із зміною чи без зміни строків тужавлення
Уповільнення тужавлення	Збільшення тривалості періоду переходу суміші із пластичного в твердий стан
Ущільнення структури матеріалу	Зменшення капілярної адсорбції
Уповільнення тужавлення / зниження водовмісту	Комбінація дій пластифікатора – зниження водовмісту (основний ефект) із уповільненням тужавлення (додатковий ефект)

Призначення	Технологічний ефект
Уповільнення тужавлення / значне зниження водовмісту	Комбінація дій суперпластифікатора – значне зниження водовмісту (основний ефект) із уповільненням тужавлення (додатковий ефект)
Прискорення тужавлення / зниження водовмісту	Комбінація дій добавки – зниження водовмісту (основний ефект) з прискоренням тужавлення (додатковий ефект)
Комплексна добавка	Вплив на декілька властивостей суміші і затверділого матеріалу

Примітки: * пластифікатор знижує водовміст суміші на 5...12 %;

** суперпластифікатор знижує водовміст бетонної або розчинової суміші на 12...30 % і більше.

ПФМ другої групи застосовують для посилення пластифікуючого ефекту, додаткового повітрявтягування або газовиділення, гідрофобізації, економії дорогих суперпластифікаторів. Цей ефект у прив'язці до бетонних сумішей проілюстрований на рис. 6.1.

ПФМ третьої і четвертої груп створюють комплексний ефект пластифікації та регулювання темпу твердіння цементних композитів інших їх будівельно-технічних властивостей.

При одержанні комплексних ПФМ поряд із можливим адитивним і синергетичним впливом окремих компонентів, необхідно враховувати можливість хімічної взаємодії між ними, протікання коагуляційних та інших процесів, що утрудняють або роблять неможливим застосування таких добавок.

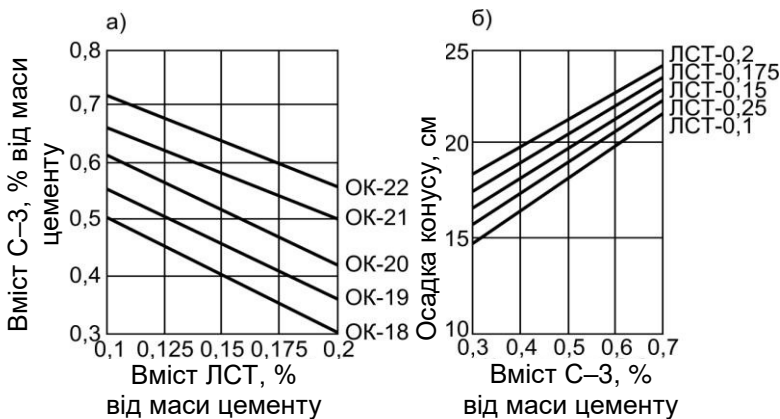


Рис.6.1. Вибір оптимального співвідношення пластифікуючих компонентів в складі поліфункціонального модифікатора (ПФМ):

а – залежність витрати суперпластифікатора С-3 в складі ПФМ від вмісту лігносульфонатів (ЛСТ) в рівнорухомих бетонних сумішах;

б – залежність рухомості сумішей від вмісту С-3 у складі ПФМ

В технології розчинів найбільше поширення одержали *пластифікатори*, що покращують рухомість розчинових сумішей без збільшення водовмісту. Збереження витрати води без погіршення легкоукладальності дозволяє поліпшити ряд властивостей розчинів - міцність, стійкість, непроникність і ін. Відповідно до ефективності пластифікуючої дії, тобто збільшення рухлості сумішей без зниження міцності розчину або бетону, пластифікатори поділяють на 4 категорії (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Класифікація пластифікаторів розчинових сумішей

Категорія	Найменування	Збільшення ОК із 2...4 см, см	Зменшення кількості води, %
I	Суперпластифікатори	До 20 і більше	не менше 20
II	Пластифікатори	14...19	не менше 10
III	Пластифікатори	9...13	не менше 5
IV	Пластифікатори	8 і менше	менше 5

Суперпластифікатори (СП) почали застосовувати на початку 1970-х років. Завдяки їм виявилось можливим істотно покращити властивості розчинів без збільшення витрати цементу, одержувати самоущільнювальні розчинні суміші при помірному вмісті, розчини на звичайних портландцементях і заповнювачах з низькою проникністю, високою корозійною стійкістю і т.д. (рис. 6.2).

