

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра будівельного виробництва та управління проектами

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ ТЕОРЕТИЗОВАНІ АСПЕКТИ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ  
МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО  
БЕТОНУ

THEORIZED ASPECTS OF THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE  
MONOLITHIC BUILDINGS USING MODIFIED CONCRETE

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БАД-112м  
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна  
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

Ломовацький С.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кулік М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ФБАД  
 Кафедра будівельного виробництва та управління проектами  
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.  
О.М. Назаренко  
 “ ” 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Ломовацький Станіслав Ігорович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Теоретизовані аспекти зведення висотних монолітних будівель з використанням модифікованого бетону. Theorized aspects of the construction of high-rise monolithic buildings using modified concrete

керівник проєкту (роботи) Кулік Михайло Валерійович, к.т.н., доцент  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2023 року №\_\_

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, аналітичне завдання для дослідження заданої проблематики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд технології висотних монолітних будівель. 2. Аналіз властивостей модифікованих цементних систем і бетонних сумішей. 3. Теоретизовані аспекти оптимізації технології зведення висотних монолітних будівель.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації, графічний матеріал 9-10 аркушів А1 розруковані на А3 з титульним аркушем та зброшуровані

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ                                                                             | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|                                                                                    |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| Аналітичний огляд технології висотних монолітних будівель                          | Кулік М.В., доцент                        |                |                           |
| Властивості модифікованих цементних систем і бетонних сумішей                      | Кулік М.В., доцент                        |                |                           |
| Теоретизовані аспекти оптимізації технології зведення висотних монолітних будівель | Кулік М.В., доцент                        |                |                           |
| Нормоконтролер                                                                     | Бобраков А.А., доцент                     |                |                           |

7. Дата видачі завдання “ 12 ” жовтня 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи)                                                      | Строк виконання етапів проєкту ( роботи ) | Примітка     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
| 1     | Постановка завдань по роботі                                                                  | 1 тиждень                                 | Завдання     |
| 2     | Обробка літературних джерел                                                                   | 2–4 тижні                                 | Розділ 1,2,3 |
| 3     | Виконання аналітичного огляду технології висотних монолітних будівель                         | 5–6 тижні                                 | Розділ 1     |
| 4     | Виконання аналізу властивостей модифікованих цементних систем і бетонних сумішей              | 7-8 тиждень                               | Розділ 2     |
| 5     | Розробка теоретизованих аспектів оптимізації технології зведення висотних монолітних будівель | 9–10 тижні                                | Розділ 3     |
| 6     | Оформлення пояснювальної записки та документів до неї                                         | 11 тиждень                                |              |
| 7     | Оформлення графічної частини                                                                  | 12-13 тиждень                             |              |
| 8     | Нормоконтроль та рецензування                                                                 | 14–15 тижні                               |              |
| 9     | Захист роботи.                                                                                | 16 тиждень                                |              |

Студент(ка)

\_\_\_\_\_  
( підпис ) Ломовацький С.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_  
( підпис ) Кулік М.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Робота являє собою наукове дослідження, через дослідження зведення висотних монолітних будівель з використанням модифікованого бетону. Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

**Методи дослідження** - робота являє собою теоретичне дослідження, яке виконано за допомогою комп'ютерних технологій та програмного забезпечення, операційних досліджень, когнітивної структуризації знань, теорії ухвалення рішень.

**Об'єкт дослідження** – властивості модифікованих бетонів, що використовуються для висотних монолітних будівель.

**Предмет дослідження** – засоби оптимізації зведення монолітних висотних будівель на базі фізико-хімічних закономірностей властивостей модифікованих органічними і неорганічними добавками бетонів.

**Актуальність теми** полягає в тому, що для вирішення завдання підвищення ефективності високоміцних модифікованих бетонів, призначених для висотного монолітного будівництва, необхідно модифікувати їх органічними і неорганічними добавками.

**Ключові слова:** органічні добавки бетону, неорганічні добавки бетону, висотне монолітне будівництво, модифіковані бетони, ефективність бетонів.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                    | 7  |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОТНИХ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ .....                                                                                             | 13 |
| 1.1 Висотні будівлі і споруди світу .....                                                                                                                     | 13 |
| 1.2 Отримання модифікованого бетону. Добавки для бетону та їх види.....                                                                                       | 17 |
| 1.2.1 Способи модифікування бетонів .....                                                                                                                     | 18 |
| 1.2.2 Мінеральні добавки .....                                                                                                                                | 19 |
| 1.2.3 Хімічні добавки .....                                                                                                                                   | 25 |
| 1.2.4 Комплексні органо-мінеральні добавки .....                                                                                                              | 27 |
| 1.3 Способи активації.....                                                                                                                                    | 28 |
| 2 ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМ І БЕТОННИХ СУМІШЕЙ.....                                                                                          | 37 |
| 2.1 Порівняльний аналіз властивостей цементів .....                                                                                                           | 37 |
| 2.1.1 Порівняльний аналіз властивостей цементів виробництва заводів «Київцемент» та «Київ-ресурс».....                                                        | 37 |
| 2.1.2 Методи досліджень .....                                                                                                                                 | 40 |
| 2.2 Підбір оптимального складу бетону, модифікованого органо-мінеральними добавками .....                                                                     | 43 |
| 2.3 Вплив органомодифікуючих добавок на структуру бетону.....                                                                                                 | 54 |
| 2.4 Процеси структуроутворень модифікованих цементних систем. Особливості механізму дії комплексних органо-мінеральних модифікаторів на цементні системи..... | 56 |
| 2.4 Деформативні характеристики модифікованого бетону .....                                                                                                   | 58 |
| 3 ТЕОРЕТИЗОВАНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ .....                                                                    | 61 |
| 3.1 Технологічна карта на улаштування бетонних робіт .....                                                                                                    | 61 |
| 3.1.1 Умови й особливості провадження робіт. ....                                                                                                             | 61 |
| 3.1.2 Характеристика об'ємно - планувального та конструктивного                                                                                               |    |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| рішення. ....                                                                                                        | 61 |
| 3.1.3 Організація й технологія робіт. ....                                                                           | 62 |
| 3.1.4 Опис технологічної карти на виробництво бетонних робіт. ....                                                   | 64 |
| 3.1.5 Операційний контроль якості робіт. ....                                                                        | 68 |
| 3.2 Витримування бетону і догляд за конструкціями у зимовий період. ....                                             | 70 |
| 3.2.1 Довговічність залізобетонних конструкцій з бетонів на основі комплексних органомінеральних модифікаторів. .... | 76 |
| 3.2.2 Проникність і корозійна стійкість бетонів з комплексними органомінеральними модифікаторами. ....               | 77 |
| 3.3 Економічний аспект застосування комплексних органомінеральних модифікаторів. ....                                | 78 |
| 3.3.1 Техніко-економічна ефективність використання суперпластифікаторів ...                                          | 78 |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                                       | 81 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                                     | 83 |

## ВСТУП

У зв'язку із загальним науково-технічним прогресом у світі, за останні 30 років в матеріалознавстві і в технології бетону відбулися значні зміни. З'явилися бетони нового покоління, які істотно відрізняються за різними параметрами від звичайних, з'явилися нові поняття і терміни, змінилися деякі традиційні нормативи.

Поява нових бетонів заснована, з одного боку, на більш глибоких представленнях про механізм формування високоякісної структури цементного каменю і бетону (це пов'язано з сучасними методами і апаратом досліджень), а з іншого боку, з можливістю модифікувати цементну систему за допомогою високоефективних добавок, у тому числі техногенного походження.

Ці бетони мають важливе практичне значення вже зараз. Частина з них являються основним конструкційним матеріалом сучасних споруд і реалізується у великих масштабах.

Бетони нового покоління - це модифіковані комплексом високоефективних добавок цементні системи. Набір добавок практично один:

- а) водонерозчинні дисперсні матеріали, в основному техногенного походження (мікрокремнезем, зола-виношення, граншлак), меншою мірою - природні (метакаолін і зола від спалювання рисового лушпиння);
- б) водорозчинні органічні матеріали - суперпластифікатори.

Сьогодні головний матеріал для зведення каркасу висотних споруд - монолітний залізобетон [1]. Хоча б тому, що на основі залізобетонного каркасу створені багато відомих хмарочосів, в тому числі і світові рекордсмени - вежа "Бурж Дубай" (висота 828 м) і висотки нафтового концерну Петронас у Малайзії (висота 432 м). Слід зазначити, що щорічне виробництво бетону, використовуваного для зведення монолітних конструкцій різних будівель і споруд, перевищує 1,5 млрд м<sup>3</sup>, а на виготовлення цих конструкцій витрачається більше половини світового виробництва цементу. За обсягами випуску і області свого застосування монолітний бетон випереджає інші види

будівельних матеріалів. Так, його виробництво на душу населення в США складає 0,75 м<sup>3</sup>, Японії - 1,2, Німеччині - 0,8, Франції - 0,5 м<sup>3</sup>. Для порівняння в країнах СНД цей показник значно менше - від 0,15 до 0,2 м<sup>3</sup> [13].

На сучасному етапі розвитку технологію бетонів важко уявити без застосування органічних і мінеральних добавок - одного з найбільш перспективних і ефективних напрямків, що дозволяють вирішувати проблеми економічності та якості будівництва.

Основним шляхом реалізації концепції бетонів нового покоління з високими експлуатаційними властивостями є модифікування бетонів з використанням більш досконалих і технологічних матеріалів у нових відпускних формах - комплексних органомінеральних добавок поліфункціональної дії. [33].

Згодом з'явилося розуміння, що потенціал монолітного бетону як конструкційного матеріалу, що дозволяє зводити яскраві і виразні споруди, використовується не повного мірою. Очевидно, що розширення сфери його застосування у висотному будівництві буде сприяти освоєнню нових технологій, створення і впровадження сучасних опалубних систем, систем комплексної механізації технологічних процесів приготування, доставки, подачі і укладання бетонної суміші, прискорених методів твердіння при цілорічному виробництві робіт.

Висотні будівлі (вище 17 поверхів) частіше бувають компактними, невеликих розмірів у плані, рідше протяжними, багатосекційними. Монтаж таких будинків здійснюють методом нарощування з використанням приставних, пересувних і самопідйомних баштових кранів.

Конструктивною основою висотних будівель є сталевий, залізобетонний або комбінований каркас з просторовим ядром жорсткості або плоскими діафрагмами - зв'язками.

При залізобетонному каркасі або металевому, але обетонованному, монтаж подальших ярусів можливий тільки після закладення стиків колон,

обетонованих металевих колон нижніх ярусів і набору бетоном стиків не менше 70% марочної міцності.

У більшості висотних будівель передбачено ядро жорсткості, яке сприймає горизонтальні навантаження від прилеглих частин будівлі і забезпечує стійкість і просторову жорсткість всієї будівлі в процесі монтажу і експлуатації. У деяких будівлях спочатку виконують монтаж ядра жорсткості, наприклад, ліфтової шахти до проектної відмітки, а потім - зведення інших конструктивних елементів.

Ядро жорсткості частіше виконують в монолітних конструкціях, зазвичай бетонування ядра випереджає монтаж каркаса на 1 - 2 яруси. Для надійного з'єднання каркаса з ядром будівлі в стінках ядра жорсткості повинні бути залишені штраби, отвори з оголеними стержнями арматури для кріплення до них балок каркаса зварними або болтовими з'єднаннями. Це дуже трудомістко, але гарантує, що монолітне ядро відразу починає сприймати горизонтальні навантаження встановленої частини каркаса.

За конструктивними особливостями і технологічними умовами, бетонування ядра жорсткості може відставати від монтажу каркаса. Це відставання допускає, що змонтовані конструкції відразу зварюються і бетонуються, чим забезпечується швидкий набір стиками 70% -ї міцності.

Гранична висота, на яку монтаж може випереджати бетонування ядра жорсткості, не повинна перевищувати 8 поверхів [52], обов'язковою умовою при цьому має бути розкріплення каркаса тимчасовими вертикальними і похилими зв'язками. Міжповерхові перекриття зазвичай влаштовують з великопанельних елементів, іноді в збірно-монолітному варіанті.

В сучасному будівництві для зведення житлових та громадських будівель все ширше використовується монолітний залізобетон. Останнім часом він все частіше замінює у конструкціях збірний залізобетон. Питання причини цього явища є актуальним в аспекті новітніх містобудівних та архітектурних концепцій. Досвід монолітного домобудування виявив техніко-економічні

переваги цього методу будівництва над великоблочним і великопанельним. Так, при обладнанні фундаментів під колони промислових будівель і деякі види технологічного устаткування вартість монолітних конструкцій на 35-50% нижче збірних. Зменшуються витрати металу в монолітному залізобетоні у порівнянні з панельними на 5%. Зведення монолітних споруд, на відміну від об'ємно-блочного будівництва, не потребує важкої будівельної техніки. До переваг монолітного залізобетону у процесі виготовлення над збірним також відноситься оперативність зміни обсягів будівництва, а до економічних переваг належать порівняно невеликі витрати при необхідності збільшення обсягів монолітного будівництва [49].

Переваги монолітних будинків перед панельними: термін експлуатації (не менше 200 років) [1], в 3 рази вище нормативне навантаження на міжповерхові перекриття, водо- і паростійкість, хороша звукоізоляція.

Дуже важливою перевагою монолітного залізобетону є можливість створення різноманітних форм і гнучких рішень. Монолітній залізобетон використовують, коли треба підвищити архітектурну виразність будівель і споруд, при нестандартності та малій повторюваності елементів і при особливо великих навантаженнях. Його застосування доцільне при спорудженні висотних будівель, громадських споруд та приватних будинків, коли потрібне створення оригінальних, незвичайних форм.

Поширення монолітного будівництва на пряму зв'язане зі зміною архітектурної концепції на сучасну, що передбачає заміну прямокутних, однотипних форм на більш плавні, округлі, та в зв'язку з цим потребує індивідуального, окремого для кожної будівлі дизайнерсько-конструкторського рішення. Завдяки своїм позитивним властивостям та перевагам над збірним монолітним залізобетоном в умовах розвитку висотного будівництва та впровадження ідей архітектурної індивідуальності будівлі є оптимальним рішенням.

Практика підтвердила перевагу будівництва житлових і громадських споруд, окремих елементів і конструкцій у монолітному і збірно-монолітному виконанні. Монолітне будівництво дозволяє реалізувати його ресурсозберігальну можливість, підвищити якість і архітектурну виразність окремих будинків і комплексів.

Його застосування може бути раціональним у першу чергу в районах зі складними геологічними умовами, при підвищеній сейсмічності, у місцях, де відсутні чи недостатні потужності повнозбірного будівництва, слабкий розвиток мережі доріг.

**Мета і задачі дослідження** аналіз комплексних органомінеральних модифікаторів і аналіз складу з високими технологічними та експлуатаційними властивостями, для зведення висотних монолітних будівель. Поставлена мета включає вирішення наступних завдань:

- проаналізувати склад і технологію одержання високоміцного бетону, який має високі експлуатаційні показники, призначеного для висотного монолітного будівництва;
- провести аналіз отриманих результатів досліджень і дати техніко-економічні обґрунтування ефективності застосування розробленого модифікованого бетону.

**Об'єкт дослідження** – властивості модифікованих бетонів, що використовуються для висотних монолітних будівель.

**Предмет дослідження** – засоби оптимізації зведення монолітних висотних будівель на базі фізико-хімічних закономірностей властивостей модифікованих органічними і неорганічними добавками бетонів.

**Актуальність теми** натурні спостереження показують, що стан висотного будівництва не так розвинутий на території України, як в інших країнах.

Для вирішення завдання підвищення ефективності високоміцних модифікованих бетонів, призначених для висотного монолітного будівництва, необхідно модифікувати їх органічними та неорганічними добавками.

**Методи дослідження:**

робота являє собою теоретичне дослідження, яке виконано за допомогою комп'ютерних технологій та програмного забезпечення, операційних досліджень, когнітивної структуризації знань.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

Запропоновані пропозиції будівельних матеріалів для оптимізації у використанні при зведенні монолітних конструкцій. Обґрунтована можливість удосконалення фізико-хімічного складу бетону для висотних монолітних будівель.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОТНИХ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ

## 1.1 Висотні будівлі і споруди світу

У Європі основними центрами скупчення хмарочосів є Лондон, Париж (Ля Дефенс), Франкфурт, Варшава й Роттердам. У Варшаві на площі 100 гектар зараз будується район Варшав-С - комплекс хмарочосів різного призначення. Серед близько десяти будівель виділяється Вежа Миру - найвищий хмарочос у Європі, будівництво якого закінчили у 2015 році. Висота Вежі становить 374 м і нараховує 93 поверхи. По закінченню будівництва місто вийде на одну із лідерських позицій у списку найвищих хмарочосів світу. Що стосується Європи, то постійне суперництво в побудові якісних і унікальних хмарочосів в якійсь мірі поступилося гонці за їх висотою. Величезне значення в престижі хмарочоса грає його архітектор і врівноважений підхід до архітектурного стилю.

Багато сучасних міст у Європі розташовують хмарочоси офісного й адміністративного використання в одному районі. Його називають по-різному: діловий центр, Сіті або сучасний центр. Це робиться для практичних цілей, наявність необхідної інфраструктури сприяє функціонуванню цих центрів, також це зберігає історичні райони. Ділові центри перебувають близько до історично сформованого центру. Скупчення хмарочосів в одному районі створює скайлайн (урбаністична панорама міста). Відомі скайлайни легко пізнавані і є своєрідними візитними картками міст.

До лідерів по будівництву вище 450 метрів входять наступні будівлі:

1. «Бурдж-Халіфа», офісний центр, Дубай (висота 828 м);
2. «Шанхайська вежа», офісний центр, готель Шанхай (632 м);
3. «Абраж аль-Баїт», готель, Мекка (601 м);
4. «Вежа свободи», офісний центр, Нью Йорк (541м);

5. «Вілліс тауер», офісний центр, Чікаго (527 м);
6. «Тайбей 101», готель, офісний центр, Тайбей (509,2 м);
7. «Шанхайський всесвітній фінансовий центр», Шанхай (492 м).

Бурдж-Халіфа, Конструктивні рішення. Завдяки конструктивному рішенню фундаменту, «Бурдж-Халіфа» зможе витримувати землетруси магнітудою до 6 балів за шкалою Ріхтера завдяки своєму потужному залізобетонному каркасу.

«Бурдж-Халіфа» побив світовий рекорд. Найбільша висота нагнітання бетонної суміші склала 601 м. До такої висоти бетон рухається по трубопроводу близько години. У будівлі була встановлена система трубопроводів для закачування бетонної суміші на висоту в кілька сот метрів. Щоб закачати 10м<sup>3</sup> бетону потрібен насос потужністю 630 к.с.

Для заливки конструкцій створили спеціальний вид бетону, який, крім високої міцності, володіє здатність витримувати високу температуру, що є необхідною умовою для будь-якого будівництва в Еміратах.

Бетонну суміш укладали тільки вночі, а в розчин додавали лід. Система та організація роботи були налагоджені так, що швидкість будівництва в середньому становила один поверх за три дні. Цілодобово над створенням великої башти працювали 12000 робітників.

Шанхайська вежа - надвисока будівля в районі Пудун міста Шанхай в Китаї. Висота будівлі становить 632 метри, загальна площа - 380 тис. м<sup>2</sup>. Поруч з хмарочосом стоять вежа Цзінь Мао і Шанхайський всесвітній фінансовий центр.

У серпні 2014 були закінчені зовнішні роботи і почалася внутрішня обробка. По завершенні будівництва в 2015 році воно стало найвищою будівлею в Шанхаї, першим по висоті в Китаї і третім у світі вільно вартим спорудою, після вежі Небесне дерево Токіо (634 м) і Бурдж Халіфа (828 м) в Дубаї. У 2016 році його повинен був обігнати споруджуваний Міжнародний

фінансовий центр піаніа в місті Шеньчжень, але в останній момент його висота була зменшена до 600 м.

Абрадж аль-Бейт - комплекс висотних будівель, побудований в Мецці, Саудівська Аравія. Це найбільша (але не найвища) споруда в світі по масі, також це найвища споруда в Саудівській Аравії і третя в світі після Бурдж-Халіфа і Шанхайської вежі, перевершуючи разом з ним в мусульманському світі вежі Петронас (Куала-Лумпур, Малайзія ), які утримували титул найвищої споруди у світі між 1998 і 2003 роками; найвищий готель у світі.

Будівництво відбувалося протягом 8 років, з 2004 року по 2012 рік. Будівля налічує 120 поверхів. Площа всередині будівлі становить 1,5 млн. м<sup>2</sup>. Самий верхній поверх Абрадж аль-Бейт знаходиться на висоті 558,7 метрів над землею.

Усі вежі Абрадж аль-Бейт носять назви з ісламської історії. Усе в комплексі налічується 7 веж: Годинна Королівська - висота 601 м, Хаджар - 260 м, Замзам - 260 м, Макам - 250 м, Кібл - 250 м, Сафа - 240 м і Марва - 240 м.

1.2.1 Стан висотного будівництва в Україні. В Україні в силу ряду причин в т.ч. економічних, психологічних, нормативної бази, технологічних та ін. на будівництвах використовуються бетони з міцністю що не перевищує 50 ... 55МПа. Водночас в дослідницьких лабораторіях України на базі використання матеріалів вітчизняного походження отримані бетони з міцністю більше 80 МПа.