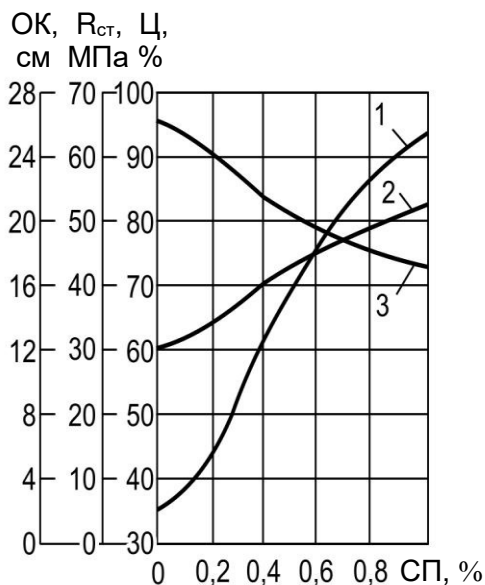


Рис. 6.2. Вплив вмісту суперпластифікатора на властивості бетонної суміші (по Ю.М. Баженову):
 1 – зміна рухомості суміші при введенні суперпластифікатора і постійних витратах цементу і води;
 2 – підвищення міцності при постійній рухомості суміші і витраті цементу за рахунок скорочення витрати води;
 3 – зменшення витрати цементу при однаковій рухомості суміші

Прийнята в даний час класифікація суперпластифікаторів (СП) (табл. 6.6) розділяє їх за складом і механізмом дії. Механізм дії СП обумовлений комплексом фізико-хімічних

процесів у системі цементне тісто-добавка. Він (рис. 6.3) визначається головним чином:

1. Адсорбцією моно- або полімолекулярних ПАР на поверхні в основному гідратних новоутворень;
2. Колоїдно-хімічними явищами на межі поділу фаз.

Таблиця 6.6

Класифікація суперпластифікаторів

Позначення	Склад СП	Механізм дії
НФ	На основі сульфованих нафталінформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
МФ	На основі сульфованих меламіноформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
ЛСТ	На основі очищених від цукрів лігносульфонатів	Електростатичний
П	На основі полікарбоксилатів і поліакрилатів	Стеричний

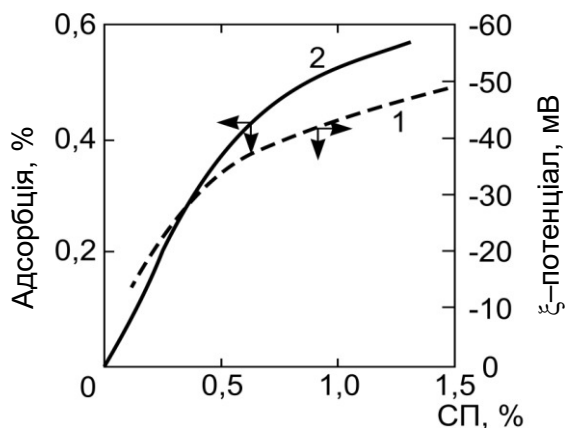


Рис. 6.3. Залежність ξ -потенціалу (1) і ступеня адсорбції (2) цементного тіста від концентрації суперпластифікатора

В механізмі дії СП типів НФ, МФ, ЛСТ (табл. 6.6) переважає ефект електростатичного відштовхування часток цементу, обумовлений тим, що адсорбційні шари з молекул СП підвищують величину дзета-потенціалу на поверхні цементних часток. Величина дзета-потенціалу, що має негативний знак, залежить від адсорбційної спроможності СП. Збільшенню адсорбційної спроможності СП сприяє збільшення довжини вуглеводневого ланцюга і молекулярної маси. Адсорбція СП пропорційна концентрації їх у водному розчині. З мінералів цементу найбільшою адсорбційною здатністю володіє C_3A , найменшою – $\beta-C_2S$.

Електрокінетичний потенціал поверхні часток цементу при введенні СП змінюється від +11 до -(25...35) мВ, що викликає взаємне відштовхування однозначно заряджених часток.

У механізмі дії СП типу П роль дзета-потенціалу менше, а взаємне відштовхування часток цементу забезпечується за рахунок т.зв. стеричного ефекту. Цей ефект обумовлений формами ланцюгів і характером зарядів на поверхні зерен цементу і гідратів.

Добавки СП нового покоління типу П на основі полікарбоксилатів забезпечують суттєве збільшення рухомості розчинових сумішей при дозуванні всього 0,17...0,22% від маси цементу. Якщо суміші з добавками традиційних СП швидко втрачають рухомість, то суміші з добавками полікарбоксилатів знаходяться в пластичному стані 1,5...2 год. Висока здатність до зберігання розчинових сумішей із СП типу П робить їх особливо привабливими при тривалому транспортуванні.

До найбільш дешевих пластифікаторів відносяться ПАР на основі лігносульфонатів, що являють собою побічні продукти промисловості. Широке застосування в технології розчинів одержали відходи гідролізного виробництва - лігносульфонати технічні (ЛСТ), які вводять в суміші звичайно в кількості 0,15...0,25 % маси цементу. При введенні 0,8...1% ЛСТ може досягатися значне зростання пластифікуючого ефекту однак міцність цементних розчинів суттєво знижується. Це є наслідком відповідного зменшення ступеню гідратації цементу і

збільшення в 2...2,5 разу об'єму втягнутого повітря. Стабілізуюча дія ЛСТ на процеси твердіння цементу зростає із збільшенням вмісту т.зв. редуруючих речовин (РР), представлених цукрами або вуглеводами як ксилоза, глюкоза, галактоза й ін. Очищення ЛСТ від РР можна робити за рахунок їхньої карамелізації при термічній обробці по спеціальному режиму або за допомогою екстракції кислим розчином ацетону.