Нормативна документація, що стосується будівництва хмарочосів, відсутня. Також більше 30% висотних київських будівель не відповідають нормам пожежної безпеки, в житлових будівлях вище 12 поверхів неможливо забезпечити протипожежну безпеку. При будівництві 17-, 25- і 30-поверхових будівель необхідні нові інженерні рішення і додаткові дорогі системи протипожежної безпеки.

Всі системи пожежної безпеки потребують постійного профілактичного обслуговування. При поломці системи виявлення пожежі та автоматичного

гасіння, при поломці або відсутності самозакривних дверей сходових кліток і автономних насосних станцій, за допомогою яких можна подавати воду на висоту понад ста метрів пожежні не забезпечуються безпека. Найвища пожежна драбина, яка є у наявності на озброєнні у столичних пожежників, - п'ятдесят метрів.

Перша висотна будівля на території України була збудована в Києві у 1912 році, це був 12-поверхова будівля Гінзбурга (67,5 м), наступними великим стрибком у висотне будівництво стали Харківські висотки: 13-поверховий Держпром (1928 рік) та 14-поверховий Дім Проектів (1932 рік) заввишки 68 і 68,5 метрів відповідно. В УРСР заборонялося споруджувати житлові будинки з умовною висотою (рівнем підлоги останнього житлового поверху) вище 73,5 м [53].

Стрибок у висотне будівництво почався у кінці 1990-х років, коли закон про антивисотне будівництво було визнано недійсним, і економіка держави дала змогу споруджувати будівлі великого масштабу; з того часу в країні збудували більше 30 будинків вищих 100 метрів [51].

Житловий комплекс на Кловському узвозі - двосекційна будівля у Києві, складається з 48-поверхового житлового комплексу і 18-поверхового офісного центру, сполучаються секції 8-поверховим «переходом». Сьогодні споруда є найвищою в Україні. Висота будівлі складає 168 м.

Ще одна із висотних будівель України - це багатофункціональний комплекс «Gulliver» БФК Gulliver - висотна будівля «бізнес-класу» в Києві. З висотою 148,1 м він посідає друге місце, як найвищий будинок України. Будівля складається з двох блоків: 35-поверхового бізнес-центру та 16-поверхового розважального комплексу. Використовується як офісний та торгово-розважальний центр.

## 1.2 Отримання модифікованого бетону. Добавки для бетону та їх види

При великих обсягах бетонування, бетонна суміш зазвичай поставляється спеціалізованим підприємством - бетонним заводом або вузлом.

Після укладання бетону в опалубку для запобігання утворення пустот і раковин обов'язково проводиться його ущільнення за допомогою глибинних або поверхневих вібраторів. У випадку висотного монолітного будівництва чотирьохкомпонентна суміш доповнюється спеціальними добавками. Важливою вимогою є безперервне виробництво бетону у великій кількості і подача його на великі відстані як по горизонталі, так і по вертикалі без зміни реологічних властивостей [5]. Тому виникає необхідність модифікування бетонної суміші.

Модифікований бетон готують шляхом змішування полімеру і мономера в дисперсій, порошкоподібній або рідкій формі зі свіжим цементним розчином або з бетонними сумішами з наступною витримкою, якщо це необхідно. Мономер, що міститься в розчині або бетоні, полімеризується. З їх допомогою отримують різноманітні, модифіковані полімерами розчини та бетони.

Технологія введення добавок. Максимальний ефект добавки забезпечують при їх введенні відразу після закінчення перемішування цементу, заповнювачів і води. Однак така технологія пов'язана з деякими труднощами, в основному з необхідністю забезпечити сталість легкоукладальності бетонної суміші і гомогенності розподілу в ній добавок, особливо при виготовленні важкої бетонної суміші [32].

Природним компромісом між доброю технологічністю першого способу та практичною ефективністю другого виявився наступний шлях: після 15-20 с початкового перемішування цементу і заповнювачів приблизно з 50% води замішування в бетонну суміш вводимо всю добавку, заздалегідь розчинену приблизно в 25% води замішування; на останньому етапі подаємо залишкову кількість води до досягнення потрібної рухливості бетонної суміші.

Технологія введення добавки впливає також на терміни тужавіння цементу і міцність бетону при стиску. Довші терміни тужавіння і дещо менша рання міцність зразків у віці 1 доби спостерігаються при більш пізньому введенні добавки; проте в період 3-28 діб міцність бетону при стиску для цієї технології вище, так як відбувається сильне водозниження. Ефект від обраної технології може бути використаний для зменшення дозування добавки при отриманні рівноміцних бетонів. Для порівнюваних технологічних прийомів практично рівноміцний бетони вдається отримати, застосовуючи 0,25% добавки до маси цементу, якщо її вводити відразу з усією водою замішування, і 0,2% цієї ж добавки, що вводиться на останньому етапі перемішування з залишилася частиною води замішування.

### **1.2.1 Способи модифікування бетонів**

Розчин і бетон, виготовлені з портландцементу, відомі у всьому світі в якості будівельного матеріалу вже протягом 160 або більше років. Однак цементний розчин і бетон мають деякі недоліки, такі, як уповільнене твердіння, низька міцність при згині, велике тріщиноутворення при висиханні і низька хімічна стійкість. Для подолання цих недоліків намагалися використовувати полімери. Одним з таких напрямків є створення модифікованого полімерами розчину (полімерцементу) або бетону. Для цього застосовують модифікацію звичайного цементного розчину або бетону такими полімерними добавками, як латекси, порошкоподібні емульсії, водорозчинні полімери, рідкі смоли і мономери. Розчин і бетон, модифіковані полімером, мають монолітну структуру, в якій органічна полімерна матриця і матриця цементного гелю гомогенізуються.

Властивості розчину і бетону, модифікованого полімером, визначаються такою спільною матрицею. У системах, модифікованих латексом, порошковими емульсіями і водорозчинними полімерами, дренаж води з цих систем при

гідратації цементу призводить до утворення плівки або мембрани. У системах, модифікованих рідкими смолами і мономерами, добавка води стимулює гідратацію цементу і полімеризацію рідких смол або мономерів [44].

### **1.2.2 Мінеральні добавки**

Дія органо-мінеральних модифікаторів на цементні системи полягає в тому, що при замішуванні водою і перемішуванні компонентів бетонної суміші відбувається дезагрегація гранул, якій також сприяє розчинення затверділої адсорбційної плівки (прошарку) із СП розділяючої частинки МК. Надалі в цементній системі відбуваються процеси, характерні для систем що містять діоксид кремнію дисперсними матеріалами і СП.

Перший фактор, пов'язаний, в основному, з ультрадисперсним розміром МК і, меншою мірою, з хіміко-мінералогічним складом, робить істотний вплив на поведінку цементної системи на стадії коагуляційного структуроутворення, тобто коли система знаходиться в пластичному стані. Особливості системи з МК пов'язані із заповненням ультрадисперсними частинками простору між грубодисперсними частинками цементу і утворенням численних, хоча і ослаблених, коагуляційних контактів між частинками твердої фази. Ці обставини так само, як зменшення обсягу вільної води в системі (за рахунок збільшення обсягу адсорбційно-зв'язаної) різко змінюють реологічні та технологічні властивості: підвищують в'язкість, пластичну міцність, а також зв'язність (нерозшованість) і тиксотропність сумішей. Крім того, «фізичний фактор» може сприятливо впливати на формування структури на пізній, кристалізаційній стадії, враховуючи те, що ультрадисперсний матеріал, заповнивши пори в структурі твердіючого каменю, сприяє підвищенню його щільності [20].

Мікрокремнезем, будучи побічним продуктом виробництва феросиліцію, являє собою тонкодисперсний продукт, що складається на 80-98% з аморфного

SiO<sub>2</sub> (таблиця 1.1). Частинки мікрокремнезема мають сферичну форму із середнім діаметром 100 нм. Питома поверхня, виміряна методом адсорбції N<sub>2</sub>, становить 15-25 м<sup>2</sup>/г. Насипна щільність відфільтрованого матеріалу складає приблизно 200 кг/м<sup>3</sup>. Ефективність застосування мікрокремнезема визначають його гідравлічна активність, питома поверхня, форма і розмір часток, хімічний склад, наявність домішок.

Мікрокремнезем зменшує проникність бетону. Ефект заповнення пор, створюваний пуцолановими сферичними мікрочастинками, сприяє значному зменшенню капілярної пористості і проникності бетону.

Непроникний бетон фактично можна отримати при порівняно низькому вмісті звичайного портландцементу і помірному вмісті мікрокремнезема. Так як мікрокремнезем більше впливає на проникність, ніж на міцність, то бетон, який містить мікрокремнезема, буде менш проникним, ніж бетон на звичайному портландцементі еквівалентної міцності.

Низька проникність і підвищена щільність цементного каменю забезпечують морозостійкість бетону з мікрокремнеземом. Теоретичної несумісності мікрокремнезема з повітровтягувальними добавками немає, насправді реологічна стабільна структура бетону з мікрокремнезема покликана зменшувати втрату повітря під час вібрування і транспортування.

Свіжевиготовлена суміш бетону, на перший погляд, здається жорсткою, але її подавати насосом набагато легше, а також обробляти і укладати. За допомогою мікрокремнезема підвищується легкоукладальність, якщо його довго перемішувати або проводили через бетононасос. Найдрібніші частинки мікрокремнезема, коли розсіюються по об'єму, стабілізують і ущільнюють суміш, значно при цьому знижуючи розшарування і виступання води. Якщо ж суміш жирна, то це призведе до утворення тріщин під час пластичної усадки, так як вода, яка випаровується не замінює з поверхні водою виступаючої. Саме тому, у вітряну або жарку погоду потрібно приділяти увагу витримуванню і захисту бетону.

Таблиця 1.1. Хімічний склад мікрокремнезему.

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | C     | S     |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|-------|
| 90-92%           | 0,68%                          | 0,69%                          | 0,85% | 1,01% | 0,61%             | 1,23%            | 0,98% | 0,26% |

При використанні мікрокремнезема для виготовлення особливо міцних бетонів тисячі сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюючи цементний розчин, заповнюючи порожнечі твердими продуктами гідратації і покращуючи зчеплення з заповнювачами, набагато ефективніше, ніж інші мінеральні добавки, такі як цеолітовий туф, доменний і котельний шлак.

Мікрокремнезем, як високореакційний пуцолан, сприяє отриманню більш міцного і довговічного цементного каменю. Властивості мікрокремнезема покращують такі характеристики бетону, як міцність на стиск, міцність зчеплення і зносостійкість, морозостійкість, хімічну стійкість і значно знижують проникність. Що дозволяє протистояти тривалий час зовнішнім природних і виробничих впливів (середрах).

Хімічні та фізичні характеристики. Вид сплаву, що виробляється в печі, є основним чинником, що визначає характер матеріалу, зібраного в рукавних фільтрах. Печі для виробництва феррокремнієвих сплавів з вмістом кремнію понад 72% дають мікрокремнезему, дуже схожий за своїми властивостями та складом. Конденсовані пари кальцієво-кремнієвих, ферохрому-кремнієвих і кремнієво-марганцевих сплавів можуть володіти схожими фізичними характеристиками, але їх хімічний склад може істотно відрізнятися. Частинки мікрокремнезема мають гладку поверхню і сферичну форму. Середній розмір часток складає 0,1 > 0,2 мікрон, тобто вони в 50-100 разів дрібніше цементу або летючої золи, а питома площа поверхні складає від 13000 до 25000 м<sup>2</sup>/кг. Порошок, зібраний у фільтрах, фактично складається з пухких агломератів з дуже низькою насипною щільністю. У порівнянні з іншими в'язучими

матеріалами, мікрокремнезем відрізняється дуже високим вмістом реактивного кремнезему і дрібністю.

Види і сорти. В даний час, в основному, використовують мікрокремнезем з чистих сплавів. Найчистіше продукт надходить з метало-кремнієвого виробництва, відрізняється високою ціною і обмеженою сферою застосування - промисловість вогнетривких матеріалів. Мікрокремнезем для використання в бетоні отримують з феррокремнієвих сплавів. Деякі постачальники мікрокремнезема змішують матеріал з різних джерел для отримання продукту постійного складу з різницею у вмісті реактивного кремнезему  $\pm 2\%$ . Пари сплавів з високим вмістом кальцію або марганцю настільки відрізняються за хімічним складом в порівнянні з чистим мікрокремнеземом, що їх слід розглядати як різні матеріали.

Наростання міцності. Як і всі пуццоланові матеріали, мікрокремнезем вступає в реакцію з гідроксидом кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що звільняється при гідратації портландцементу для утворення з'єднань. Дуже висока чистота і дрібність мікрокремнезема сприяє більш ефективної та швидкої реакції. При належному розсіюванні тисячі реактивних сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюючи цементний розчин, заповнюючи порожнечі міцними продуктами гідратації і покращуючи зчеплення з заповнювачами.

Ступінь пуццоланової активності залежить від вмісту реактивного кремнезему, але на практиці між двома видами матеріалу з високим вмістом кремнезему існує досить незначна відмінність [26]. Мікрокремнезем може забезпечити міцність на стиск, що набагато перевищує міцність звичайних бетонів, і тут обмежуючим фактором є тільки міцність заповнювача. Темпи наростання міцності звичайного бетону з вмістом мікрокремнеземом злегка відрізняється в порівнянні з сучасними бетонами на звичайному портландцементі.

Зазвичай через 7 днів він набуває тільки 55-65% від 28-денної міцності при витримуванні при температурі  $20^\circ\text{C}$ . Основна пуццоланова активність,

протікає між 7 і 20 днями. Мікрокремнезем часто використовується в поєднанні з летючої золою і гранульованим доменним шлаком для досягнення більш прийнятних темпів наростання міцності.

Середнє дозування мікрокремнезема для сумішей звичайної міцності становить 8%. При додаванні мікрокремнезема в кількості до 30% у поєднанні з суперпластифікатором можна отримати суміші з відношенням вода/в'язучі нижче 0,3. Такі бетони можуть досягати дуже високою ранньої міцності і вони знайшли широке застосування там, де здійснюється витримування у вологому режимі.

В останні роки в якості високоефективної пуццоланової добавки все більшу популярність у світі отримує високоактивний метакаолін (ВМК). Це штучний екологічно чистий матеріал, вироблений з чистих каолінітів. ВМК являє собою порошок від білого до сірувато бежевого або рожевого кольорів з середнім розміром частинок 1-5 мкм.

За своєю хімічною природою ВМК істотно відрізняється від МК, представляючи собою суміш аморфного кремнезему і глинозему практично в рівних кількостях. Частинки ВМК мають пластинчасту форму, що зумовлює при зазначеному розмірі частинок високу питому поверхню, що досягає  $30 \text{ м}^2/\text{г}$  [3].

Зростаюча популярність ВМК обумовлена об'єктивними перевагами цього матеріалу. Незважаючи на те, що ВМК, як матеріал, вироблений цільовим чином, володіє більш високою вартістю, його застосування взамін МК в більшості випадків економічно доцільно подальшим причин.

Активність ВМК (кількість вапна, нейтралізованої 1 г ВМК) становить понад 1000 мг; для МК це значення зазвичай - 340-450 мг. Таким чином, без погіршення властивостей одержуваного матеріалу, дозування ВМК може бути в 2-2,5 рази нижче, ніж дозування МК, що призводить до реальної економії в 25-35% на вартості модифікатора. Зокрема, для значного підвищення водонепроникності цементних складів достатньо введення 1,5-2% ВМК від

маси портландцементу. Для компенсації підвищення водопотреби цементних складів при введенні ВМК потрібне додавання значно меншої кількості пластифікаторів. Більш того, в деяких складах при оптимальних дозуваннях ВМК здатний навіть проявляти пластифікуючий ефект на цементні розчини. Цей ефект можна пояснити тим, що гранулометрія метакнолін доповнює гранулометрію цементу. Стабільна якість ВМК дозволяє уникнути частих коригувань рецептур при переході з однієї партії модифікатора на іншу, а так само відмовитися від надлишок в дозуванні модифікатора, покликаних компенсувати нестабільність його властивостей. Це також веде до економії на лабораторних випробуваннях і на вартості модифікатора.

ВМК здатний зв'язувати луги (K, Na, Li) на нерозчинні новоутворення, аналогічні за хімічним складом цеолітів і польовим шпатам. Ця властивість забезпечує більш надійний захист цементних матеріалів і конструкцій від висолоутворення і руйнування в результаті силікатно-лужної реакції.

Дрібнодисперсні пластинчасті частинки ВМК забезпечують сумішам що модифікуються, високу пластичність і стійкість до розшарування, а так само відсутність липкості до інструмента. Ці властивості ВМК особливо цінні для високорухливих сумішей.

Високий вміст аморфного глинозему в ВМК дозволяє застосовувати його в якості одного з компонентів комплексних безсадочних або в'язучих що розширюються. Це дозволяє отримувати високоміцні безсадочні склади із застосуванням ВМК.

Метакнолін є основним компонентом нового типу в'язучих речовин під загальною назвою «геополімери». Ці нові екологічно чисті в'язучі, володіють цілим комплексом унікальних властивостей, таких як: висока міцність і стійкість у різних середовищах, висока непроникність навіть для радіонуклідів, адгезія до різних матеріалів, термостійкість.

Механізм дії цих в'язучих заснований на здатності силікату алюмінію вступати в хімічну взаємодію з лугами і лужними силікатами. Дія метакноліна,

як і інших активних мінеральних добавок, в даному випадку обумовлена не тільки зниженням пористості і створенням більш щільної структури каменю, що обмежує рухливість лужних сполук в бетоні.

Лужні сполуки при взаємодії кремнеземутримуючі добавок з  $\text{Ca(OH)}_2$  залучаються до складу утвореного продукту, наслідком цього є зниження концентрації сполук лужних металів та іонів  $\text{OH}^-$  в поровій рідині.

Інше пояснення інгібуючого ефекту пуццоланових добавок засноване на уявленнях про роль кальцію в процесах лужного розширення [23]. сам по собі лужно-силікатний гель, що не містить кальцій, володіє високою рухливістю; передбачається, що він досить легко і швидко здатний відводитися із зони утворення. Якщо в лужно-силікатному гелі в обмеженій кількості присутній кальцій, формує мостові зв'язки між окремими силікатними іонами, гель стає малорухливим; це сприяє його локальному накопиченню в зонах утворення і виникненню там небезпечних внутрішніх напружень. У зв'язку з цим здатність активних мінеральних добавок пов'язувати  $\text{Ca(OH)}_2$  розглядається деякими дослідниками в якості однієї з основних причин їх інгібуючої дії.

### 1.2.3 Хімічні добавки

Суперпластифікатор СП-1 (аналог С-3) - добавка, що відноситься до пластифікуючого-водоредуруючого виду - суперпластифікаторів. Являє собою суміш натрієвих солей поліметіленнафталінсульфоокислот різної молекулярної маси. Відповідає ТУ 5745- 004-43184789-05.

Максимальна ефективність суперпластифікатора СП-1 досягається при виготовленні високорухливих сумішей П4 і П5 і при отриманні високоміцних бетонів В40 і вище.

Добавка СП-1 в кількості 0,2-0,5% від маси цементу дозволяє отримувати литі самоупільнені, практично не потребують вібрації бетонні суміші, а при зниженні витрати води-бетони підвищеної міцності при незмінній рухливості

суміші [25]. Можна використовувати обидва ці ефекти частково, тобто отримувати суміші підвищеної рухливості порівняно з вихідною і одночасно дещо збільшити міцність бетону за рахунок зниження витрати води. Найбільш ефективні області застосування СП-1 - виробництво залізобетонних виробів і масивних густоармованих конструкцій, зведення монолітних залізобетонних споруд, з високими експлуатаційними властивостями і відмінним зовнішнім виглядом.

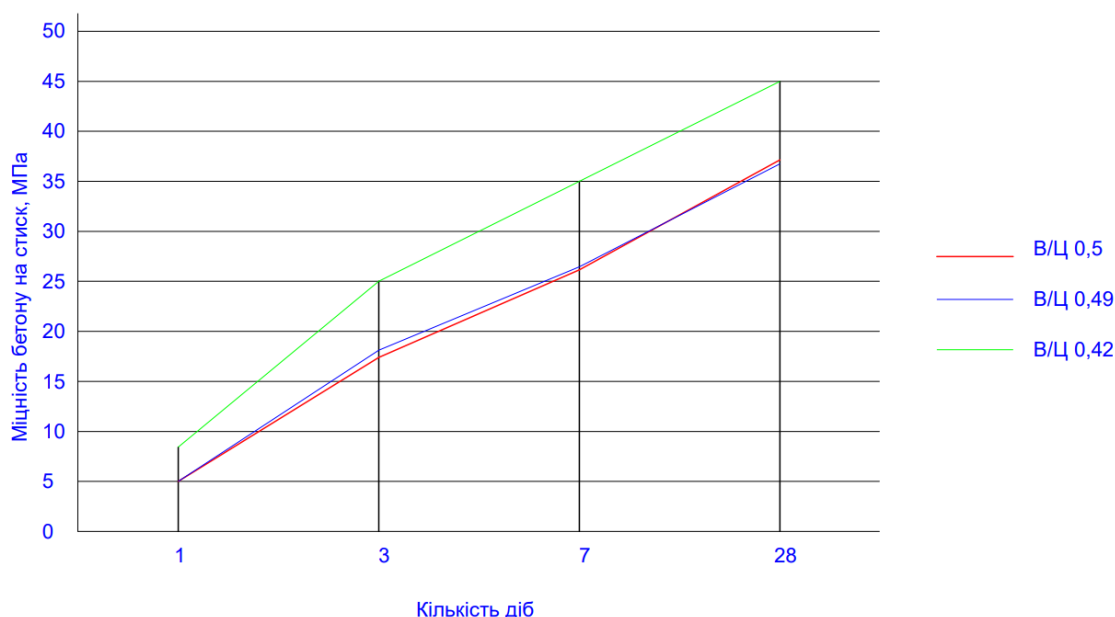


Рисунок 1.1 - Графік залежності набору міцності бетону при дозуванні добавки СП-1 - 0.6%

Застосування суперпластифікатора СП-1 дозволяє:

- збільшити рухливість бетонної суміші від ПІ до П4 без зниження міцності і довговічності бетону (при незмінному вмісті води і цементу);
- збільшити міцнісні характеристики бетону на 20% і більше (за рахунок скорочення витрати води при незмінних витраті цементу і рухливості бетонної суміші);
- отримати бетони з високими водонепроникністю (W8 і більше), морозостійкістю (F300 і більше) і корозійну стійкість;

- знизити витрату цементу в равнорухливих сумішах на 15-20%; скоротити час і енергетичні витрати на тепло-вологісну обробку бетону;
- значно скоротити час і енергетичні витрати на вібрування бетонної суміші, а в ряді випадків і повністю відмовитися від вібрування.