Існує багато способів підвищення ефективності технічних лігносульфонатів як пластифікаторів:

- фракціонування за молекулярною масою;
- зміна складу функціональних груп;
- конденсація з формальдегідом у кислотному або лужному середовищі;
- окислювання речовинами, що вміщують азот;
- механохімічна обробка.

В табл. 6.7 наведений склад деяких відомих і успішно апробованих на практиці модифікованих технічних лігносульфонатів.

Для послаблення впливу пластифікаторів типу ЛСТ на гідратацію цементу, крім зазначених вище способів їх хімічного і фізико-хімічного модифікування, широко застосовують композиції пластифікаторів з електролітами-прискорювачами твердіння - сульфатом натрію, форміатом кальцію, триетаноламіном і ін.

До пластифікуючих за механізмом дії наближаються повітрявтягувальні і газовиділяючі добавки, що також відносяться до поверхнево-активних речовин (ПАР). *Повітрявтягувальні (мікропіноутворюючі) добавки* збільшують вміст і сприяють зменшенню розмірів пухирців повітря в розчинових сумішах завдяки адсорбції на поверхні поділу "повітря-рідина" і зменшенню поверхневого натягу останньої. Молекули ПАР орієнтуються полярними групами у бік води, а неполярними – у бік пухирців повітря, що перешкоджає їхній коалесценції (злипанню). В результаті забезпечується також гідрофобізація твердих часток. Із збільшенням вмісту добавок кількість втягнутого повітря зростає звичайно за параболічною залежністю.

Таблиця 6.7

Модифіковані технічні лігносульфонати

Скороче-не найменування	Склад	Скороче-не найменування	Склад
ЛТМ	Суміш ЛСТ із натрієвими або кальцієвими солями мінеральних кислот	ЛСТМ-2	Продукт, який отримується шляхом хімічного модифікування ЛСТ карбамідною смолою
		ЛСТМ-1	Продукт хімічної модифікації ЛСТ аміновміщуючими речовинами
ХДСК-1	Продукт обробки ЛСТ лугом при одночасному інтенсивному механічному впливі	МТС-1	Суміш ЛСТ і протиспінювача, в якості якого використовують вищі жирні спирти або кубові залишки їхнього виробництва
НІЛ-20	Суміш ЛСТ і продуктів гідратації портландцементу у вигляді тонкодисперсної суспензії	НІЛ-21	Модифікація ЛСТ протиспінювачем, що вводиться у водний розчин в процесі емульгування

Повітрявтягувальні добавки в залежності від хімічної природи розділяють на шість груп:

- 1) солі, одержувані з деревної смоли;
- 2) синтетичні миючі засоби;
- 3) солі лігносульфонових кислот;
- 4) солі нафтових кислот;
- 5) солі, які отримують з протеїнів;
- 6) солі органічних сульфокислот.

Накопичено великий досвід застосування добавки першої групи, що отримується при нейтралізації їдким натром деревної смоли після екстракції з неї скипидару. Ця добавка, представлена переважно абієтатом натрію і відома за назвою нейтралізований вінсол або смола нейтралізована повітрявтягувальна (СНП).

Основне призначення повітрявтягувальних добавок - радикальне підвищення морозостійкості бетонів та розчинів в результаті створення раціональної системи повітряних пухирців в структурі матеріалів. Добавки цього класу були запропоновані наприкінці 30-х років минулого сторіччя після виявлення ефекту підвищення морозостійкості дорожніх плит, виготовлених на цементі, при помелі якого вводилися присадки відповідних ПАР.

Поряд із підвищенням морозостійкості повітрявтягувальні добавки покращують легкоукладальність сумішей, зменшують їхнє розшарування і водовідділення, підвищують сульфатостійкість і непроникність розчинів.

На об'ємний вміст втягнутого повітря впливають багато чинників, обумовлених складом розчинової суміші і технологічними параметрами.

Об'єм повітря зростає зі збільшенням рухомості розчинової суміші, зменшенням крупності піску. Наявність в розчинової суміші високодисперсних матеріалів, таких як зола виносу, пиловатих фракцій піску, а також підвищення температури приводить до зниження повітрявтягування і вимагає збільшення вмісту ПАР. Знижують вміст повітря в розчинової суміші також тривале перемішування і вібрування.