Таблиця 1.2 - Вплив суперпластифікатора СП-1 на характеристики міцності бетону.

| Добавка        |              | Бетонна суміш |                                    |                             | Міцність бетону на стиск, МПа, у віці, діб |      |      |      |
|----------------|--------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|
| Склад          | Дозування, % | В/Ц           | Витрата цементу, кг/м <sup>3</sup> | Щільність кг/м <sup>3</sup> | 1                                          | 3    | 7    | 28   |
| Поліпласт СП-1 | 0,6          | 0,5           | 350                                | 2362                        | 5,2                                        | 18,0 | 26,4 | 37,6 |
|                |              | 0,49          | 298                                | 2367                        | 6,5                                        | 17,2 | 25,9 | 38,0 |
|                |              | 0,42          | 352                                | 2370                        | 8,1                                        | 24,9 | 35,4 | 44,8 |

#### 1.2.4 Комплексні органо-мінеральні добавки

Як відомо, в даний час мікрокремнезем може поставлятися і застосовується в трьох відпускних формах: у неущільненому стані з насипною щільністю 150-200 кг/м<sup>3</sup>, в сухому ущільненому стані з насипною масою близько 500 кг/м<sup>3</sup> і у вигляді пасти - водної суспензії концентрацією 50-60% [1,14]. Найбільш кращим, як показує практика, є сухий ущільнений матеріал.

Безперечним кроком вперед у розвитку відпускних форм мікрокремнезема і, відповідно, у спрощенні технології виробництва бетонів нового покоління нам представляється композиційний матеріал, що складається з мікрокремнезема та іншого обов'язкового компонента бетону - суперпластифікатора.

Розроблена оригінальна технологія виробництва такого композиційного матеріалу, який складається з МК, СП і регулятора твердіння і є, по-суті,

комплексним модифікатором поліфункціональної дії. Модифікатор, який виробляється в промислових масштабах під назвою "Модифікатор бетону марки МБ-01", являє собою порошок насипною щільністю 750-800 кг/м<sup>3</sup>, що складається з гранул розміром до 100 мкм [5]. Кожна гранула являє собою агрегат з ультрадисперсних частинок мікрокремнезему, покритих затверділою адсорбційною плівкою з суперпластифікатора і регулятора твердіння. Цей матеріал можна транспортувати в залізничних вагонах насипом, він зручний в застосуванні, тому не вимагає витрат по створенню спеціальних технологічних ліній по подачі МК і СП в бетонозмішувачі. Завдяки зазначеним властивостям комплексний модифікатор представляється ефективним засобом успішної реалізації концепції бетонів з високими експлуатаційними властивостями.

### **1.3 Способи активації**

Способами активації у нашій країні займалися такі вчені як: Руденко Н.М, Зайченко Н.М, Шинкевич Е.С. та ін. [48].

У працях Руденко Наталії Миколаївни, виділимо винахід, який належить до будівельних матеріалів, зокрема, до способу активації в'язучих систем.

Існує проблема отримання бетонів з високими показниками міцності та довговічності, яку відомі способи не розв'язують. Відомий спосіб активації цементних в'язучих (див.: Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. - М.: Стройиздат, 1981. - С. 93-96) передбачає виготовлення цементного та цементно- піщаного тіста для ін'єкційних сумішей шляхом перемішування компонентів тіста протягом 1...3 хв у турбулентному змішувачі з інтенсивністю 10...20 м/с [48].

Але ефект підвищення міцності отриманого бетону за цим способом незначний і спостерігається лише в початковий період твердіння. Приріст міцності зразків у віці 1 доби становить до 40-50%, а в віці 28 діб лише 10-20%.

Крім того, підвищується в'язкість суміші, що знижує можливість її нагнітання і транспортування по трубопроводу. Також цей спосіб потребує великих енерговитрат [48].

Існує спосіб активації цементної в'язучої системи, за яким активація цементного тіста відбувається у швидкісному змішувачі зі швидкістю 10...20 м/с протягом 1...1,5 хв (див.: Адылходжаев А.И., Соломатов В.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона. - Ташкент: ФАН, 1993.- С. 163-164). Як мікронаповнювач використовували золу-унос, а пластифікуючу дію додавала домішка пластифікатора С-3 [48].

Недоліком цього способу є незначний приріст міцності бетону, бетонні суміші відрізняються значним розшаруванням [48].

Найближчим аналогом до способу за винаходом є спосіб активації цементної в'язучої системи, активація якої відбувається у швидкісному змішувачі пневмоструминною обробкою у зустрічних струменях компонентів в'язучої системи зі швидкістю 40...50 м/с, яка внаслідок зустрічного руху струменів суміші подвоюється і спричинює кавітаційний ефект на поверхні цементних часток. Цемент роздрібнюється, поліпшується його гідратація та структуроутворення цементного каменю (див.: Руденко Н.Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами: Монография. - Днепропетровск: Арт-Пресс, 1999. - С. 231-238).

Недоліком цього способу є недостатній ступінь диспергації в'язучої системи в перехресних струменях, які рухаються зі швидкістю до 50 м/с. При такій швидкості виникають лише одиничні акти кавітації, що не забезпечують високо інтенсивної активації цементних систем. Ще одним недоліком є необхідність додавати нагріту воду [48].

Технічна задача, яка вирішується, полягає у забезпеченні високої інтенсивності активації цементної системи шляхом досягнення належного ступеня її диспергації завдяки підвищенню швидкості руху часток.

Суть способу за винаходом активації в'язучої системи полягає у тому, що створюють суспензію з компонентів в'язучої системи у швидкісному змішувачі та проводять її активацію пневмоструминною обробкою у зустрічних потоках, причому зустрічні потоки спрямовані один проти одного та мають сумарну швидкість не менш як 200...250 м/с [48]..

Внаслідок удару зустрічних потоків, швидкість яких складає 200...250 м/с, виникають два зустрічних фронти ударних хвиль. Вони викликають імпульсне знакозмінне поле ультрависокої частоти [48]..

У ядрі цього поля розвиваються інтенсивні кавітаційні процеси, резонансні явища, що викликають особливо інтенсивну диспергацію часток в'язучого і активацію поверхні мікронаповнювача. Ультразвукова дія схрещених струменів викликає активну міжмолекулярну взаємодію компонентів системи та підвищення температури внаслідок переходу частини кінетичної енергії у теплову та екзотермії гідратації в'язучої речовини. Таким чином, обробка в'язучої речовини сумісно з органо-мінеральним комплексом забезпечує різке зниження в'язкості суміші, високоактивну хімічну взаємодію між ними, що викликає дво-триразове підвищення міцності і, особливо, довговічності бетону . У таблиці 1.3 наведені порівняльні характеристики відомих способів активації та залежність приросту міцності від їх параметрів і способу за винаходом. [48].

Порівняння величин міцності та в'язкості відомих способів і способу за винаходом показує, що при пневмоструминному способі обробки в'язучої речовини з органо-мінеральним комплексом, за параметрами, вказаними в таблиці 1.3, можна отримати бетони, приріст міцності яких у віці однієї доби становить близько 450%, у віці 28 діб підвищення складає до 250%, осадка конусу -до 20...21 см, що значно відрізняється від показників відомих способів. Різними дослідженнями було встановлено, що в процесі активації матеріалів відбувається зміна енергетичного стану речовини під впливом механічної енергії. Це пов'язано зі зміною кристалічних решіток речовин, видів хімічних

зв'язків на поверхні і в обсязі матеріалу, збільшення кількості аморфної маси подрібнювального матеріалу, що сприяє поглибленню процесів гідратації цементу і зростання його активності [69].

Таблиця 1.3 - Порівняльні характеристики відомих способів активації та залежність приросту міцності від їх параметрів і способу за винаходом [48].

|                                                                                                                                                                            | В/Ц  | ОК, см | Швидкість,<br>м/с | Тривалість<br>процесу, хв. | Приріст міцності, % |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----|
|                                                                                                                                                                            |      |        |                   |                            | 1                   | 28  |
| Відомий спосіб (див.:<br>Хаютин Ю.Г.<br>Монолитный бетон. - М.:<br>Стройиздат, 1981. - С. 93-<br>96)                                                                       | 0,4  | 9      | 10                | 1...3                      | 36                  | 5   |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | 1...3                      | 41                  | 7   |
|                                                                                                                                                                            | 0,45 | 10     | 10                | 1...3                      | 27                  | 11  |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | 1...3                      | 41                  | 16  |
|                                                                                                                                                                            | 0,5  | 11     | 10                | 1...3                      | <b>30</b>           | 26  |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | 1...3                      | 47                  | 31  |
| Відомий спосіб (див.:<br>Адылходжаев А.И,<br>Соломатов В.И.<br>Основы интенсивной<br>раздельной технологии<br>бетона. - Ташкент: ФАН,<br>1993.- С. 163-164)                | 0,4  | 8      | 10                | До 1...1,5                 | 16                  | 28  |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | До 1...1,5                 | 35                  | 46  |
|                                                                                                                                                                            | 0,45 | 9      | 10                | До 1...1,5                 | 33                  | 33  |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | До 1... 1,5                | 65                  | 52  |
|                                                                                                                                                                            | 0,5  | 11     | 10                | До 1... 1,5                | 40                  | 20  |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 20                | До 1...1,5                 | 47                  | 58  |
| Відомий спосіб (див.:<br>Руденко Н.Н.<br>Тяжелые бетоны с<br>высокими<br>эксплуатационными<br>свойствами: Моногр. -<br>Днепропетровск: Арт-<br>Пресс, 1999. - С. 136- 137) | 0,4  | 16     | 40x2              | До 8                       | 385                 | 152 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 50x2              | До 8                       | 396                 | 148 |
|                                                                                                                                                                            | 0,45 | 18     | 40x2              | До 8                       | 391                 | 143 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 50x2              | До 8                       | 403                 | 142 |
|                                                                                                                                                                            | 0,5  | 19     | 40x2              | До 8                       | 427                 | 136 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 50x2              | До 8                       | 436                 | 139 |
| Спосіб за винаходом                                                                                                                                                        | 0,38 | 18     | 200x2             | До 5                       | 435                 | 189 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 250x2             | До 5                       | 441                 | 220 |
|                                                                                                                                                                            | 0,40 | 20     | 200x2             | До 5                       | 444                 | 220 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 250x2             | До 5                       | 447                 | 222 |
|                                                                                                                                                                            | 0,45 | 21     | 200x2             | До 5                       | 448                 | 234 |
|                                                                                                                                                                            |      |        | 250x2             | До 5                       | 451                 | 252 |

Встановлено [29], що зниження розмірів часток в результаті механоактивації - не ключовий фактор підвищення активності в'язучого. Змінюється співвідношення фаз що утворюються - підвищується кількість аморфної і знижується кількість кристалічної фаз. Процес механічної активації при подрібненні матеріалів дозволяє відкрити нові можливості в технологічному процесі переробки мінеральної сировини.

В даний час в різних галузях, де використовуються високодисперсні порошки, інтенсивно розвиваються наукові дослідження по так званому сухому поверхневому модифікуванню (Dry particle coating). Сутність способу полягає у фіксації високодисперсних частинок розміром 0,1-50 мкм (guest particles - "гостьові" частки) на поверхні більших - 1-500 мкм (host particles - частинки-носії) в процесі інтенсивного їх перемішування (рисунок 1.2).

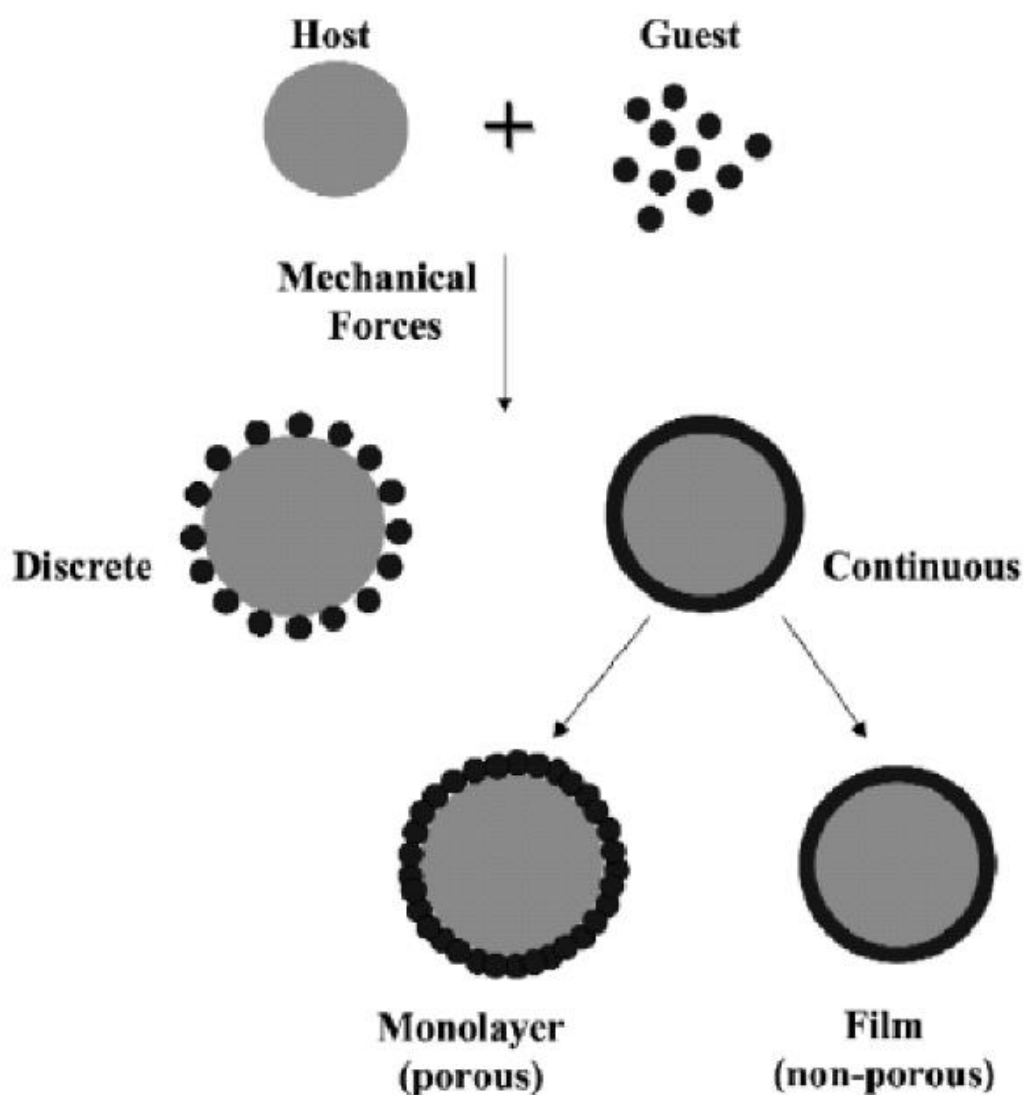


Рисунок 1.2 - Схема сухого поверхневого модифікування [69]

Більш висока ефективність поверхневого модифікування досягається в установках, в яких перемішування частинок супроводжується інтенсивним їх зіткненням між собою (High energy impact blending coater "Nara Hybridizer", High shear mixer "Cyclomix") (рисунок 1.3, 1.4).

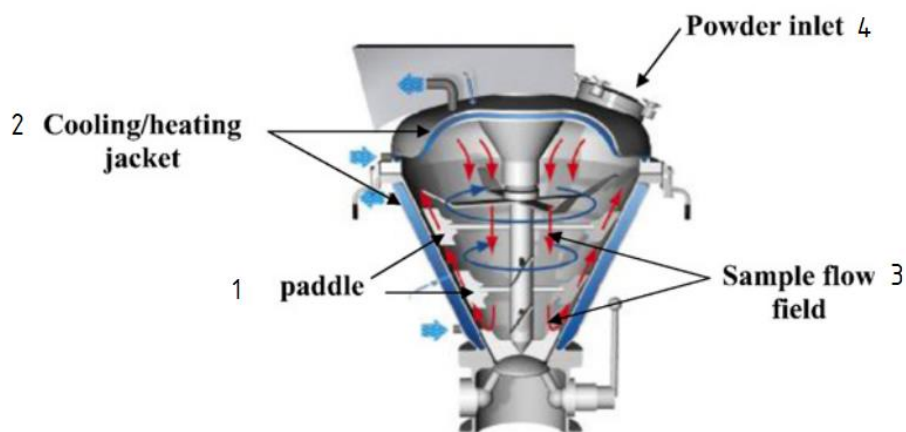


Рисунок 1.3 - Схематичне зображення установки "Cyclomix" для високошвидкісного перемішування: 1 - лопасті; 2 - охолоджуючий / нагріваючий кожух; 3 - робоча область потоку; 4 - завантажувальна воронка [71]

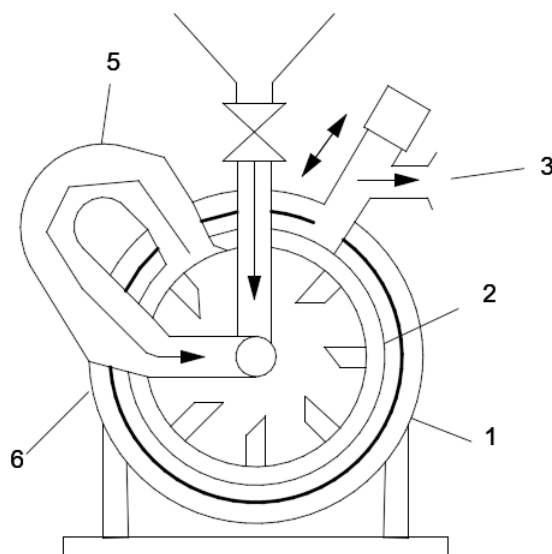


Рисунок 1.4 - Схема змішувача - гібридизація (трібоактивація): 1 - ротор; 2 - змішувач; 3 - вивідний канал; 4 - вхідний канал; 5 - кругова циркуляція; 6 - зовнішня оболонка (а) і схема "сфероїдальної" частинки цементу (б) [71]

При цьому дискретне або повне покриття великих часток дрібними досягається варіюванням співвідношенням фракцій частинок, зміною швидкості і тривалості перемішування. У результаті поверхневого модифікування порошків досягається поліпшення їх реологічних

характеристик, зниження (підвищення) змочування, зміна гранулометрії і ін. властивостей [13-16].

Ефективність агломерації полідисперсних порошків значно вище при біполярній зарядці частинок в порівнянні з уніполярної [18]. Таким чином, процес поверхневого модифікування портландцементу мікрокремнезема може бути здійснений за наступною схемою.

На початку вихідні порошки піддаються зарядці в поле коронного розряду, при цьому навіска мікрокремнезема (1) прокидається через камеру зарядження (1) з негативним коронним електродом, а навіска портландцементу (2) - через камеру з позитивним коронним електродом (рисунок 1.5).

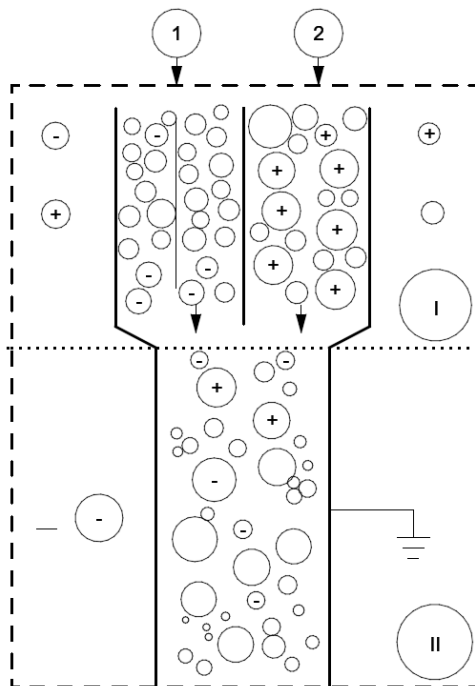


Рисунок 1.5 - Схема установки для поверхневого модифікування композиційного цементу складу "портландцемент - мікрокремнезем": I - камера заряджання частинок в поле коронного розряду; II - агломератор [71]

Біполярно заряджені порошки далі потрапляють в агломератор (II), де під дію високовольтного змінного електричного поля здійснюють коливання з різною амплітудою і частотою.