Газоутворюючі добавки представлені в основному полігідросилоксанами, що відносяться до кремнійорганічних сполук (ГКР-94, ГКР-94М і ін.), а також алюмінієвою пудрою. В результаті взаємодії цих добавок із гідроксидом кальцію виділяється водень у вигляді дрібних газових пухирців. Із зростанням концентрації добавки, кількість утвореного газу збільшується практично лінійно. Кількість газу, що виділився, збільшується із зростанням вмісту лугів у цементі і водоцементного відношення.

Поряд з утворенням дрібних, рівномірно розподілених пор в розчині при введенні полігідросілоксанів має місце гідрофобізація внутрішньої поверхні пор і капілярів. Вона особливо важлива для підвищення стійкості розчину в умовах капілярного підсмоктування, а також періодичного зволоження і висушування, заморожування й відтавання.

В групу *прискорювачів твердіння* входять, як правило, солі-електроліти, основним ефектом яких є прискорення твердіння (у ряді випадків і тужавлення) розчинових сумішей. З прискорювачів твердіння в найбільшій мірі досліджений хлорид кальцію. Ця добавка була запропонована ще в 1885 р. У.Міллером і С.Ніколсом. Дія хлориду кальцію пояснюється підвищенням розчинності клінкерних мінералів цементу, утворенням комплексних малорозчинних речовин, каталітичним і модифікуючим впливом при гідратації цементу. Застосування його, однак, обмежено через прискорення корозії сталевій арматури і зниження стійкості цементного каменю в сульфатному середовищі.

В якості прискорювачів тужавлення і твердіння застосовують також сульфати натрію і калію, нітрати натрію і кальцію, хлорне залізо, хлорид і сульфат алюмінію й інші солі-електроліти.

Багато добавок - прискорювачів твердіння є також *протиморозними*, що забезпечують твердіння розчинів при знижених, у тому числі і від'ємних температурах. Ефективне суміщення солей - прискорювачів твердіння бетону і речовин, що володіють антифрізними властивостями. Як протиморозні широко застосовують добавки на основі хлориду кальцію - суміші хлориду кальцію з хлоридом натрію, нітритом натрію, нітрит-нітратом кальцію й ін. Введення самого хлориду кальцію незначно знижує температуру замерзання води. В якості протиморозних добавок застосовують як електроліти, так і неелектроліти, що не чинять помітного прискорюючого впливу або належать до числа сповільнювачів тужавлення і твердіння: аміак, спирти, карбамід і ін.

Добавки можна віднести до протиморозних при зниженні ними температури замерзання води, їхнє дозування можна

призначати у відсотках стосовно маси води замішування, концентрація протиморозних добавок призначається в залежності від розрахункової температури твердіння бетону (табл. 6.8).

Таблиця 6.8

Рекомендована концентрація протиморозних добавок

Розрахункова температура твердіння бетону, °С	Концентрація добавок, % до маси води замішування					
	нітрит натрію (НН)	суміш хлоридів кальцію і натрію (ХК+ХН)	нітрит-нітрат кальцію (ННК)	суміш нітриту кальцію і сечовини (НК+С)	нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК)	поташ (П)
0...-5	8	(6+0)(6+4)	9	8	6	10
-6...-10	12	(7+3)(8+5)	16	15	12	12
-11...-16	16	(6+9)(7+10)	-	18	15	16
-17...-20	-	(5+12)(6+14)	-	22	18	20
-21...-25	-	-	-	-	22	25...30

В технологічній практиці поряд із прискоренням твердіння в ряді випадків виникає необхідність в *сповільнювачах тужавлення* (проведення робіт в жарку погоду, зберігання "життєздатності", транспортування розчинової суміші на далекі відстані й ін.).

Форсен розділив сповільнювачі тужавлення на чотири групи відповідно до їхнього впливу на початок тужавлення (рис. 6.4).

Основні види солей, що входять у ці групи:

1. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$, CaS_2 .
2. CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaBr_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
3. Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 .
4. Na_3PO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_7$, Na_3AsO_4 , $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$.

Багато пластифікуючих водознижуючих добавок, є одночасно і сповільнювачами тужавлення цементу. Відносячись

до класу ПАР, ці добавки адсорбуються на поверхні цементних зерен і продуктах їхньої гідратації, що викликає певний екрануючий ефект і гальмує початкові процеси взаємодії цементу з водою.