У результаті множинних зіткнень між собою частки агломеруються, утворюючи "сфероїдальний" композиційний цемент (3).

Такий цемент повинен володіти меншою величиною водопотреби в порівняно із звичайним композиційним цементом складу "портландцемент мікрокремнезем", що забезпечить можливість зниження водо цементного відношення бетонних сумішей без втрати легкоукладальності.

Електростатична обробка портландцементу і мінеральних добавок в поле позитивної корони забезпечує зниження ефективної в'язкості на 16%. Ще більшою мірою ефективна в'язкість знижується в випадку уніполярної зарядки портландцементу і мінеральних добавок. У той же час слід підкреслити, що рухливість бетонної суміші по показником осідання стандартного конуса змінюється не так істотно - максимальний водоредуруючий ефект від електроактивації компонентів цементу не перевищує 5-7%. Даний ефект пов'язаний з електростатичним відштовхуванням однойменно заряджених частинок, що викликає стабілізацію системи і призводить до її пластифікації. Комбінування заповнювачів в бетоні дає можливість не тільки оптимізувати їх гранулометричний склад, а й поляризувати фазу між частинками, несучими протилежні заряди. У результаті бетон буде мати більш високі фізико-механічні властивості.

Поляризація подвійного електричного шару (ПЕШ) зерен цементу в просторі між такими заповнювачами змінить умови їх гідратації в користь потужного взаємодії з водою. Структурування води, модифікація адгезійних контактів на межі цементне тісто заповнювач буде сприяти утворенню більш однорідною і щільною мікроструктури бетону.

## **2 ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМ І БЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

### **2.1 Порівняльний аналіз властивостей цементів**

Для високоміцних бетонів рекомендуються портландцементи, отримані на основі клінкеру нормованого складу, наприклад, наступних видів ПЦ 500-Д0-Н, ПЦ 500-Д5-Н.

#### **2.1.1 Порівняльний аналіз властивостей цементів виробництва заводів «Київцемент» та «Київ-ресурс».**

Для дослідження в якості в'язучого було вибрано портландцементи марки ПЦ І-500-Н, виробництва заводів «Київцемент» та «Київ-ресурс».

Цемент виробництва, ПАТ «Київцемент». Портландцемент ПЦ І-500-Н - Загальнобудівельний портландцемент бездомішковий, виготовлений на основі клінкеру нормованого складу.

Фізико-механічні властивості цементу наведені у таблиця 2.1. Хімічні характеристики цементу представлені у таблиця 2.2. Мінералогічний склад представлений у таблиця 2.3.

Цемент заводу ВАТ «Київ - ресурс» виготовляє цементи багатьох марок, одна з них це ПЦ І-500 Н - цемент, призначений для виготовлення високоміцного бетону, використовуваного при будівництві споруд з високим навантаженням, таких як мости, аеродромні конструкції. Фізико-механічні властивості цементу наведені у таблиця 2.4.

Вміст трьох кальцієвого алюмінату СзА 7,2% (таблиця 2.3). Вміст клінкеру від 84 до 94%. В якості регулятора тужавіння виступає сульфат кальцію (гіпс). Фізико-механічні властивості цементу наведені у таблиця 2.1. Хімічні характеристики цементу представлені у таблиця 2.2. Мінералогічний склад представлений у таблиця 2.3

Таблиця 2.1 - Порівняння фізико-механічних властивостей цементів ПАТ «Київцемент» та ВАТ «Київ - ресурс».

| Назва заводу     | Марка цементу | Строки тужавіння, хв. |         | Тонкість помелу, залишок на ситі №008 (%) | Міцність у віці 2 діб (МПа): |       | Міцність у віці 28 діб (МПа): |       |
|------------------|---------------|-----------------------|---------|-------------------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
|                  |               | Початок               | Кінець  |                                           | Згин                         | Стиск | Згин                          | Стиск |
| ПАТ «Київцемент» | ПЦІ-500-Н     | 120-140               | 300-360 | 6,5                                       | 4,2                          | 32,0  | 6,6                           | 55,5  |
| ВАТ «Київресурс» | ПЦІ-500-Н     | 90-100                | 280-300 | 8,0                                       | 3,8                          | 26,0  | 5,5                           | 51    |

Таблиця 2.2 - Порівняння хімічних характеристик цементів ПАТ «Київцемент» та ВАТ «Київ - ресурс».

| Назва заводу                  | Втрати при прожарюванні | Нерозчинний залишок | Вміст іону хлору (СГ) | Вміст лугів у цементі в перерахунку на $\text{Na}_2\text{O}$ , не більше (%) |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Згідно з ДСТУ Б 8.2.7-46:2010 | <5,0                    | <5,0                | <0,1                  | <1,2                                                                         |
| ПАТ «Київцемент»              | 1,6                     | 0,2                 | 0,0-0,020             | до 1,0                                                                       |
| ВАТ «Київресурс»              | 2,0                     | 0,6                 | 0,030                 | до 1,0                                                                       |

Таблиця 2.3 - Порівняння мінералогічного складу цементів ПАТ «Київцемент» та ВАТ «Київ - ресурс».

| Назва заводу     | Трьохкальцієвий силікат | Двухкальцієвий силікат | Трьохкальцієвий алюмінат | Чотирьохкальцієвий алюмоферрит |
|------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| ПАТ «Київцемент» | 59,8                    | 16,7                   | 7,7                      | 14,3                           |
| ВАТ «Київресурс» | 55,6                    | 13,2                   | 7,2                      | 14                             |

### 2.1.2 Методи досліджень

Параметри структури цементного каменю досліджували комплексом методів. Пористість в діапазоні пор з умовним діаметром від  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $1 \cdot 10^3$  мкм визначали взаємодоповнюючими методами ядерного магнітного резонансу (від  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $1 \cdot 10^{-1}$  мкм), малокутової рентгенівської дифракції (від  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-1}$  мкм), ртутної порометрії (від  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $4 \cdot 10^{-1}$  мкм) і оптичної мікроскопії (від  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-1}$  мкм) [10,11].

Ступінь гідратації цементу і склад кристалогідратів цементного каменю (фазовий склад) визначали рентгенофазовим (РФА) і диференційно-термічним (ДТА) аналізами, а також методом електронної мікроскопії [23]. Ступінь гідратації цементу і відносну кількість гіпсу, еттрінгіта і моноссульфоалюміната кальцію визначали методом РФА по інтенсивності основних рефлексів: аліта ( $C_3S$ ,  $d = 1,76$ ), гіпсу ( $C$ ,  $d = 7,6$ ), еттрінгіта ( $C_3A(C\bar{S})_3H_{31}$ ,  $d=9,8$ ) і моноссульфоалюміната кальцію ( $C_3A(C\bar{S})H_{12}$ ,  $d=8,9$ ).

Кількість  $Ca(OH)_2$  визначали методом ДТА по втраті маси в інтервалі температур  $450-550^\circ C$ . Відносна кількість  $CSH$  (I) встановлювали методами РФА і ДТА в результаті порівняння інтенсивності основного рефлексу  $\beta$ - $CS$  ( $d=2,97$ ), отриманого на обпалених при  $1000^\circ C$  зразках цементного каменю, з еталоном (кварцем).

Рухливість (ОК), середню щільність ( $\gamma$ ) і обсяг залученого в бетонну суміш повітря ( $V_{BV}$ ) визначали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-114-2002.

Кубікову міцність бетону при стиску визначали на зразках  $100 \times 100 \times 100$  мм, а міцність бетону при вигині і осьовому розтягу на зразках  $100 \times 100 \times 400$  мм відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

Призмову міцність, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона визначали на зразках бетону  $100 \times 100 \times 400$  мм відповідно до ДСТУ Б В.2.7-217:2009.

Деформації усадки-розширення і повзучість (при рівні навантаження  $0,3R_{bn}$ ) визначали на зразках  $100 \times 100 \times 400$  мм відповідно до ДСТУ Б В.2.7-216:2009

Морозостійкість бетону визначали після періодичного заморожування на , повітрі при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$  і відтавання в 5% -воді при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  зразків  $100\times 100\times 100$  мм у відповідності із 2-м методом ДСТУ Б В.2.7-47-96.

Всі зразки цементного каменю і бетону тверднули протягом 1 доби в формах під плівкою, далі 6 діб у воді (відносна вологість 100%), а потім у камері з температурою  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  і відотною вологістю 60%.

До спеціальних методів дослідження відносяться: диференціальний термічний аналіз (ДТА); мікроскопічний аналіз; інфрачервона спектроскопія;

Метод термічного аналізу об'єднує ряд експериментальних методів: метод температурних кривих нагрівання або охолодження (термічний аналіз в первісному розумінні) довільний термічний аналіз, диференціальний термічний аналіз (ДТА). Найбільш поширений і точний ДТА при якому змінюється температура середовища за заданою програмою в контрольованій атмосфері і реєструється різниця температур між досліджуваним мінералом і речовиною порівняння як функція часу (швидкість нагрівання) або температури.

Існує багато різних приладів для ДТА, що розрізняються пристроєм нагрівального елемента, реєструючих приладів і т.д. Однак принцип дії цих приладів, загалом, один і той же. Якщо піддати одночасному нагріванню два зразки, в одному з яких (випробуваному) відбуваються зміни, а в іншому (еталонному) змін не відбувається, то теплові потоки, а отже, і температури зразків будуть різними. Різниця в температурах в досліджуваному зразку і стандартному характеризує інтенсивність процесу, а температура, при якій спостерігається екстремальна різниця, зазначає умови протікання процесу. Тому у всіх конструкціях приладів передбачена можливість одночасного нагрівання двох або більше однакових за формою і розмірами осередків для зразків (рисунок 2.1).

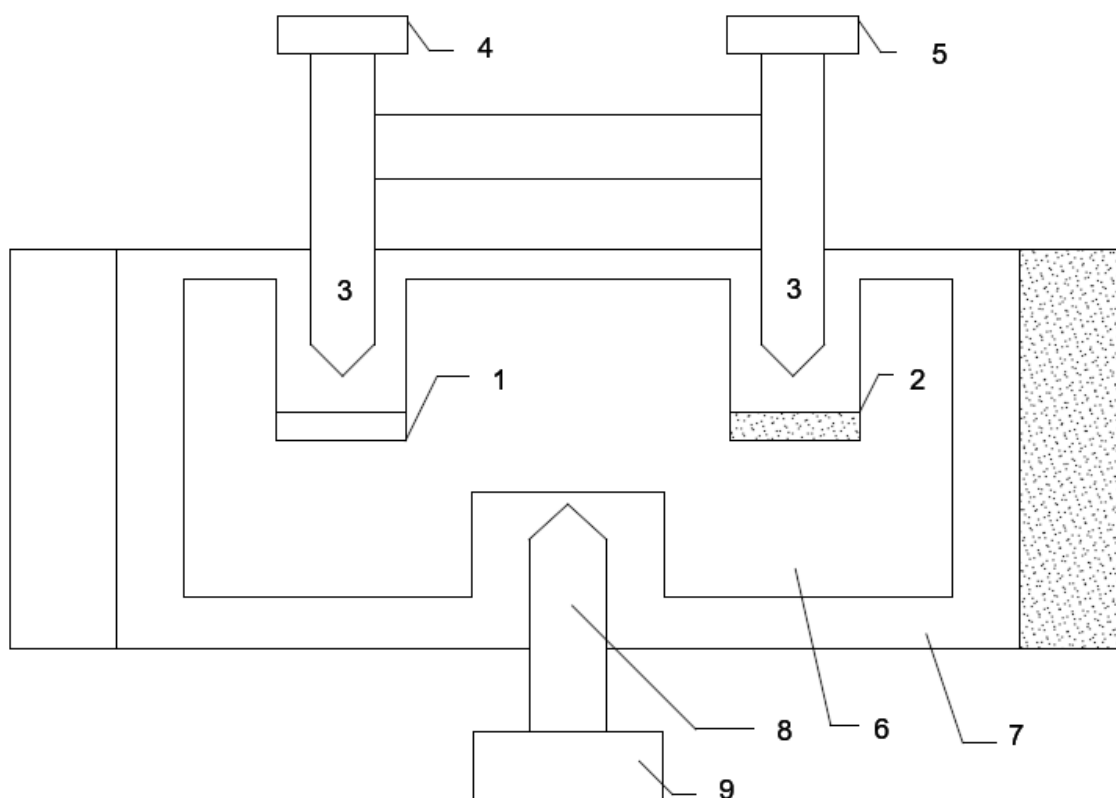


Рисунок 2.1 - Схема установки для ДТА. 1- ємність для полімеру; 2- ємність для еталонної речовини; 3,8-термопари; 4,5- прилади для реєстрації температур; 6- блок; 7- термокамера; 9- регулятор.

Мікроскопічний аналіз. Вплив використаних добавок на мікроструктуру бетону визначають за допомогою растрового електронного мікроскопа японської компанії JEOL JSM-U3, забезпеченого рентгенівським спектрометром з енергетичною дисперсією компанії EUMEX германію, і приставкою для цифрового сканування фірми WIN-EDS.

Основними методами лабораторного дослідження проб неорганічних будівельних матеріалів є рентгеноструктурний аналіз (РСА) та інфрачервона спектроскопія (ІЧС).

## **2.2 Підбір оптимального складу бетону, модифікованого органо-мінеральними добавками**

Слідуючи сучасним рекомендаціям з підбору складу бетону модифікованого активними мінеральними добавками, визначення його оптимального складу здійснюють у наступному порядку: спочатку розрахунково-експериментальним шляхом виробляють підбір складу бетону без добавок, потім, експериментальним шляхом, визначають оптимальну витрату активних мінеральних і органічних добавок з подальшим коректуванням всього складу бетону по інших компонентах. [7].

Для зниження водопотреби цементно-піщаної бетонної суміші при збереженні її необхідної рухливості ( $РК=150-160\text{мм}$ ) доцільно використовувати суперпластифікатор [7,32,66 ]. Виходячи з даних наведених у науково-технічній літературі [55] оптимальний вміст суперпластифікатора в бетонній суміші знаходиться в межах від 0,45 до 1,5% від маси в'язучого.

В якості пластифікуючої добавки був використаний суперпластифікатор «Хімком Ф-1» у вигляді 30% водного розчину. Суперпластифікатор «Хімком Ф-1» представляє собою сульфований продукт альдольної конденсації формальдегіду.

Концентрація суперпластифікатора варіювалася в межах від 0,6 до 1,5% від маси цементу в перерахунку на суху речовину. Вибір «Хімком Ф-1» в якості суперпластифікатора обумовлений тим, що на підставі огляду результатів експериментальних досліджень його впливу на технологічні властивості бетонних сумішей та експлуатаційні показники бетонів на їх основі, опублікованих у науково-технічній літературі, був зроблений висновок, що застосування цієї пластифікуючої добавки дозволить отримати міцний і довговічний бетон, що володіє високою морозостійкістю і водонепроникністю, із високорухливої бетонної суміші, що характеризується високою однорідністю,

нерозшарованістю і необхідної збереженістю рухливості, а також практично не вимагає віброуцільнення (рисунок 2.2).

Пластифікуючу добавку «Хімком Ф-1» вводили у бетонну суміш разом із водою замішування при забезпеченні достатнього часу перемішування після введення добавки. Причому, оптимальне дозування суперпластифікатора «Хімком Ф-1» для конкретного бетону слід визначати дослідним шляхом.

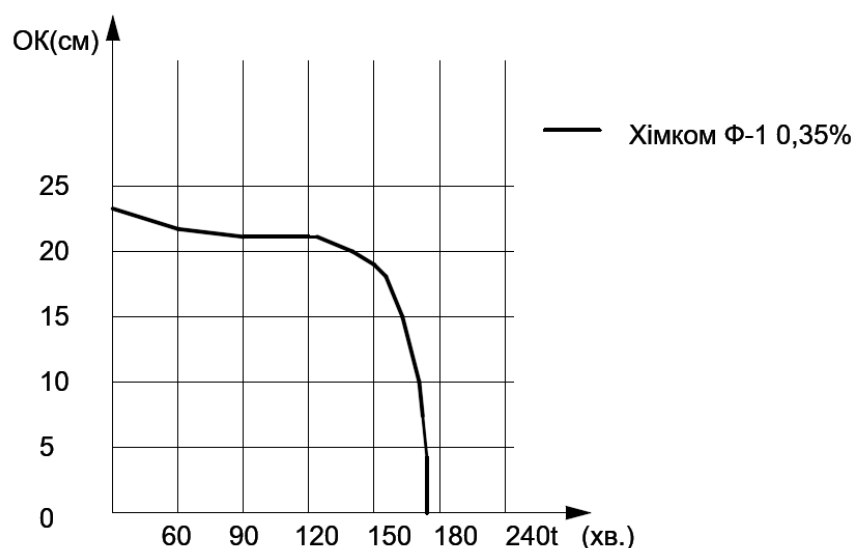


Рисунок 2.2 - Збереженість бетонної суміші на основі цементу ПЦ 400 Д5 («Київ- ресурс») при його витраті 370кг / м<sup>3</sup>.

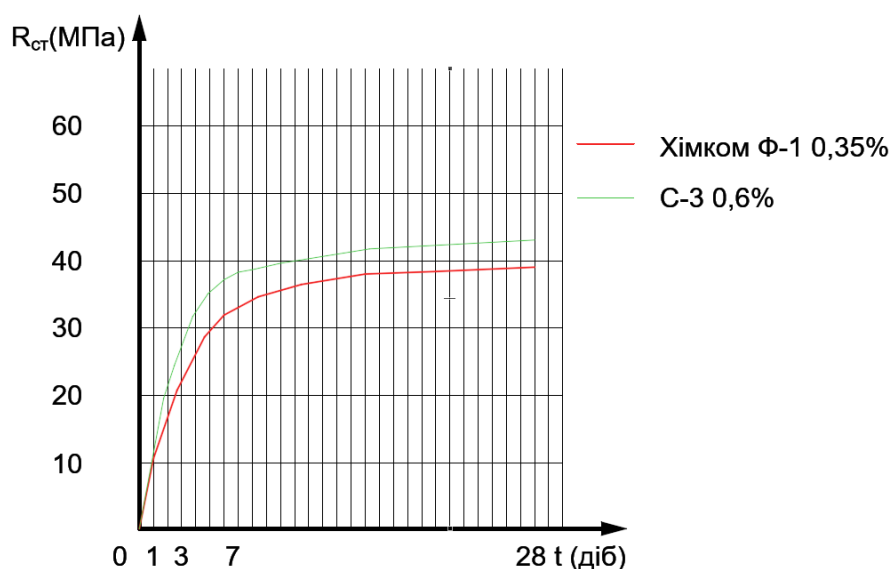


Рисунок 2.3 - Порівняльна динаміка набору міцності бетоном В25 (П4) на основі цементу ПЦ 400 Д5 (Київ-ресурс), при його витраті 370кг/м<sup>3</sup>.

У порівнянні з сучасними суперпластифікаторами вітчизняного виробництва «Поліпласт СП-1», «ЦемАктив СУ-1» і «Лінамікс СП 180-2» «Хімком Ф-1» надає бетону більшу динаміку набору міцності як при твердінні в нормальних умовах, так і в разі проведення ТВО, а також забезпечує довше збереженість рухливості бетонної суміші, при цьому, потрібна нижча його дозування

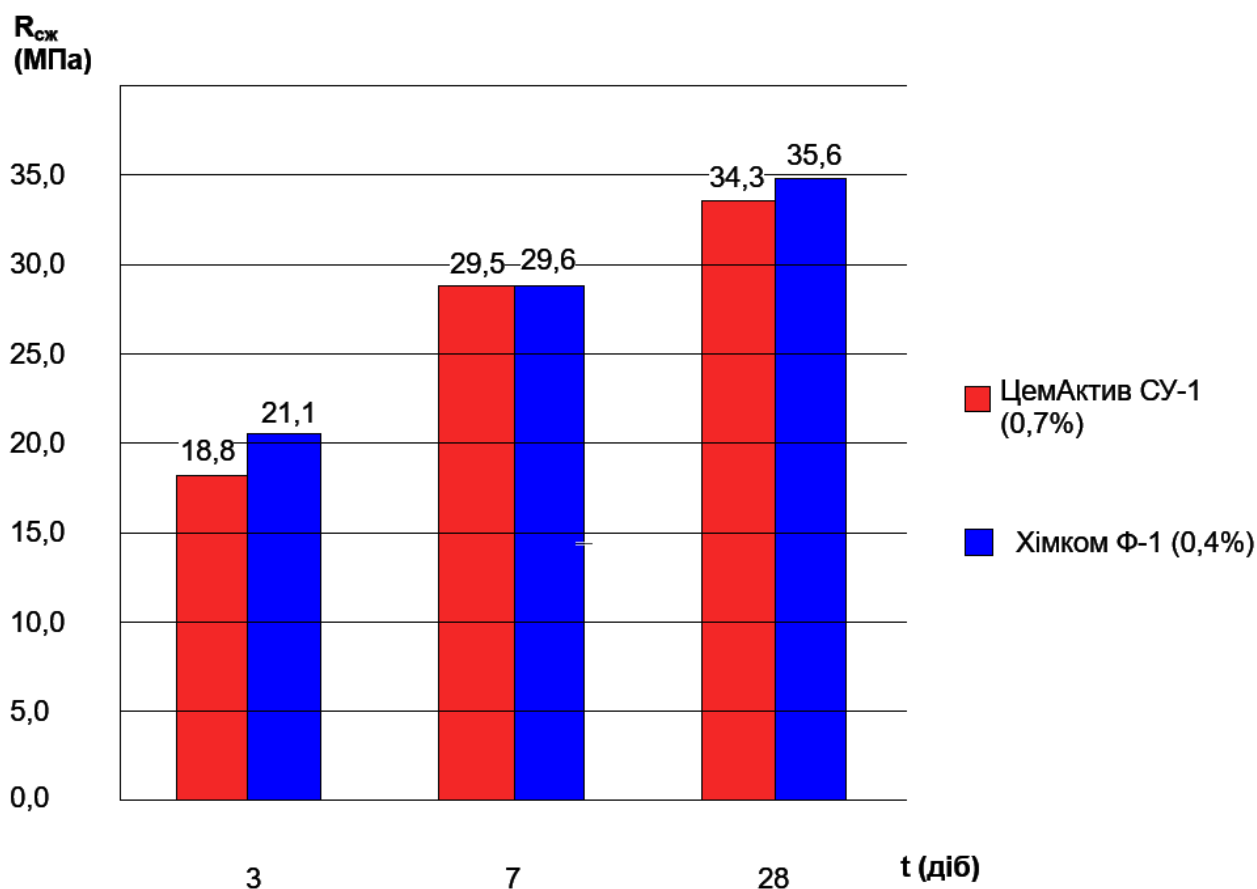


Рисунок 2.4 - Порівняльна динаміка набору міцності бетоном на основі цементу ПЦ400Д20Б (Київцемент), при його витраті 320 кг/м<sup>3</sup>, В/Ц = 0,55 і ОК = 22см.

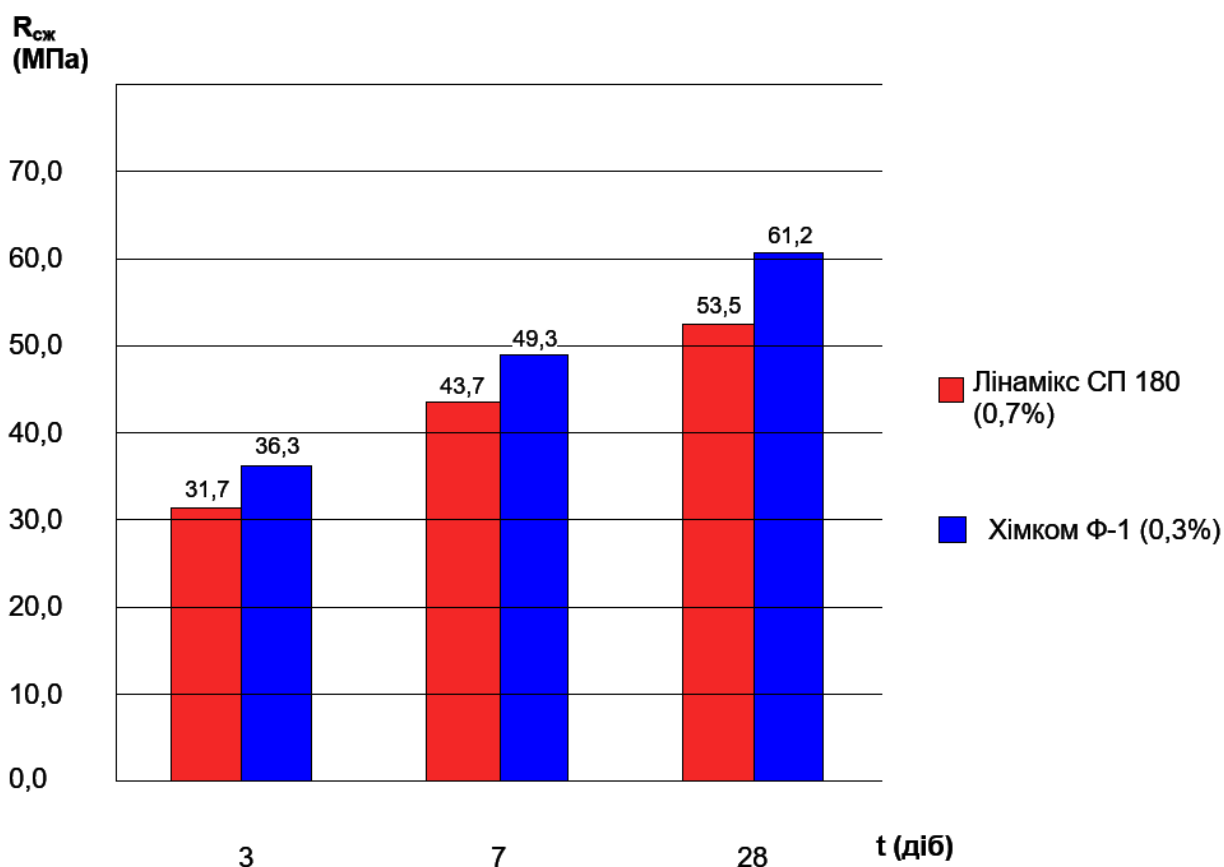


Рисунок 2.5 - Порівняльна динаміка набору міцності бетоном В40 (П4) на основі цементу ПЦ500-Н (Київцемент) при його витраті 390 кг/м<sup>3</sup>

Суперпластифікатор «Хімком Ф-1» у порівнянні з пластифікаторами на основі лігносульфонатів або сульфовані нафталінформальдегіда, наприклад С-3, не володіє різким, неприємним запахом, не схильний розшарування і випадання в осад і, крім того, може зберігатися при негативних температурах до -12°C . «Хімком Ф-1» не викликає корозію сталевих арматур в бетоні і не знижує пасивуючого дії бетону по відношенню до неї. Він пожежовибухово безпечний Затверділий бетон з добавкою пластифікатора шкідливих речовин у повітряне середовище не виділяє.

У результаті проведеної експериментальної роботи було встановлено, що найбільша міцність бетону на стиск (55,4 МПа) і на розтяг при згині (8,8 МПа) у віці 28 діб нормального твердіння, досягаються при використанні

суПерпластифікатора «Хімком Ф-1» у кількості 1,2% від маси цементу в перерахунку на суху речовину (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 - Фізико-механічні показники бетону пластифікованого «Хімком Ф-1» [24].

| <b>Хс складу</b>                          | <b>I</b> | <b>II</b> | <b>III</b> | <b>IV</b> |
|-------------------------------------------|----------|-----------|------------|-----------|
| <b>Цемент, кг</b>                         | 550      | 550       | 550        | 550       |
| <b>Пісок, кг</b>                          | 730      | 730       | 730        | 730       |
| <b>Щебінь, кг</b>                         | 1100     | 1100      | 1100       | 1100      |
| <b>«Хімком Ф-1» (30%-й розчин), кг</b>    | 11(0,6%) | 16(0,9%)  | 22(1,2%)   | 28(1,5%)  |
| <b>Вода, кг</b>                           | 180      | 156       | 150        | 144       |
| <b>Рухливість по розпливом конусу, мм</b> | 160      | 115       | 150        | 159       |
| <b>Изг28діб, МПа</b>                      | 5,13     | 7,5       | 8,8        | 8,3       |
| <b>Ист28діб, МПа</b>                      | 26,4     | 46,2      | 55,4       | 53,2      |

Примітка: у дужках вказана концентрація «Хімком Ф-1» у % від маси цементу в перерахунку на суху речовину.

За даними літературних джерел [52] одним з основних факторів що знижують міцність бетону є його підвищена пористість. Вона виникає внаслідок деструкції бетону під час експлуатації і виражається в розпушенні його структури, ослабленні зв'язку між кристалічними новоутвореннями в цементному камені, а також між цементним каменем і частинками заповнювача, що призводить до зниження міцності бетону, а також сприяє

фільтрації в обсяг бетону води і агресивних рідин, і, крім того, морозному і абразивному руйнуванню.

Вирішенням цієї проблеми може стати значне ущільнення структури бетону. З результатів експериментальних досліджень, наведених у науково-технічній літературі, випливає, що з метою зменшення витрати цементу, а також для ущільнення структури бетону ефективним є введення в бетонну суміш високоактивного метакполін, в якості тонкодисперсної мінеральної добавки. Причому, його кількість не повинна перевищувати 15% від маси цементу, тому він містить активний діоксид кремнію і оксид алюмінію приблизно в однакових кількостях, і, з цієї причини, сильніше ніж мікрокремнезем пов'язує вільний гідроксид кальцію, що призводить до зниження лужності середовища в бетоні і може викликати корозію сталевій арматури [68]. Крім того, введення метакполіну, як і будь-якого іншого тонкомолотого наповнювача, в більшій кількості підвищує водопотребу бетонної суміші через його великої величини питомої поверхні, що досягає 15 м<sup>2</sup>/г і вище [ 31, 77 ].

З метою підвищення водонепроникності і морозостійкості бетону, в бетонну суміш вводилися гідрофобізуючі кремнійорганічні рідини [43] : «СОФЕКСІЛ-40», що представляє собою 50% водний концентрат метілсіліконат калію, і «СОФЕКСІЛ 60-80» у вигляді 60% водної силан-силоксанової емульсії.

В результаті було експериментально встановлено, що введення в пластифікуючу бетонну суміш «СОФЕКСІЛ-40» у кількості 0,2% від маси цементу ефективніше підвищує морозостійкість бетону, ніж добавка 1,5% «СОФЕКСІЛ 60-80» (таблиця 2.5)

Таблиця 2.5 - Визначення міцності, морозостійкості і водонепроникності пластифікованого бетону, гідрофобізованого кремнійорганічними рідинами [24]

| № складу                                    | I (Контрольний) | II        | III        | IV         |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------|------------|------------|
| Цемент, кг                                  | 550             | 550       | 550        | 550        |
| Пісок, кг                                   | 730             | 700       | 700        | 700        |
| Щебінь, кг                                  | 1100            | 960       | 960        | 960        |
| Хітком Ф-1 (30%-й розчин), кг               | 22(1,2%)        | 22(1,2%)  | 22(1,2%)   | 22(1,2%)   |
| Вода, кг                                    | 150             | 150       | 150        | 150        |
| Метакаолін, кг                              | -               | 82,5(15%) | 82,5(15%)  | 82,5(15%)  |
| «СОФЕКСИЛ-40», кг                           | -               |           | 1,1 (0,2%) | -          |
| «СОФЕКСИЛ 60-80», кг                        |                 | -         | -          | 8,25(1,5%) |
| R <sub>сг28сут</sub> , МПа                  | 55,4            | 56,7      | 57,5       | 51,4       |
| Фактична морозостійкість, цикли випробувань | 492             | 446       | 653        | 379        |
| Марка по морозостійкості                    | F300            | F300      | F400       | F200       |
| Водонепроникність, марка                    | W8              | W8        | W8         | W8         |

Для подальшої оптимізації складу проектного бетону була обрана експериментально встановлена витрата добавки «Хітком Ф-1» рівна 1,2% від маси в'язучого, і В/ц відношення рівне 0,31 з урахуванням води, що міститься в розчині суперпластифікатору, високоактивного метаколіну і гідрофобізатору «СОФЕКСИЛ 40».

Введення в бетон високоактивного метакіаоліну впливає на його міцність на стиск. Так, з рис. 2.6 видно, що крива 1, що показує міцність бетону на стиск при витраті метакіаоліну  $82,5 \text{ кг/м}^3$  (15% від маси цементу), вся лежить вище кривої 2, яка показує міцність на стиск при витраті метакіаоліну  $55 \text{ кг/м}^3$  (10% від маси цементу), яка у свою чергу розташовується вище кривої 3, яка показує міцність на стиск при його витраті  $27,5 \text{ кг/м}^3$  (5% від маси цементу).

Отже, міцність бетону на стиск при постійній витраті цементу, рівній  $550 \text{ кг/м}^3$ , зростає зі збільшенням дозування метакіаоліну, проте його зміст необхідно 15% від маси цементу, тому при додаванні його у великих кількостях він сильно підвищує водопотребу, а також може викликати корозію сталевіа арматури [8].

Також на графіках, зображених на рисунок 2.6 можна бачити, що при введенні гідрофобізуючої добавки «Софексіл 40» бетон показує невеликий стабільний приріст міцності тільки при найвищій концентрації метакіаоліну. Наприклад, при концентрації метакіаоліну 15% приріст міцності бетону на стиск склав 4% при витраті гідрофобізуючої добавки 0,2% від маси в'язучого.

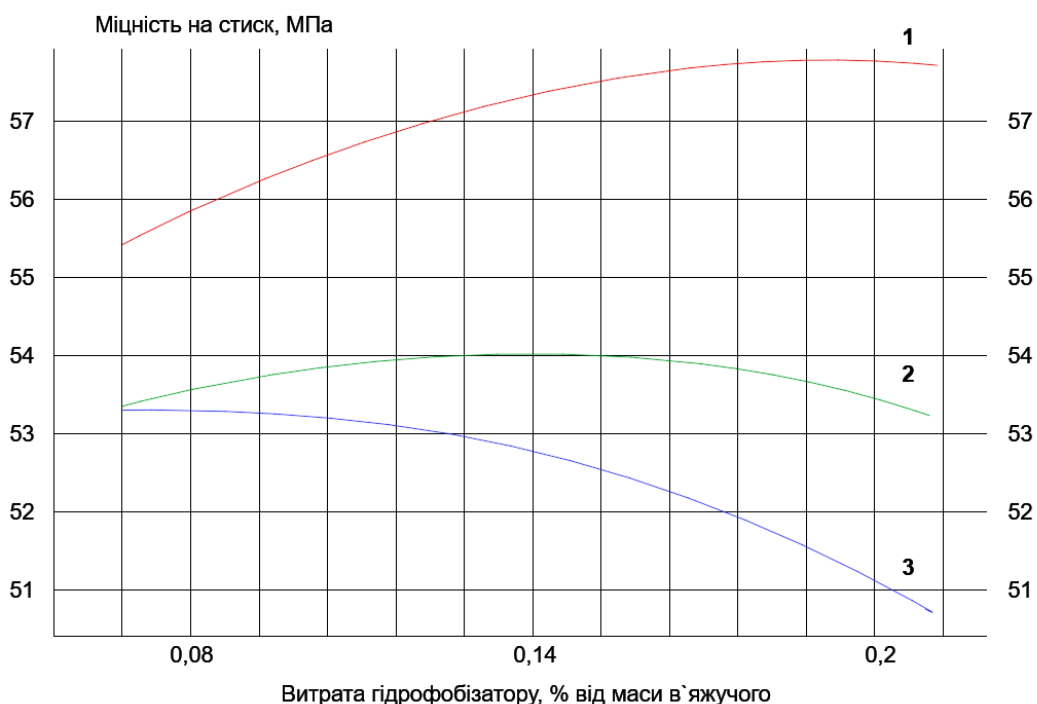


Рисунок 2.6 - Залежність міцності на стиск бетону від витрати гідрофобізатора «СОФЕКСІЛ - 40» при різних витратах високоактивного метакіаоліну в % від маси цементу: 1-15%, 2-10%, 3-5%

При побудові залежності міцності бетону на розтяг при вигині від змісту метакіаоліну і гідрофобізатору спостерігаються ті ж закономірності, (рисунок 2.7).

Одним з найважливіших факторів, що впливають на експлуатаційні властивості довговічність гідротехнічного бетону, є його водонепроникність. Чим більше водонепроникність бетону, тим менший вплив робить на нього сама вода, так і розчинені в ній агресивні речовини. Метакіаолін є мікронаповнювачем і має високу питому площу поверхні досягає  $30 \text{ м}^3/\text{г}$ .

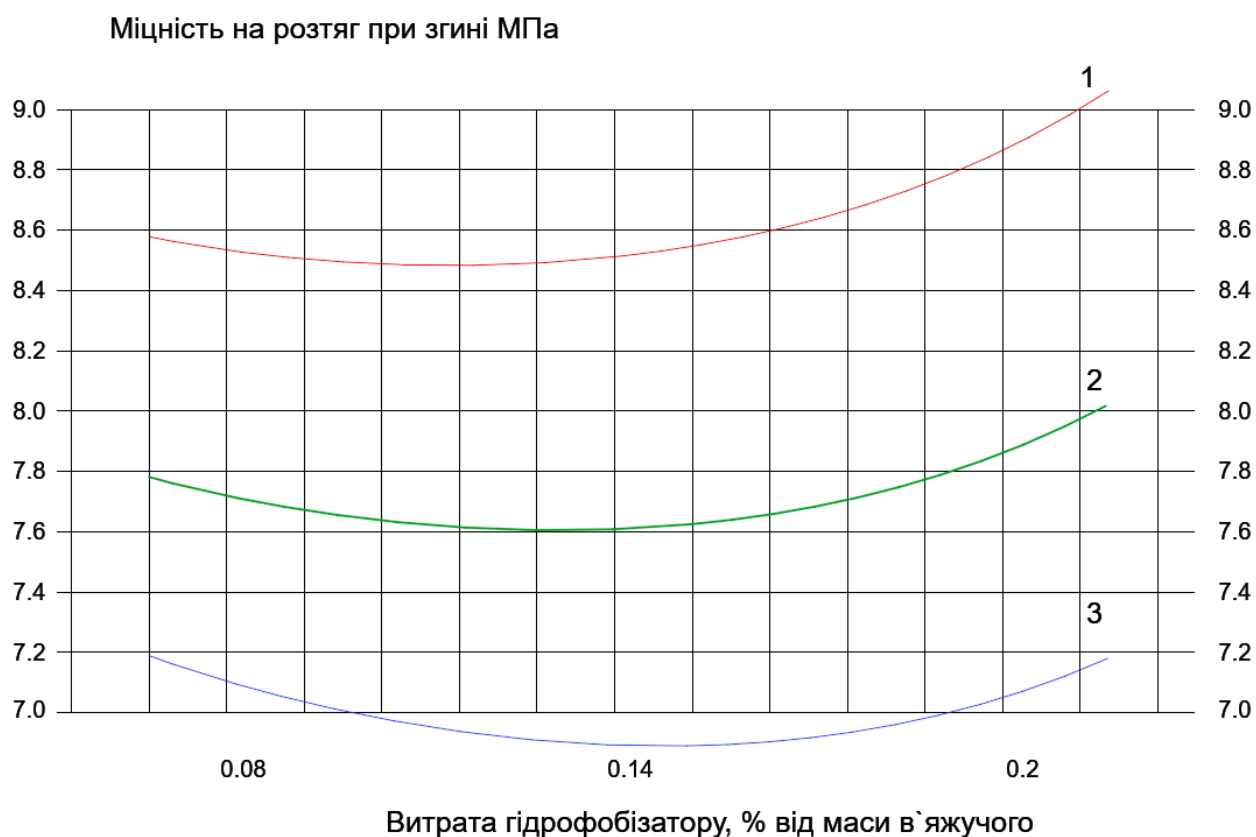


Рисунок 2.7 - Залежність міцності на розтяг при згині бетону від витрати гідрофобізатора «СОФЕКСІЛ - 40» при різних витратах високоактивного метакіаоліну в % від маси цементу: 1-15%, 2-10%, 3-5%.

Введення метакаоліну в бетон підвищує його щільність, а отже і водонепроникність. З рисунок 2.8 видно, що при дозуваннях високоактивного метакаоліну 5 і 10% від маси цементу водонепроникність бетону залишається приблизно на однаковому рівні, однак при збільшенні дозування метакаоліну до 15% спостерігається зростання водонепроникності практично в 2 рази. Також видно, що збільшення дозування гідрофобізуючої добавки з 0,08% до 0,2% від маси цементк призводить до зростання водонепроникності в середньому на 20-40% залежно від концентрації високоактивного метакаоліну і в точці максимуму 340 с/см, що відповідає класу бетону по водонепроникності W20 і більше [65].