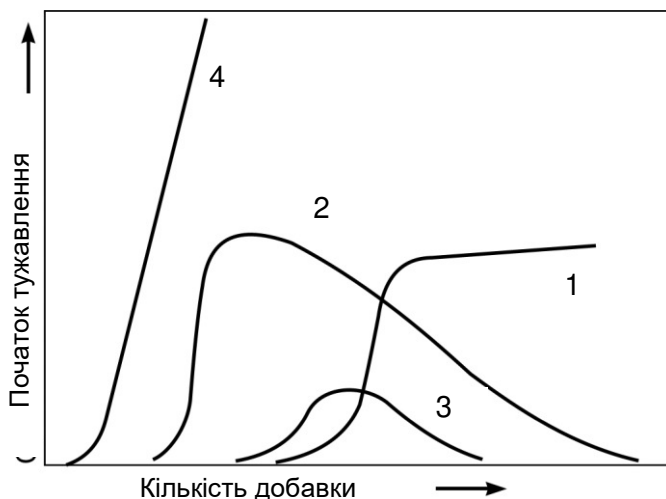


Рис. 6.4. Дія різних сповільнювачів тужавлення (за Форсенном)

Відповідно до класифікації добавок, запропонованої В.Б. Ратиновим і Т.І. Розенберґ, сповільнювачами тужавлення можуть бути добавки першого, другого і четвертого класів. Добавки першого класу є сповільнювачами в тому випадку, якщо вони знижують імовірність виникнення при гідратації цементу зародків нових фаз, другого класу – утворюють екрануючі плівки із продуктів їхньої взаємодії з цементом. При застосуванні добавок четвертого класу – ПАР в результаті адсорбції гальмується розчинення зерен, виникає дифузійний опір процесам гідратації.

Сучасна промисловість товарів будівельної хімії поряд з основними видами хімічних добавок виготовляє багато добавок спеціального призначення. Їхнє виробництво одержало особливий розвиток із широким впровадженням в практику

сухих будівельних сумішей. Ряд хімічних добавок додає сухим сумішам підвищену тіксотропність, має розріджуючий ефект, регулює терміни тужавлення, прискорює твердіння й ін. У комплекс спеціальних хімічних добавок входять: згущувачі, диспергатори, пороутворювачі, антиспінювачі, гідрофобізатори, консерванти та ін.

В якості *полімерних добавок* в цементних системах застосовують:

- еластоміри - синтетичні каучуки (бутадієнстирольний, хлоропреновий, дивінілстирольний і ін.); термопласти (полівінілацетат, сополімери вінілацетату, полівінілхлоропрен і ін.);
- реактопласти (епоксидні, фуранові, поліефірні й ін.);
- водорозчинні смоли (діетиленгліколеві, сечовинноформальдегідні, ацетоноформальдегідні й ін.).

6.4. Зерновий склад заповнювача

До важливих технологічних задач ресурсозбереження і підвищення якості будівельних розчинів відноситься оптимізація зернового складу заповнювача.

При відомих значеннях насипної густини заповнювача (ρ_n) і густини його зерен (ρ_3) розрахункове значення пустотності (Π^0):

$$\Pi^0 = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_3} \right). \quad (6.2)$$

При змішуванні окремих фракцій заповнювачів розрахункове значення пустотності можна визначити за формулою:

$$\Pi^0 = 1 - \frac{\rho_n^{сМ}}{m^{сМ}} \left[V_1(1 - \Pi_1^0) + V_2(1 - \Pi_2^0) + \dots + V_n(1 - \Pi_n^0) \right], \quad (6.3)$$

де: $m^{сМ}$ і $\rho_n^{сМ}$ – маса суміші фракцій та її насипна густина;

$V_1, V_2 \dots V_n$ – насипні об'єми фракцій, що змішуються;

$\Pi_1^0, \Pi_2^0 \dots \Pi_n^0$, – пустотність фракцій заповнювачів, що змішуються.

У 1914 р. Б.Ніколаєв проаналізував геометричну структуру простору, заповненого зернами сипучого матеріалу. Ним розрахована пустотність зерен різної геометричної форми при найбільш і найменш щільній укладці (табл. 6.9).

Таблиця 6.9
Пустотність сипучих матеріалів залежно від форми зерен

Форма зерна	Пустотність, %		
	при найбільш щільній укладці	при найменш щільній укладці	середні значення
Куби	0	87,1	43,55
Октаедри	12,1	83,9	48,05
Додекаедри	14,1	60,7	37,4
Ікосаедри	10,3	59,9	35,1
Кулі	26,2	47,6	36,9

На практиці найбільш і найменш щільні укладки зерен малоймовірні. Значення пустотності зростають із збільшенням лежачості зерен, особливо при застосуванні зерен подовженої форми.

Сформувався два підходи для забезпечення щільних сумішей окремих фракцій заповнювача: вибір переривчастого або безперервного їх складу.

Приблизники переривчастої гранулометрії суміші заповнювачів виходять із геометричних закономірностей укладки зернистих матеріалів. Так, відомо, що при кубічній укладці дрібних і крупних куль із діаметром відповідно d і D для забезпечення найбільш щільної їх укладки, має виконуватися умова:

$$d = D\sqrt{2} - D = 0,41D. \quad (6.4)$$

При тетраедричній укладці

$$d = \frac{2}{3}D\sqrt{3} - D = 0,155D. \quad (6.5)$$

Кубічна упаковка куль має пустотність 47,6, тетраедрична – 26%.

Оптимальні співвідношення діаметрів найменших фракцій зерен до діаметра найбільшої фракції коливаються від 0,07 до 0,04.

А.І. Кудяковим запропонована формула, за якою можна визначити необхідну кількість n -ної фракції багатофракційного заповнювача:

$$Q_n = \rho(1 - \varphi'_1)(1 - \varphi'_2) \dots (1 - \varphi'_{n-1})\varphi''_n, \quad (6.6)$$

де ρ – густина матеріалу;

$\varphi'_1, \varphi'_2, \varphi'_n$ – коефіцієнти заповнення, які показують зміну об'єму порожнин крупної фракції при послідовному заповненні їх більш дрібними зернами. На практиці значення $\varphi'_2 \dots \varphi'_n$ можна приймати рівними 0,2.

Тоді:

$$Q_n = \rho(1 - \varphi'_1)(0,8^{n-2})\varphi''_n, \quad (6.7)$$

де n – число фракцій;

φ''_n – коефіцієнт заповнення, який показує необхідну кількість останньої фракції.

Для граніту, базальту, вапняку $\varphi''_n = 0,307 \dots 0,351$.

Хоча переривчастий зерновий склад і забезпечує меншу порожнистість суміші зерен, більшість дослідників віддає перевагу безперервному зерновому складу заповнювачів розчинних і бетонних сумішей. Це пояснюється необхідністю при однаковій рухомості бетонних сумішей в останньому випадку меншого об'єму дрібних фракцій і відповідно витрати цементу на обмазку зерен. Крім того, суміші з безперервним зерновим складом менше схильні до розшарування.

Для вибору безперервного зернового складу заповнювачів запропоновані різні “ідеальні” криві просіювання, з яких найбільшу популярність одержали криві Фулера, Болемея і Гуммеля, які виражаються досить близькими формулами:

Формула		Автор
$Y = 100\sqrt{\frac{d}{D}}$	(6.8)	Фулера
$Y = A + (100 - A)\sqrt{\frac{d}{D}}$	(6.9)	Боломей
$Y = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n$	(6.10)	Гуммель

У формулах (6.8...6.10) d розмір зерен даної фракції; D – гранична крупність заповнювача; A – коефіцієнт, рівний 8 для піску в жорстких і 10 в пластичних сумішах; n – показник степеня, він може коливатися від 0,1 до 1.

Методика побудови кривих щільних сумішей, яка використовується при доборі складу заповнювачів асфальтових бетонів, запропонована М.М. Івановим. Ним прийняте співвідношення об'ємів кожної наступної фракції до попередньої, максимальна крупність якої більша в 2 рази (т.зв. *коефіцієнт збігу*), рівним $k=0,81$. При розрахунку за формулою Фуллера таке відношення (за умови рівності густин кожної фракції) дорівнює $k=0,707$, за формулою Гуммеля при $n=0,3$ $k=0,812$. Досить щільні суміші за М.М. Івановим можна одержати при значенні коефіцієнта збігу в межах 0,65...0,8 (рис. 6.5).

Якщо прийняти вміст у % першої фракції рівним a , то вміст другої буде a_1k , третьої a_2k і т.д. Кількість останньої фракції повинна дорівнювати $a_{n-1}k$.

Сума об'ємів усіх фракцій може бути записана в наступному вигляді:

$$a(1 + k + k^2 + \dots + k^{n-1}) = 100\% . \quad (6.11)$$

Отже, вміст першої фракції (тобто частковий залишок на відповідному ситі):

$$a_1 = \frac{1 - k}{1 - k^n} \cdot 100 . \quad (6.12)$$

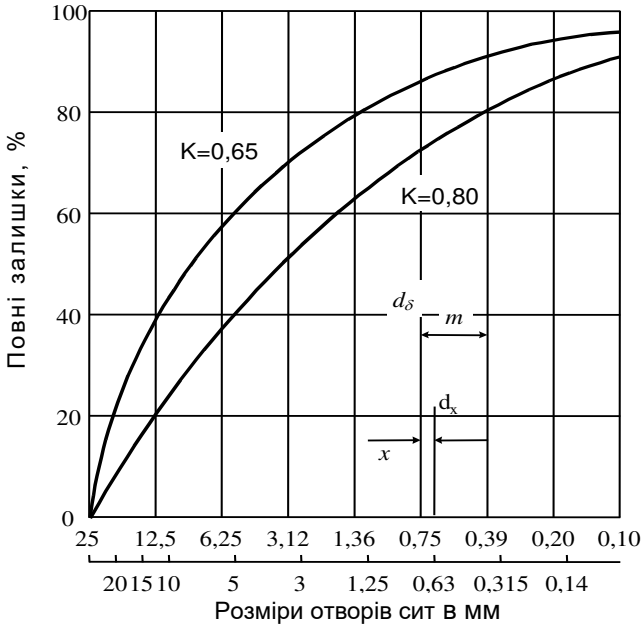


Рис. 6.5. Криві щільних мінеральних сумішей при різних значеннях коефіцієнта збігу (κ)

Для реальних заповнювачів зерновий склад завжди відхиляється від ідеальної кривої, тому в стандартах, що визначають вимоги до заповнювача, вказують рекомендовану область зернових складів.