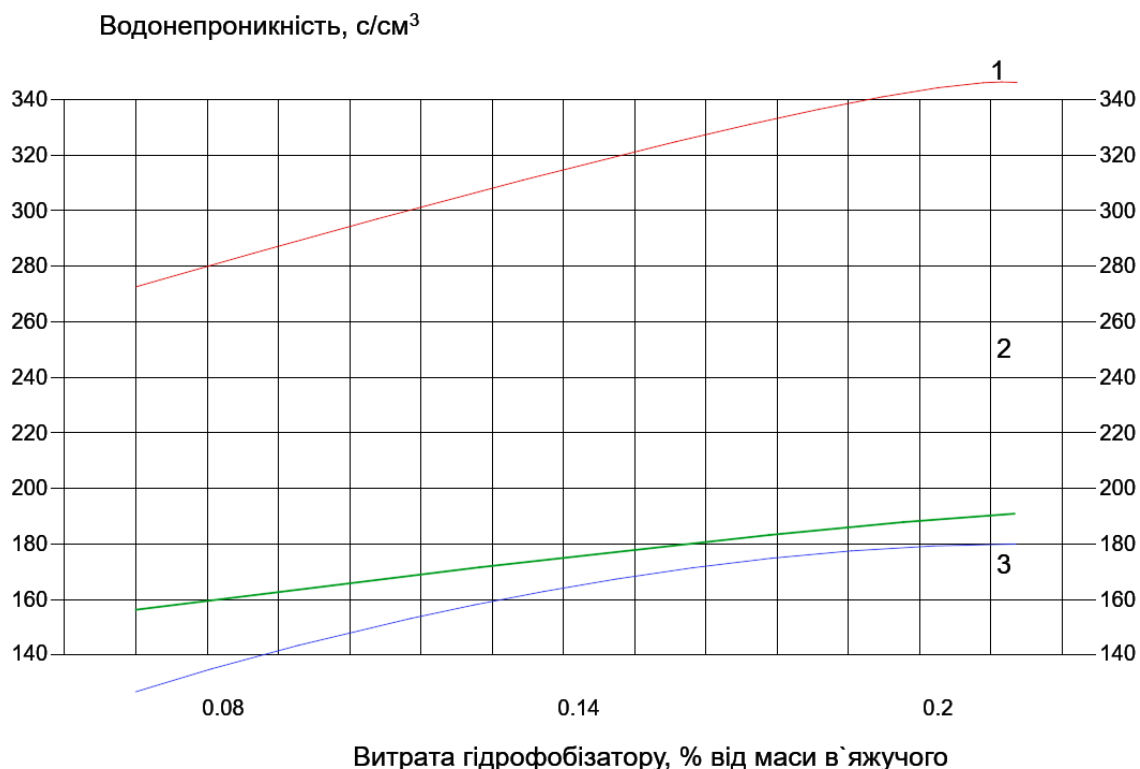


Рисунок 2.8 - Залежність водонепроникності бетону від витрати гідрофобізатору «СОФЕКСІЛ - 40» при різних витратах високоактивного метакаоліну в % від маси цементу: 1-15%, 2-10%, 3-5%

Важливим показником довговічності бетону, є його морозостійкість. Вона залежить від багатьох факторів, у числі яких міцність бетону, його щільність,

водонепроникність, гранулометричний склад використаних заповнювачів, характер пористості, тип і розміри пір і ін. На рисунку 2.8 видно, що при збільшенні концентрації метаксаоліну морозостійкість бетону зростає, що можна пояснити значним ущільненням мікроструктури бетону, а також зі зростанням його міцності. Також на графіках, зображених на рисунку 2.9. видно, що збільшення концентрації гідрофобізуючої добавки «СОФЕКСІЛ - 40» призводить до зростання морозостійкості бетону на 30 - 40% залежно від витрати високоактивного метаксаоліну. При дозуванні метаксаоліну 15% і дозуванні гідрофобізатору 0,2% від маси в'язучого морозостійкість розробленого бетону перевищує 650 циклів, що відповідає його марці по морозостійкості F600 [63].

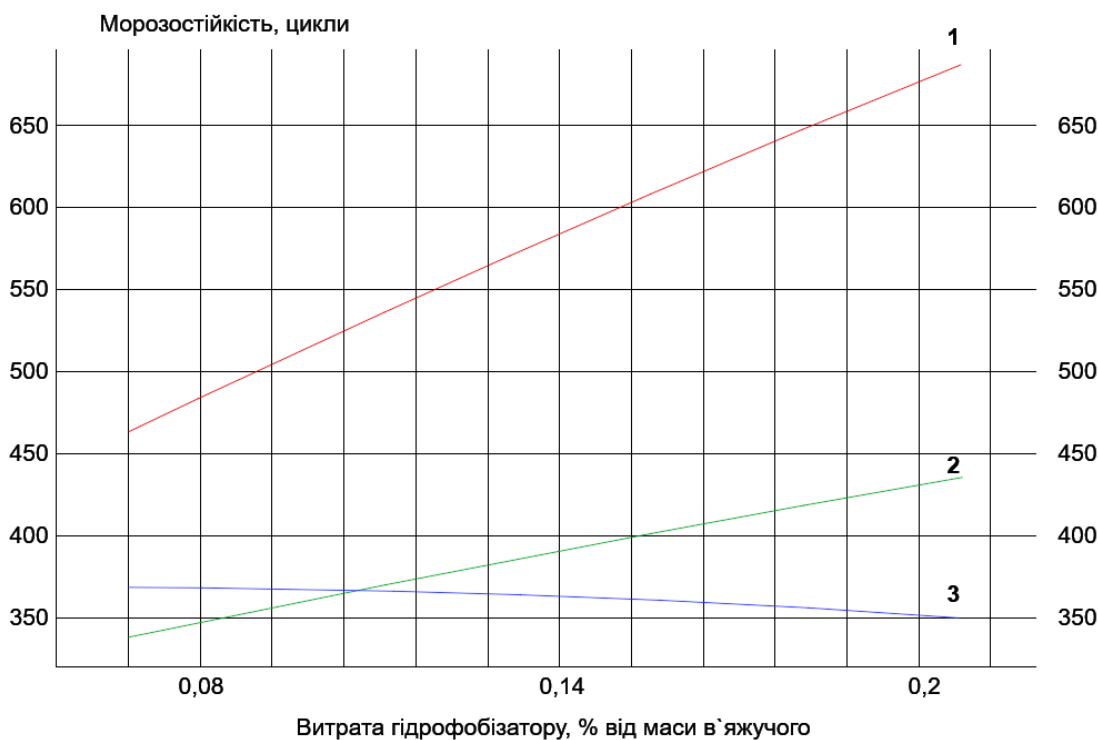


Рисунок 2.9 - Залежність морозостійкості бетону від витрати гідрофобізатору «СОФЕКСІЛ - 40» при різних витратах високоактивного метаксаоліну в % від маси цементу: 1-15%, 2-10%, 3-5%.

### 2.3 Вплив органомодифікуючих добавок на структуру бетону

На основі математичної моделі були розроблені кілька різних складів бетону з метою вивчення впливу органомодифікуючих добавок на мікроструктуру (таблиця 2.6). Основними показниками мікроструктури є середня щільність, водопоглинання, загальна пористість, обсяг відкритих пор, показник середнього розміру відкритих капілярних пор, показник однорідності розмірів пор.

Таблиця 2.6 - Експериментальні склади бетону [23].

| № складу                   | Склад бетону, кг/м <sup>3</sup> |     |      |     |          |           |           |
|----------------------------|---------------------------------|-----|------|-----|----------|-----------|-----------|
|                            | Ц                               | П   | Щ    | В   | СП       | МК        | ГФ        |
| <b>№1</b><br>(контпільний) | 550                             | 730 | 1100 | 150 | 22(1,2%) | -         | -         |
| <b>№2</b>                  | 550                             | 700 | 960  | 150 | 22(1,2%) | 27,5(5%)  | -         |
| <b>№3</b>                  | 550                             | 700 | 960  | 150 | 22(1,2%) | 82,5(15%) | -         |
| <b>№4</b>                  | 550                             | 700 | 960  | 150 | 22(1,2%) | 82,5(15%) | 1,1(0,2%) |

Примітка. Ц-цемент, П-пісок, В-вода, СП-суперпластифікатор «Хітком Ф1», МК-високоактивний метакаолін, ГФ-гідрофобізатор «СОФЕКСІЛ - 40».

Результати лабораторних досліджень наведено в таблиця 2.7 і на рисунку 2.10.

Таблиця 2.7 - Структурні характеристики експериментальних складів [23].

| № складу | Вік бетону, днів | Середня щільність, кг/м <sup>3</sup> | Водопоглинання бетону, % по масі | Загальна пористість, П, % | Об'єм відкритих пор, П <sub>мз</sub> , % | Показник середнього розміру капілярних пор, λ <sub>2</sub> | Показник однорідності розмірів відкритих капілярних пор, α |
|----------|------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| №1       | 28               | 2140                                 | 4,2                              | 16,8                      | 9,0                                      | 0,74                                                       | 0,61                                                       |
| №2       |                  | 2188                                 | 3,8                              | 16,3                      | 7,4                                      | 0,60                                                       | 0,68                                                       |
| №3       |                  | 2260                                 | 2,9                              | 13,2                      | 6,4                                      | 0,54                                                       | 0,76                                                       |
| №4       |                  | 2272                                 | 2,4                              | 13,0                      | 5,9                                      | 0,56                                                       | 0,77                                                       |

З експериментальних даних, наведених у таблиця 2.7 і на рисунку 2.10, видно, що найбільшу щільність, а також найменшу відкриту пористість 5,9% і, як наслідок, найменше водопоглинання за масою мають зразки бетону складу №4, що містять високоактивний метакаолін і кремнійорганічний гідрофобізатор. Це пояснюється тим, що при введенні в бетон мікронаповнювачу, його зерна заповнюють порожнечі між зернами і ущільнюють структуру цементного каменю, а гідрофобізатор робить частину загального обсягу пір умовно-закритими. Слід зазначити, що гідрофобізатор «СОФЕКСІЛ - 40» не робить істотного впливу на загальну пористість бетону, проте значно знижує обсяг відкритих пір, і, тим самим, зменшує водопоглинання бетону. Отже можна зробити висновок, що введення органомодифікуючих добавок: суперпластифікатору «Хімком Ф-1», високоактивного метакаоліну і кремнійорганічного гідрофобізатору «СОФЕКСІЛ - 40» в бетон призводить до зменшення не тільки загального обсягу пір, але і обсягу відкритих капілярних пор, що позитивно позначається на підвищенні його морозостійкості і довговічності. Також з результатів проведених досліджень видно, що пластифіковані бетони, структура яких модифікована комплексом органічних і мінеральних добавок, мають менший середній розмір капілярних пір і більш однорідні за розмірами пори в порівнянні з контрольним складом.

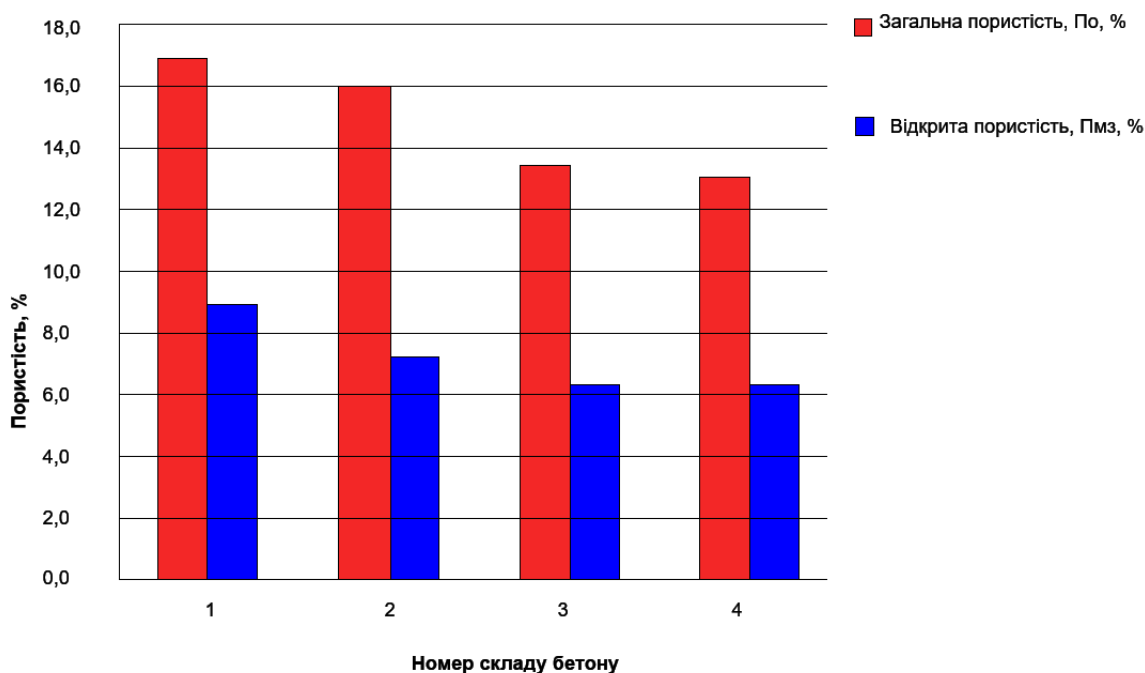


Рисунок 2.10 - Вплив органомодифікуючих добавок на ущільнення структури бетону

Можна вважати, що в цементному тесті або в добре ущільненій бетонній суміші практично весь міжзерновий простір заповнений водою затвердження. Якщо в процесі формування структури цементного каменю частина води випаровується, то обсяг, раніше займаний водою, утворює повітряні пори.

#### **2.4 Процеси структуроутворень модифікованих цементних систем. Особливості механізму дії комплексних органо-мінеральних модифікаторів на цементні системи**

При замішуванні водою і перемішуванні компонентів бетонної суміші відбувається дезагрегація гранул модифікатора. Дезагрегація при перемішуванні сприяє також розчинення затверділої адсорбційної плівки (прошарку) з суперпластифікатора (рисунок 2.11), що розділяє частинки мікронаповнювача.

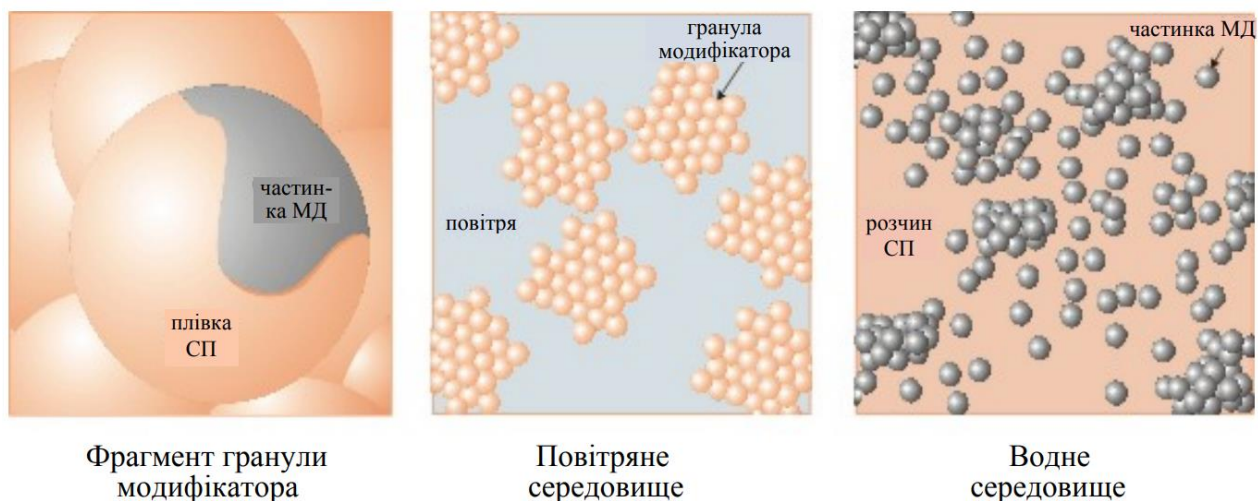


Рисунок 2.11 - Дезагрегація гранул модифікатора у водному середовищі

Це відповідає класичному уявленню про те, що присутність поверхнево-активної речовини в рідкій фазі дисперсної системи інтенсифікує як примусове, так і мимовільне диспергування твердого тіла з дефектами структури, яким є в Даному випадку гранула. Комплексний вплив органічної та мінеральної частин «МБ» на цементну систему виражається в тому, що на ранній стадії структуроутворення система, що знаходиться в пластичному стані, знаходить підвищену в'язкість і зв'язність, і характеризується яскраво вираженою тиксотропністю, а сформований згодом цементний камінь характеризується особливим якісним складом і геометрією структури [26]. Активація виконується за допомогою процесу поверхневого модифікування.

Особливості механізму дії комплексних органо -мінеральних модифікаторів в цементних системах пов'язані як з їх якісним і кількісним складом, так і з їх відпускною формою і агрегатним станом.

Дія органо -мінеральних модифікаторів у вигляді порошкоподібного продукту на цементні системи полягає в тому, що при замішуванні водою і перемішуванні відбувається поступове розчинення шару органічних компонентів «склеюючих» водонерозчинні частинки мінеральної частини. В

результаті міцні і стійкі в повітряному середовищі гранули модифікатора у водному середовищі дезагрегуються з утворенням розчину органічної частини (суперпластифікатора і регулятора твердіння) і рівномірно розподілених в системі частинок різного ступеня дисперсності мінеральної частини [22].

Це відповідає класичному уявленню про те, що присутність поверхнево-активної речовини в рідкій фазі дисперсної системи інтенсифікує як примусове, так і мимовільне диспергування «твердого тіла з дефектами структури» [75], яким є в даному випадку гранула модифікатора.

Дослідження впливу комплексних органомінеральних модифікаторів і входять до їх складу компонентів на такі властивості цементних систем, як в'язкість, терміни тужавіння, кінетика наростання пластичної міцності і тепловиділення, проводилися на цементному тесті при постійному водов'язучому відношенні  $B / (Ц + \text{Добавка})$  за відпрацьованими методиками [75, 79] за допомогою ротаційного віскозиметра «Полімер РПЕ-1М», приладу Віка, конічного пластомітру і диференціального мікрокалориметра.

## 2.5 Деформативні характеристики модифікованого бетону

Зміна кількості розширюючої композиції у складі мінеральної частини модифікатора від 0 до 100% практично не впливає на модуль пружності (38 ... 42 ГПа), коефіцієнт Пуассона (0,18 ... 0,19) і міру повзучості ( $26,4 \cdot 10^{-6} \dots 36,9 \cdot 10^{-6}$  МПа<sup>-1</sup>) високоміцного бетону, але істотно відбивається на усадочних деформаціях: у всіх зразках з модифікаторами виявлені залишкові деформації розширення замість усадки після твердіння в повітряно-сухих умовах (таблиця 2.7).

При дослідженнях деформацій розширення-усадки були виявлені наступні тенденції: після розміщення зразків у повітряно-сухі умови ( $W = 60\%$ ) у всіх бетонів спостерігали усадочні деформації, які частково компенсували

деформації розширення і самонапруження, досягнуті при водному зберіганні ( $W = 100\%$ ). Але, відзначимо, що проявилися деформації розширення-усадки, в основному, стабілізувалися після 30 діб тверднення [24].

В бетонах з модифікаторами «С-3» і «Хімком Ф-1» після 6 діб тверднення проявилися деформації розширення, які склали 0,05% і 0,1%, відповідно. Після твердіння в повітряно-сухих умовах залишкові деформації розширення у віці 120 діб склали 0,001% і 0,060%, відповідно, що дозволяє віднести їх до бетонів з компенсованою усадкою і які розширюють [24].

Величина самонапруження зразків високоміцних бетонів з модифікаторами «С-3» і «Хімком Ф-1» після 6 діб зберігання склала 0,9 МПа і 2,1 МПа, відповідно. Дослідження залишкового самонапруження зразків бетону з модифікаторами показали, що їх зберігання в повітряно-сухих умовах ( $W = 60\%$ ) після 6 діб водного витримування ( $W = 100\%$ ) призводить лише до часткової втрати самонапруження та її швидкої стабілізації до 30 добового віку на рівні 0,3 МПа і 1,0 МПа, відповідно [24].

Аналізуючи результати даної серії експериментів, можна зробити висновок, що високі міцності бетонів з модифікаторами в ранні терміни твердіння (до 20 МПа у віці 1 доби і до 50 МПа у віці 7 діб) не перешкоджають розвитку процесів розширення і само напруження [24].

Після вибору комплексного органомінерального модифікатору, оптимізації його дозування, витрати цементу і водов'язучого відношення з урахуванням вищевикладених рекомендацій і на підставі однієї з апробованих методик підбору складу бетону розраховується і підбирається оптимальне співвідношення інших компонентів бетонної суміші.

Таким чином, застосування комплексних органомінеральних модифікаторів виключає необхідність використання, окремих технологічних ліній по зберіганню, подачі та дозуванню різних органічних і мінеральних добавок і істотно спрощує технологію виробництва, бетонів з високими експлуатаційними властивостями.

Таблиця 2.7 - Деформативні характеристики модифікованого бетону [24].

| №  | Комплексна<br>добавка | Деформативні характеристики |                  |                                       |        |        |                                                                   |                                     |     |     |
|----|-----------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----|-----|
|    |                       | Модуль<br>пружності,        | Коеф.<br>Пуасона | Розширення-усадка*, %<br>у віці...діб |        |        | Міра повзучості,<br><br>МПа <sup>-1</sup><br><br>*10 <sup>6</sup> | Самонапруження, МПа<br>у віці...діб |     |     |
|    |                       | ГПа                         |                  | 7                                     | 28     | 120    |                                                                   | 7                                   | 28  | 120 |
| 1. | МК і «С-3»            | 38                          | 0,18             | +0,051                                | +0,007 | +0,001 | 30,3                                                              | 0,9                                 | 0,3 | 0,2 |
| 2. | ВМК і «Хімом Ф-1»     | 42                          | 0,19             | +0,102                                | +0,061 | +0,060 | 36,9                                                              | 2,1                                 | 1,1 | 1,0 |

## **З ТЕОРЕТИЗОВАНИ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ**

### **3.1 Технологічна карта на улаштування бетонних робіт**

#### **3.1.1 Умови й особливості провадження робіт.**

У процесі провадження робіт будинок розбивається на захватки, на яких послідовно виконуються опалубні роботи, арматурні роботи, бетонування. У монолітних будинках легко варіювати планування житлових приміщень, даючи місту потрібний набір квартир. Основою фундаментів прийняті ґрунти: супісь з товщиною шару 6,0 м, ґрунтові води залягають на глибині 5,0 м від поверхні землі [2].