Інтегральною характеристикою крупності, що широко застосовують для оцінки якості піску як заповнювача бетонів, є модуль крупності:

$$M_{кр} = \frac{A}{100}, \quad (6.13)$$

де A – сума повних залишків на контрольних ситах, %:

$$A = A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16} \quad (6.14)$$

Повні залишки на кожному із сит знаходять, сумуючи часткові залишки на даному ситі і ситах із більш крупними отворами.

Модуль крупності піску характеризує площу над інтегральною кривою просіювання (рис. 6.6). Недоліком цього показника є те, що він неоднозначно характеризує зерновий склад: одному і тому ж значенню $M_{кр}$ можуть відповідати різні криві просіювання. Для обмеження області можливого варіювання кривих просіювання при оцінці якості піску разом з модулем крупності вказують додатково повний залишок на ситі №063 (табл. 6.10).

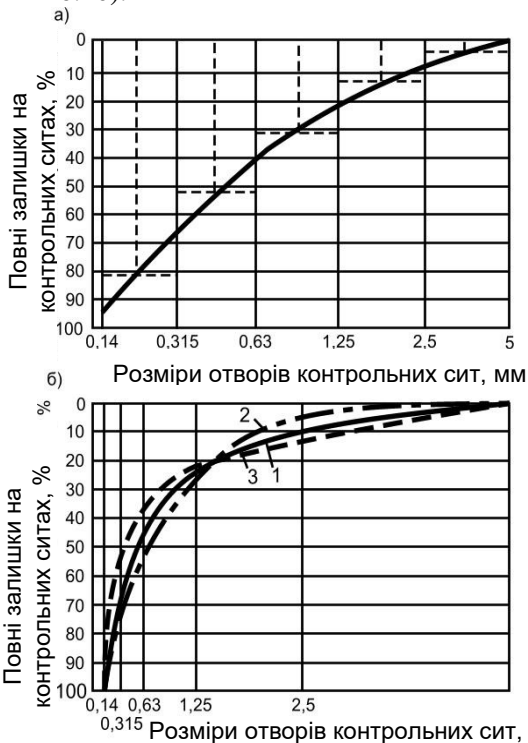


Рис. 6.6. Інтегральні криві просіювання піску:
 а – в напівлогарифмічній системі координат;
 б – варіанти кривих просіювання (1–3) пісків з однаковим модулем крупності

Таблиця 6.10

Групи пісків за крупністю

Група пісків	Модуль крупності, $M_{кр}$	Повний залишок на ситі №063, % за масою
Крупний	більше 2,5	більше 45
Середньої крупності	2,0...2,5	30...45
Дрібний	1,5...2,0	10...30
Дуже дрібний	1,0...1,5	до 10

Необхідний об'єм цементного тіста при одержанні щільного розчину:

$$V_{ц.т} = \Pi_a^0 V_3 + \delta U_3 V_3 + V_{н.в.}, \quad (6.15)$$

де Π_a^0 і U_3 – пустотність (за абсолютним об'ємом) і питома поверхня заповнювача;

V_3 – абсолютний об'єм заповнювача;

$V_{н.в.}$ – об'єм повітря;

δ – товщина шару цементного тіста.

Питому поверхню заповнювача (U) можна визначити через середній розмір зерна d_{cp} :

$$U = \frac{N}{d_{cp}}, \quad (6.16)$$

де N – коефіцієнт, що залежить від форми зерна і рельєфу його поверхні.

В ідеальному випадку для полірованої кулі $N=6$, для реальних сипучих матеріалів цей коефіцієнт значно вище.

Для визначення розрахункової питомої поверхні заповнювачів можна використовувати різні емпіричні формули. Для кварцового піску питому поверхню можна розрахувати по формулі:

$$U_n = \frac{0.025}{\rho_n} (a_1 + 2a_2 + 4a_3 + 7,4a_4 + 15a_5 + 110a_6), \quad (6.17)$$

де $a_1...a_6$ – відсотковий вміст фракцій піску при стандартному розсіві;

$v_1 \dots v_4$ – відсотковий вміст фракцій щебеню (гравію) 60...40, 40...20, 20...10 і 10...5 мм.

Коригування параметрів заповнювачів шляхом змішування, наприклад, двох пісків може виконуватися за допомогою формули:

$$n = \frac{P_1^k - P^k}{P_1^k - P_2^k}, \quad (6.18)$$

де P^k – необхідне значення, параметра, який коригується (модуля крупності, питомої поверхні, вмісту зерен певної фракції);

P_1^k і P_2^k – значення параметра, який коригується в заповнювачі, відповідно з більшим і меншим його значенням;

n – об'ємна частка заповнювача з меншим значенням P^k в сумі об'ємів заповнювачів, які змішуються.

Література

1. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов – М.: АСБ, 2007. - 524 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1988. - 768 с.
3. Большаков В.И. Строительное материаловедение / В.И. Большаков, Л.И. Дворкин – Днепропетровск, 2006.- 768 с.
4. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини / В.І. Гоц, В.В. Павлюк, П.С. Шилюк – К.: Основа, 2016. - 568 с.
5. Дворкин Л.И. Бетонведение / Дворкин Л.И. – М.: Инфра-Инженерия, 2021. т.1 – 692 с., т.2 – 608 с.
6. Дворкін Л.Й. Бетони і будівельні розчини / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л.– К.: Основа, 2008. - 445 с.
7. Дворкін Л.Й. Будівельні в'язучі матеріали / Дворкін Л.Й. – К.: Кондор, 2019. - 628 с.
8. Дворкін Л.Й. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів / Дворкін Л.Й., Гоц. В.І., Дворкін О.Л. – К.: Основа, 2014. - 304 с.
9. Дворкін Л.Й. Проектування складів бетонів (Методи, приклади, вправи) / Дворкін Л.Й. – К.: Кондор, 2018. - 616 с.
10. Дворкін Л.Й. В'язучі матеріали, бетони і будівельні розчини у сучасному будівництві / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Адамчик В., Гура Я., Туркевич Т. – Рівне. НУВГП, 2012.
11. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Пушкарьова К.К. та ін. – Рівне. НУВГП, 2009. - 339 с.
12. Дворкін Л.Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах / Дворкін Л.Й., Лушнікова Н.В., Рунова Р.Ф., Троян В.В.– К: КНУБіА, 2007. – 216 с.
13. Дворкін Л.Й. Властивості мінеральних будівельних матеріалів / Дворкін Л.Й. – Рівне. НУВГП, 2019. - 422 с.
14. Дворкін Л.Й. Ефективні гіпсові матеріали / Дворкін Л.Й., Гавриш О.М., Безусяк О.В. та інші. – К.: «ОПД Павленко», 2013. – 240 с.

15. Дворкін Л.Й. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини / Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. та інші. – Рівне. НУВГП, 2017. - 424 с.
16. Дворкин Л.Й. Сухие строительные смеси с применением дисперсных отходов промышленности / Дворкин Л.Й., Житковский В.В., Марчук В.В. – М.: Инфра Инженерия, 2019. – 312 с.
17. Кривенко П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / Кривенко П.В., Пушкарьова Е.К., Гоц В.И., Ковальчук Г.Ю. – К.: КНУБА, 2012. - 255 с.
18. Кривенко П.В. Строительное материаловедение / Кривенко П.В., Пушкарьова Е.К., Барановский В.Б. и др. – К.: Основа, 2007. - 704 с.
19. Рунова Р.Ф. В'язучі речовини / Рунова Р.Ф., Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Носовський Ю.Л. – К.: Основа, 2012. - 448 с.
20. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. К.: КНУБА, 2007.- 256 с.
21. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи / Саницький М.А, Соболь Х.С., Марків Т.Е. – Львів. Вид-во Львів.політехніки, 2010. 132 с.
22. Саницький М.А. Енергозберігаючі технології в будівництві / Саницький М.А, Позняк О.Р., Марущак У.Д. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. - 240 с.
23. Ушеров-Маршак А.В. Современные бетоны / Ушеров-Маршак А.В., Бабаевская Г.В. – Запорожье, 2007. - 226 с.
24. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Mathematical Experiments Planning in Concrete Technology. Nova Science Publishers , New York, USA, 2012. p. 172.
25. Dvorkin L, Nwoubani S., Dvorkin O. Construction Materials. Nova Science Publishers, New York, USA, 2010.– 409 p.
26. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Multi-Parametric Concrete Compositions Design. Nova Science Publishers, New York, USA, 2013, p. 223.

27. Dvorkin L., Dvorkin O., Basics of concrete science. Amazon, (Kindle edition) 382 p., 2011/(e-book).
28. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Construction materials Based on Industrial Waste Products. Nova science publishers, 2016, hh.242.
29. L. Dvorkin, V. Bolshakov. Structure and Properties of Building Materials. Trans Tech Publication ine, Zurich, 2016, p. 220.
30. L. Dvorkin, V. Zhitkovsky, Y. Ribakov. Concrete and montar production using stone sifting. CRC Press Taylor and Francis Group London, New York, 2018, p 159.
31. Dvorkin L. Metakaolin and Fly Ash as Mineral Admixtures for Concrete, CRC Press Taylor and Francis Group, London, New York, 2021, p. 240.