#### **3.1.2 Характеристика об'ємно - планувального та конструктивного рішення.**

Конструктивний тип будинку являє собою каркас із обпиранням монолітних перекриттів на колони. Сходи з дрібнорозмірних елементів складаються з збірних з/б щаблів, косоурів, з/б монолітних плит площадок і огорожень із поручнями.

Наружні стіни виконувались: зовнішня частина стіни має товщину  $\delta=120\text{мм}$ , виконується з лицьової керамічної одинарної цегли; внутрішня частина стіни виконується із блоків ніздрюватого бетону товщиною  $\delta=250\text{мм}$ . Перегородки в санвузлах і ванних кімнатах виконували із повнотілої керамічної цегли товщиною  $\delta=120\text{мм}$ . Міжкімнатні стіни виконують із гіпсових позагребневих плит товщиною 80мм.

Перекриття з/б без балочні монолітні розміром на поверх - являють собою плиту товщиною  $\delta=200\text{мм}$ , що опирається на колони. Шахти ліфта із збірних з/б блоків.

### 3.1.3 Організація й технологія робіт.

Підготовка до провадження робіт. До початку зведення надземної частини закінчують всі роботи надземного циклу, підготовлені під'їзди до місця розвантаження виробів, обов'язкова доставка місцевих матеріалів і монтажного устаткування. Дороги повинні мати в'їзди на магістраль і площадку для розвороту [49].

Переріз будинку з прив'язкою крана. При провадженні робіт надземного Циклу для подачі матеріалів використовується баштовий кран. Визначаємо необхідні параметри монтажного крана. До монтажних параметрів відносяться монтажна маса  $Q_M$ , необхідна висота підйому гака  $H_{кр}$  необхідний виліт стріли крана  $L_K$ .

Монтажну масу визначаємо, як суму мас вмонтовуваного елемента й тих пристосувань монтажного пристосування, які піднімають разом з ним при установці траверс, захваток і т.д.

$$Q_M = Q + \sum q \quad (3.1)$$

де  $Q$  - маса елемента, т.;

$\sum q$  - сумарна маса монтажних пристосувань, установлених на вмонтовуваном елементі до підйому, т.;

$$Q_M = 7,6 + 0,25 = 7,85 \text{ т}$$

Необхідна висота крану:

$$H_{кр} = H_{буд} + H_{зап} + H_{елем} + H_{в.п.} \quad (3.2)$$

де  $H_{буд}$  — відмітка опори, на яку встановлюють елемент відносно рівня стоянки крану (м) (приймається найвища висота будівлі що зводиться);

$H_{\text{зап}}$  - запас на висоту, необхідний для безпечної установки елементу (0,5 - м);

$H_{\text{елем}}$  - висота монтуємого елементу (м);

$H_{\text{в.п.}}$  - висота вантажозахватного пристосування (м).

$$H_{\text{кр}} = 60,6 + 0,5 + 0,2 + 4,203 = 65,5 \text{ м}$$

Виліт стріли крану:

$$L_{\text{стр.}} = L_{\text{буд.}} + L_1 + L_2 + L_{\text{п.р.}} / 2 \quad (3.3)$$

де  $L_{\text{буд.}}$  — найбільша ширина будівлі з виступаючими частинами якщо є (м);

$L_1$  - мінімальна відстань від будівлі до огороження (приймається 0,8-м);

$L_2$  - відстань від підкранового рельсу до огороження з врахування м габаритів кранів (приймається 2м);

$L_{\text{п.р.}}$  - ширина підкранового рельсу.

$$L_{\text{стр.}} = 19,2 + 0,8 + 2\text{м} + (6/2) = 25 \text{ м}$$

Основні вантажозахватні механізми приведені у таблиці 3.1

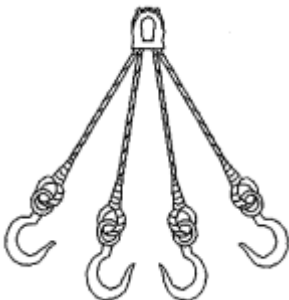
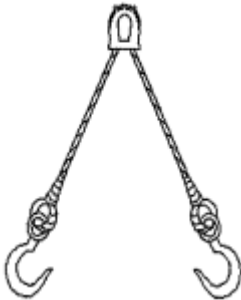
З розрахунку та виробництву будівельно - монтажних робіт приймаємо баштовий кран КБ- 403А с параметрами:

вантажопідйомність - 5,5...8 т.

виліт стріли - 25 м

висота підйому -41м

Таблиця 3.1 - Основні вантажозахватні механізми

| № | Найменування пристосування      | Ескіз                                                                              | Маса, т | Вантажо під. | Висота, м | Кількість |
|---|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|-----------|-----------|
| 1 | 2                               | 3                                                                                  | 4       | 5            | 6         | 7         |
| 1 | Строп канатний чотирьохгілковий |   | 0,215   | до 5         | 4,2       | 2         |
| 2 | Строп канатний двохгілковий     |  | 0,12    | до 5         | 4,2       | 2         |

### 3.1.4 Опис технологічної карти на виробництво бетонних робіт.

У процесі провадження робіт будинок розбивається на захватки, на яких послідовно виконуються опалубні роботи, арматурні роботи, бетонування [54].

Опалубні роботи. Опалубка перекриттів збирається з металевих щитів і є розбірно-переставною. Вся опалубка в цілому підтримується кружальною системою, що складається з домкратних стійок, на які встановлені елементи, що підтримують щити. Підтримуючі стійки - інвентарні та встановлюються через 1,5- 2 м. Вибираємо опалубку з падаючими голівками.

Штативи стійок забезпечують стабільність протягом монтажу. У таку несучу конструкцію вкладаються панелі для опалубки повздовжньо або поперечно.

Після установки опалубку вивіряються і рихтуються. Щоб поверхня перекриття була рівної, щити інвентарної опалубки ретельно підганяються.

Арматурні роботи. В умовах будівельного майданчика виконуються: приймання арматурних виробів, сортування й складування; підготовка до монтажу, при необхідності укрупнення й об'єднання в арматурно-опалубні блоки; установка, вивірка арматури й остаточне з'єднання стиків; приймання робіт зі складанням акту схованих робіт [2].

Арматура складається із двухголовочних анкерів, з'єднаних за допомогою перфорованої сталеві планки. Двухголовочні анкери виготовляються з арматурної сталі, а перфорована планка - з конструкційної сталі.

Каркаси встановлюють при одній або двох відкритих сторонах опалубки. Для запобігання каркасів від зсуву їх тимчасово закріплюють. Кріплення знімають у міру укладання бетонної суміші [49].

Арматурні елементи за допомогою поперечних перфорованих пластин монтуються на відповідних розпірних пристосуваннях. Вільні голівки анкерів повинні доходити при підвісному монтажі принаймні до нижньої крайки самого нижнього шару арматури, а при вертикальному монтажі - принаймні до верхньої крайки самого верхнього шару арматури [49].

При армуванні конструкції сітками й плоскими каркасами їх з'єднують в'язальним дротом 01,0 мм.

При монтажі арматури забезпечується захисний шар бетону, тобто відстань між зовнішніми поверхнями арматури і бетону. Товщина захисного шару забезпечується використанням бетонних або цементних підкладок, що залишаються в тілі бетону.

Арматура приймається по акту. У відповідальних конструкціях можливі механічні випробування з'єднань, що вирізуються з конструкцій або з використанням неруйнуючих методів.

Бетонування конструкцій ділиться на 3 етапи.

#### Підготовчий етап

Заготівлення бетонної суміші централізована на вузлі, доставка повинна вироблятися автобетонозмішувачами.

Перед прийомом бетонної суміші підготовляють територію об'єкта. За допомогою геодезичних і мірних інструментів перевіряються положення опалубки, арматури, закладних деталей і анкерних болтів, наявність захисного шару в арматурі, стійкість арматурних каркасів і елементів опалубки.

Розвантаження бетонної суміші виконується в автобетононасос Cifa Pa 806.

#### Подача бетонної суміші

Подача бетонної суміші здійснюється за допомогою автобетононасоса марки Cifa Pa 806 з діаметром труби 100 мм, що має набір труб і колін. До початку роботи трубопровід змазують прокачуванням вапняного тіста цементного розчину. Після роботи бетононасос промивають водою й пропускають через нього еластичний пиш. Суміш подається безупинно при змушених перервах в 30 хвилин (у цей час насос періодично включають, активізуючи суміш). При перервах в 1 годину й більше трубопровід повністю звільняють. Бетононасос використовують до  $-15^{\circ}\text{C}$  [49].

Тому що площі бетонування великі а в автобетононасоса недостатній виліт стріли, він працює в комплексі із круговим бетнороздачиком (КБР) на виносних опорах. Використання такого типу бетнороздачика збільшує продуктивність праці за рахунок більше рідких перестановок КБР.

#### Укладання бетонної суміші

При укладанні бетонної суміші рекомендується [54]:

- 1) до початку роботи перевіряють із оформленням актом опалубку й арматури;
- 2) опалубку очищають, змазують; дерев'яну за 1 годину до укладання рясно змочують водою, щілини конопатяться;

3) при укладанні бетонної суміші намагаються не забризкати арматури;

4) бетонну суміш розвантажують в опалубку якнайближче до місця укладання; починаючи з висоти 3 м використовують віброхобот;

5) у процесі укладання суміші спостерігають за станом опалубки, положенням арматур, кріпильних елементів, що підтримують лісів, розкосів і розпірок. При виявленні їхньої деформації або зсуву від проектного положення припиняють процес бетонування й усувають порушення;

6) укладати суміш рекомендується безупинно, якщо перерва неминуха, то влаштовують робочі шви, використовуючи дошку або рейковий щит. Якщо перерва була незначна, то при укладанні нової бетонної суміші не рекомендується вібрувати бетон на відстані 1 м від шва. Якщо бетон досяг міцності, то новий можна укладати як звичайно;

7) якщо один шар кладуть на іншій, то час перекриття визначається лабораторією, тому що залежить від умов витримування;

8) якщо розрив в укладанні шарів більше двох годин, то поверхня нижнього шару не загладжують, а по закінченні схоплювання очищають від цементної плівки стисненням повітрям або водяним струмом;

9) щоб поліпшити легкоукладальність суміші, у неї додають пластифікатори;

10) у великих конструкціях роблять деформаційні шви, щоб запобігти розтріскуванню (поява усадочних тріщин);

11) розрівнюють суміш лопатами або вібраторами.

Ущільнення бетонної суміші фундаменту и перекриттів здійснюється за допомогою віброплощадок, колон - за допомогою віброігл.

Глибинні вібратори опускаються у бетон не більше ніж на 1,25 довжини робочої частини. Крок вібраторів установлюють не більше ніж на 1,5 радіуса дії.

### 3.1.5 Операційний контроль якості робіт.

Опалубні роботи. Точність установки інвентарної опалубки унікальних і спеціальних споруджень визначається проектом.

Перепади поверхонь, у тому числі стикових, для конструкцій, готових під фарбування без шпаклівки, не перевищують 2 мм.

Установка й приймання опалубки, распалубка монолітних конструкцій, очищення й змащення виробляються по проекті провадження робіт [49].

У процесі опалубки контролюються правильність установки опалубки, кріплень, а також щільність стиків у щитах і сполученнях, взаємне положення опалубних форм і арматури (для одержання заданої товщини захисного шару). Правильність положення опалубки в просторі перевіряється прив'язкою до розбивочних осей і нівелюванням, а розміри - звичайними вимірами.

Арматурні роботи. У процесі армування конструкцій контроль здійснюється при прийманні сталі (наявність заводських марок і бирок, якість арматурної сталі); при складуванні й транспортуванні (правильність складування по марках, сортах, розмірах, збереженність при перевезеннях); при виготовленні арматурних елементів і конструкцій (правильність форми й розмірів, якість зварювання, дотримання технології зварювання). Після установки й з'єднання всіх арматурних елементів у блоці бетонування проводять остаточну перевірку правильності розмірів і положення арматур з урахуванням допускаючих відхилень. На арматурні роботи необхідно становити акти огляду схованих робіт.

Бетонування. При транспортуванні бетонної суміші стежимо за тим, щоб вона не почала тужавіння, не розпадалася на складові, не втрачала рухливості через втрати води, цементу.

Кожна партія бетонної суміші, що відправляється споживачеві, має документ про якість, у якому повинні бути зазначені [49]:

- виготовлювач, дата й час відправлення бетонної суміші;
- вид бетонної суміші і її умовна позначка;

- номер складу бетонної суміші, клас або марка бетону по міцності на стиск у проектному віці;
- те ж по міцності на розтягання при вигині;
- коефіцієнт варіацій міцності бетону, необхідна міцність бетону;
- вид і обсяг доставок;
- найбільша крупність заповнювача, легкоукладальність бетонної суміші в місця укладання;
- номер супровідного документа;
- гарантії виготовлювача;
- інші показники (при необхідності).

Результати випробувань контрольних зразків бетону в проектному або іншому необхідному віці виготовлювач зобов'язаний повідомити споживача на його вимогу не пізніше чим через 3 діб. після проведення випробувань.

При входному контролі бетонної суміші на будівельному майданчику необхідно:

- перевірити наявність документа про якість на бетонну суміш і необхідних у ньому даних;
- шляхом зовнішнього огляду переконатися у відсутності ознак розшарування бетонної суміші, у наявності в бетонній суміші необхідних фракцій великого заповнювача, у відповідності необхідної її пластичності;
- при виникненні сумнівів в якості бетонної суміші вимагати контрольної перевірки її відповідності вимогам державного стандарту й проекту.

Перед укладанням бетонної суміші контролюється чистота робочої поверхні опалубки і якість її змащення.

На місці укладання звертається увага на висоту скидання суміші, тривалість вібрування й рівномірність ущільнення, не допускаючи розшарування суміші й утворення раковин, порожнеч.

### 3.2 Витримування бетону і догляд за конструкціями у зимовий період

Заходи по догляду за бетоном в зимовий період полягали у створенні відповідного теплозахисного контуру для спорудження, що забезпечує позитивну температуру твердіння бетону конструкцій, а також можливість поступового вирівнювання температур бетону, що твердіє і зовнішнього повітря [20]. Умовно висотна будівля розбивалося по вертикалі на чотири температурні зони з різницею температур не більше  $20^{\circ}\text{C}$  (рисунок 3.1). Температура повітря у вищевказаних зонах підтримувалася в певних діапазонах:

1. Зона виробництва робіт - від  $+5$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ ;
2. Зона витримування конструкцій - від  $+10$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ ;
3. Зона охолодження конструкцій - від  $0$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ ;
4. Зона готових конструкцій - менше  $0^{\circ}\text{C}$ .

Забезпечення необхідного температурного режиму в зоні проведення робіт здійснювалося за рахунок пристрою шатра, теплозахисних штор і калориферів (рисунок 3.1).

Забезпечення необхідного температурного режиму в зонах витримування та охолодження конструкцій здійснювалося за допомогою пристрою теплозахисних міжповерхових штор або спеціальної самопідйомної опалубки і калориферів [61].

Штори або спеціальна опалубка, які в цьому випадку виконували роль теплозахисного контуру, встановлювалися в міру необхідності між перекриттями на висоту двох поверхів нижче зони виробництва робіт. Кількість і режими роботи калориферів залежали від температури зовнішнього повітря і визначалися необхідністю підтримувати задану температуру в зонах виробництва робіт і витримування конструкцій.

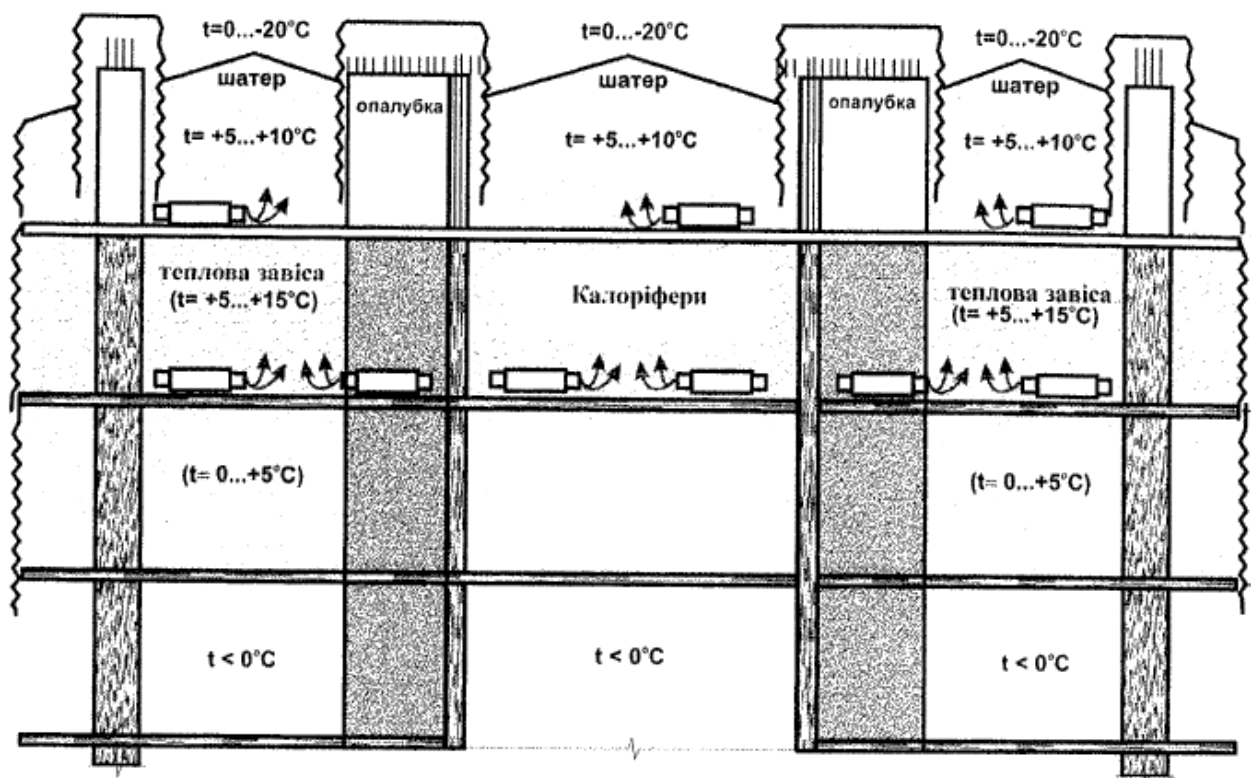


Рисунок 3.1 - Загальна схема витримування конструкцій каркасу висотних будівель в зимовий період [61]

Догляд за конструкціями в зоні виробництва робіт. У даній зоні (рисунок 3.2) бетон набрав розпалубку міцність, яка для колон і стін приймається не нижче 20 МПа, а для перекриттів на рівні 70% від проектної. Витримування та догляд за конструкціями каркаса споруди в даній зоні полягав у забезпеченні позитивної температури твердіння бетону і створенні навколо кожної захватки бетонування або конструкції власного вологотеплозахисного контуру.

Витримування бетону стін і колон, до набору распалубочной міцності, здійснювалось протягом 16-20 годин під шатром або в утепленій опалубці, які на даному етапі виконували роль вологотеплозахисного контуру.

Крім того, у верхній частині конструкції влаштовувалася захист у вигляді вологотеплозахисного покриття для скорочення тепловтрат, через випуски арматури [20].

Відразу після розпалубки (протягом не більше 30 хвилин) на поверхню колон і стін наносилося плівкоутворююче покриття і конструкції ховалися

волого теплозахисним покриттям, яке виконувало роль влаготеплозащитного контуру.

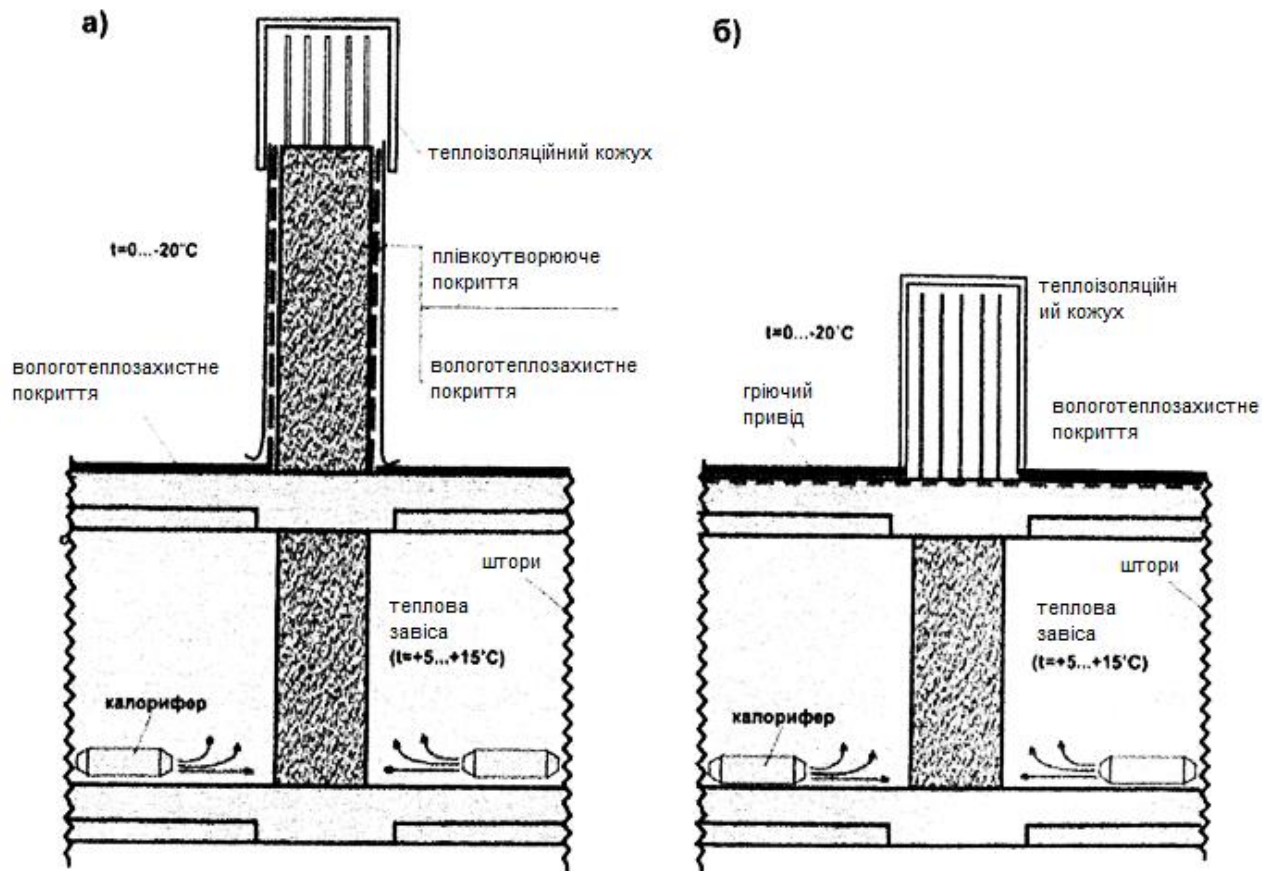


Рисунок 3.2 - Стадія витримування конструкцій в зоні виробництва робіт  
а) у колонах, б) в перекриттях [61]

Позитивна температура твердіння бетону в конструкціях стін і колон досягалася у разі масивних конструкцій (від  $+20$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ) за рахунок екзотермії бетону, а в разі тонкостінних конструкцій (від  $+20$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ ) за рахунок електропрогрівання бетону гріючими проводами [20]. Орієнтовний час прогріву бетону до температури  $+35^{\circ}\text{C}$  при електропрогрівання конструкцій в зимовий період приведений у табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Орієнтовний час прогріву бетону до температури +35°C при електропрогрівання конструкцій в зимовий період

| Температура укладеного бетона, °C | Орієнтовний час розігріву укладеного бетону до температури +35 °C, час |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| +5                                | 3,0                                                                    |
| +10                               | 2,5                                                                    |
| +15                               | 2,0                                                                    |

Вологотеплозахисним контуром для витримування бетону перекриттів в зоні проведення робіт були з нижньої сторони гріюча опалубка, а з верхньої сторони шатер (при виробництві бетонних робіт) і вологотеплозахисного покриття (після зняття намету), яке виносалося на 2 м за кордону ділянки бетонування. Крім того, влаштовувалася захист у вигляді вологотеплозахисного покриття для скорочення тепловтрат, через випуски арматури стін і колон.

Зняття вологотеплозахисного покриття з бетонних поверхонь конструкцій вироблялося тільки після їх переміщення в зону витримування. Час знаходження конструкцій в зоні проведення робіт дорівнювало терміну зведення одного поверху споруди та орієнтовно становило 5 ... 7 днів.

Догляд за конструкціями в зоні витримування. Зона витримування конструкцій (рисунк 3.2) являє собою один поверх висотної будівлі з температурою повітря від плюс 10 до плюс 15°C, що знаходиться нижче зони виробництва робіт Витримування бетону і догляд за конструкціями каркаса споруди в даній зоні полягав у створенні навколо всіх конструкцій одного поверху єдиного вологотеплозахисного контуру з позитивною температурою, необхідній для набору бетоном проектної міцності. Забезпечення необхідного температурного режиму в зоні витримування конструкцій здійснювалося за допомогою влаштування міжповерхових штор або спеціальної самопідйомної опалубки і калориферів.

Після установки опалубки для бетонування вишележащего перекривання тия і пристрої влаготеплозахисного контуру з температурою повітря від +10 до

+15 °C з поверхні конструкцій колон, стін і перекриттів знімалося вологотеплозахисне покриття.

Щоб уникнути появи усадочних тріщин конструкції, що знаходяться в зоні витримування покривалися вологозахисним Матеріалом поліетиленовою плівкою або плівкоутворювальним покриттям (рисунок 3.3).

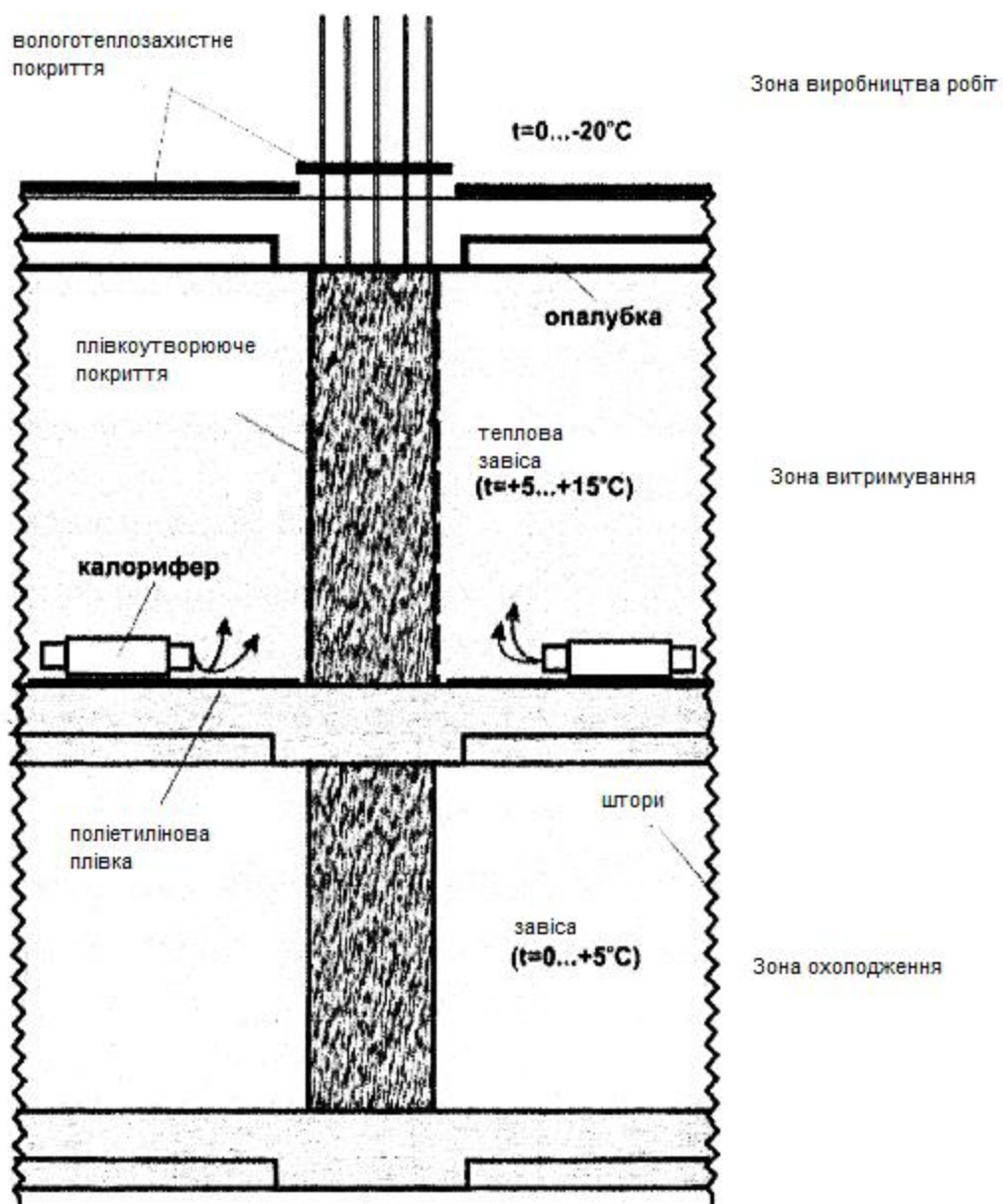


Рисунок 3.3 - Стадія витримування і охолодження конструкцій при виробництві робіт на верхніх поверхах [61]

Догляд за конструкціями в зоні охолодження. Зона охолодження конструкцій являє собою один поверх висотного будівлі з температурою повітря від 0 до  $+5^{\circ}\text{C}$ , що знаходиться під зоною витримування.

Витримування бетону і догляд за конструкціями каркаса споруди в даній зоні полягав у забезпеченні поступового зниження температури бетону у всіх конструкціях. Забезпечення необхідного температурного режиму в зоні охолодження конструкцій здійснювалося за допомогою влаштування міжповерхових штор.

При переході конструкцій каркасу із зони витримування в зону охолодження з їх поверхні знімалася поліетиленова плівка. Зниження температури повітря в зоні охолодження до  $+5 \dots 0^{\circ}\text{C}$  дозволяло плавно без температурних перепадів підготувати каркас споруди до переходу в зону готових конструкцій з нерегульованою негативною температурою.

При цьому температура поверхневого шару бетону не перевищувала найбільш низьку добову температуру повітря більш ніж на  $20^{\circ}\text{C}$ . Час знаходження конструкцій в зоні охолодження орієнтовно становив 7 ... 14 днів [20,66].

Контроль за витримуванням конструкцій. Контроль температури повітря і обігрівання бетону здійснювався в період підйому - через кожні 2:00, а в період витримування й остигання - 3 рази на зміну. Результати вимірювань записувалися в температурних аркушах для кожної конструкції (захватки) окремо.

Значення розпалубочної і проміжної міцності бетону в конструкціях стін, колон і перекриттів орієнтовно визначалися за температурно-режимному параметру витримування бетону і підтверджувалися комплексом неруйнівних методів контролю.

Значення міцності бетону у проектному віці в конструкціях стін, колон і перекриттів висотних будівель визначалося комплексом руйнують і неруйнівних методів контролю [61, 64]. Таким чином, розроблена технологія зведення та догляду за конструкціями з високоміцних бетонів в зимовий період,

що дозволяє зберегти високі темпи будівництва, забезпечити проектну міцність бетону і термічну тріщиностійкість конструкцій висотних будівель.

### **3.2.1 Довговічність залізобетонних конструкцій з бетонів на основі комплексних органомінеральних модифікаторів.**

У процесі експлуатації залізобетонні конструкції піддаються різним впливам з боку навколишнього середовища. Тому одним з найважливіших вимог, що пред'являються до залізобетонних конструкцій, є їх довговічність. Довговічність характеризується терміном служби конструкції і може побічно оцінюватися за такими показниками бетону, як проникність, морозостійкість і корозійна стійкість.

Всі ці характеристики залежать від структури цементного каменю (фазового складу і пористості), так як пов'язані з проникненням в тіло бетону рідин або газів, які можуть хімічно взаємодіяти з продуктами гідратації або під дією зовнішніх факторів призводити до зниження фізикотехнічних характеристик бетонів.

Використання комплексних органомінеральних модифікаторів, що змінюють фазовий склад і порового структуру цементного каменю, сприяє підвищенню довговічності цементних систем. Фазовий склад цементного каменю з комплексним органомінеральною модифікатором відрізняється зниженим вмістом найбільш реакційноздатного компонента  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , внаслідок чого зменшується здатність цементного каменю вступати в хімічну взаємодію з агресивним середовищем. Зменшення капілярної пористості цементного каменю знижує його непроникність для рідин і газів, що зумовлює меншу швидкість проникнення агресивних середовищ вглиб бетону і уповільнює розвиток процесів його руйнування.

Слід зазначити, що вплив комплексних органо модифікаторів на довговічність бетону може прогнозуватися за аналогією з бетоном, містить

комплекс мінеральних і органічних добавок: мікрокремнезем, зола-виношення і суперпластифікатор [49].

### **3.2.2 Проникність і корозійна стійкість бетонів з комплексними органоминеральної модифікаторами**

Як було зазначено вище, два основних параметри, що визначають довговічність бетону - проникність і корозійна стійкість, взаємопов'язані один з одним і крім реакційної здатності цементного каменю до агресивних речовин, характеризуються тими ж показниками проникності. При наявності зовнішнього тиску - маркою бетону по водонепроникності або коефіцієнтом фільтрації, а за відсутності тиску - коефіцієнтом дифузії.

При цьому проникність бетону є провідним чинником, оскільки може змінюватися в межах декількох порядків величин, тоді як реакційна здатність, як правило, не змінюється більш ніж у 2 рази [120].

Вивченню проникності і різних аспектів корозійної стійкості бетонів з комплексом мінеральних (мікрокремнезем і зола-виношення) і органічних (суперпластифікатор) добавок, а також з комплексними органоминеральної модифікаторами присвячена велика кількість, як вітчизняних, так і зарубіжних робіт [73,77,79]. Найбільш повно ці питання висвітлені в монографії Н.К. Розенталя, в якій з позиції сучасних уявлень про поверхневі явища і кінетиці гетерогенних хімічних процесів, розглянута корозійна стійкість різних цементних систем (звичайних, високоміцних і реакційно порошкових бетонів) з комплексними органоминеральної модифікаторами в рідких сульфатно, хлоридних і кислих середовищах. Показано, що в високоміцних цементних системах з МБ, що мають марку по водонепроникності більш W12, вплив фільтраційних і капілярних процесів практично зникає і основним механізмом переносу речовини в бетоні стає дифузійний процес.

### **3.3 Економічний аспект застосування комплексних органомінеральних модифікаторів**

#### **3.3.1 Техніко-економічна ефективність використання суперпластифікаторів**

Накопичений досвід впровадження СП на заводах і будівельних майданчиках країни виявив основні критерії економічної ефективності використання модифікованих бетонів:

- зниження трудомісткості виробництва і вивільнення частини робітників; підвищення якості продукції, у тому числі довговічності;
- зниження собівартості;
- збільшення випуску продукції;
- економія палива та електроенергії;
- зменшення металоємності обладнання;
- економія металу;
- економія цементу.

Для досягнення перерахованих показників використовуються різні техніко- технологічні прийоми використання СП [48].

Підвищення рухливості бетонної суміші знижує витрати на формування, зокрема на укладку і розрівнювання бетонної суміші, її ущільнення. При використанні ВМК і суперпластифікатора «Хімком Ф-1» витрата електроенергії зменшується в середньому на 2,5 кВт-ч/м<sup>3</sup> бетону (на приготування, укладання і вібрування), трудовитрати зменшуються на 0,1 люд.-год/м<sup>3</sup> для виробів, формованих з жорстких бетонних сумішей, і на 0,6... 1 люд.-год/м<sup>3</sup> для технологічно нескладних виробів, формованих з пластичних бетонних сумішей. При виготовленні технологічно складних виробів з великою насиченістю арматурою і слабкою механізацією формувальних робіт застосування бетонних сумішей підвищеної пластичності скорочує трудовитрати в кілька разів порівняно з наведеними значеннями [50,51,52].

При введенні в бетон ВМК і суперпластифікатора «Хімком Ф-1» зменшуються витрати на ремонт формувального обладнання і форм внаслідок зменшення тривалості вібрування. Розмір економії залежить від прийнятої технології виробництва і ступеня підвищення легкоукладальності бетонної суміші [53].

У результаті зниження рівня вібрації і її повного усунення, а також спрощення технології укладання і ущільнення бетонної суміші в опалубці, значно поліпшуються умови праці, відпадає необхідність у виконанні ручних операцій - розрівнювання суміші за формою, роботи з переносними вібраторами, додаткова обробка і ремонт поверхні виробів і т.д. Зниження рівня вібрації і шуму, що створюють небезпеку для здоров'я працівників, підвищує соціальну привабливість професії бетонщиків (формувальників), знижує плинність кадрів, що побічно відбивається на підвищенні кваліфікації робітників і якості монолітних конструкцій [54].

Дозування сировинних компонентів. Дозування сировинних матеріалів є одним з найбільш важливих технологічних переділів при виробництві бетону. На сучасних бетонозмішувальних вузлах в якості дозуючого обладнання зазвичай застосовують вагові дозатори. При цьому похибка таких дозаторів становить до 2%. Від того наскільки точно можливо дозувати матеріали на даному конкретному обладнанні залежить точність необхідних розрахунків складу бетону. Зазвичай витрата цементу приймається з похибкою до 5 кг, заповнювачів - до 10кг, а води - до 2 кг.

Приготування бетонної суміші. Найбільш важливу роль у процесі приготування бетонної суміші грає процес перемішування сировинних компонентів. Під час перемішування всі компоненти рівномірно розподіляються по об'єму бетонної суміші, відбувається змочування зерен цементу, піску і наповнювачів водою з розчиненими в ній добавками, в результаті чого виходить однорідна сировинна маса з однаковими властивостями по всьому об'єму.

Догляд за бетоном в період набору міцності. Для того щоб бетон мав можливість набрати проектну міцність до призначеного терміну, необхідно здійснювати правильний догляд за ним: підтримувати достатню вологість, оберігати від ударів і пошкоджень, а також від різких стрибків температури.

Відсутність належного догляду в результаті може привезти до появи дефектів, а іноді й до руйнування бетонної конструкції, незважаючи на те, що були використані якісні сировинні матеріали і правильно підібраний склад бетону. Особливо важливий догляд за бетоном в початкові строки його твердіння [55,56].

Сприятливі температурно-вологісні умови для твердіння бетону можуть забезпечуватися шляхом влаштування спеціальних укриттів, захищаючих його від шкідливого впливу навколишнього середовища, а також з допомогою систематичного зволоження. В якості таких укриттів, як правило, застосовують різні рулонні матеріали: полімерні плівки, брезент і т.д. [57]. Відкриті поверхні бетону підтримують у вологому стані шляхом систематичного поливу в суху погоду до досягнення бетоном 50-70% проектної міцності. У зимових умовах для нормального твердіння бетону необхідно використовувати прогрів, а також здійснювати догляд за бетоном згідно будівельних норм.

## ВИСНОВКИ

На підставі проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновки, що питання отримання високоміцного бетону, придатного для висотного будівництва, стоїть досить гостро. Дослідження, проведені до теперішнього часу, в області спільного використання в бетоні мікронаповнювачів і добавок, досить розрізнені і не мають систематичного характеру. Вітчизняні розробки в цілях модифікації структури таких бетонів поки, не отримали достатнього розповсюдження, а зарубіжні аналоги мають занадто високу вартість.

Тому існує необхідність шляхом використання сировинних компонентів, переважно вітчизняного виробництва, отримати високоефективний бетон, призначений для будівництва висотних монолітних будівель та споруд.

У розвитку технології бетону вирішальну роль відіграли сформовані в результаті численних досліджень і підтверджені практикою наукові основи модифікування бетонів добавками-модифікаторами цементних систем.

Грунтуючись на результатах проведених досліджень був аналітично підібран оптимальний склад для високоміцного бетону, що використовується для висотного монолітного будівництва. Також підібрані необхідні добавки та приведені економічні аспекти застосування модифікаторів.

В результаті проведених досліджень розроблений склад бетону призначеного для висотних монолітних будівель, та володіє високими експлуатаційними показниками. Було аналітично підтверджено поліпшення його фізико-механічних характеристик за рахунок застосування модифікуючих добавок, що складається з суперпластифікатора «Хітком Ф-1» та ВМК, що представляє собою сульфований продукт альдольної конденсації формальдегіду.

Поєднання СП, пластифікуючого цементну систему по електростатичному механізму, і комплексу, що впливає на систему, надає композиції підвищену ефективність. Це проявляється в зниженій витраті СП

порівняно з цементними системами аналогічної консистенції, приготованими з роздільним введенням всіх інгредієнтів модифікатора, а також у тривалому збереженні початкової консистенції бетонних сумішей у порівнянні з такими ж аналогами .

Завдяки цим властивостям комплексні органо-мінеральні модифікатори представляються одним з ефективних засобів успішної реалізації концепції бетонів з високими експлуатаційними властивостями.

Вибір «Хітком Ф-1» в якості суперпластифікатора обумовлений тим, що на підставі огляду результатів експериментальних досліджень його впливу на технологічні властивості бетонних сумішей та експлуатаційні показники бетонів на їх основі, опублікованих у науково-технічній літературі, був зроблений висновок, що застосування цієї пластифікуючої добавки дозволить отримати міцний і довговічний бетон, що володіє високою морозостійкістю і водонепроникністю, із високорухливої бетонної суміші, що характеризується високою однорідністю, нерозшарованістю і необхідної збереженістю рухливості, а також практично не вимагає віброуцільнення .

З результатів експериментальних досліджень, випливає, що з метою зменшення витрати цементу, а також для ущільнення структури бетону ефективним є введення в бетонну суміш високоактивного метакаолін, в якості тонкодисперсної мінеральної добавки. Причому, його кількість не повинна перевищувати 15% від маси цементу, так як він містить активний діоксид кремнію і оксид алюмінію приблизно в однакових кількостях, і, з цієї причини, сильніше ніж мікрокремнезем, пов'язує вільний гідроксид кальцію, що призводить до зниження лужності середовища в бетоні і може викликати корозію сталевий арматури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеев Б. В. Технология производства цемента: Учебник для сред, проф.-техн. училищ. — М.: Высш, школа, 1980.— 266 с.
2. Анпилов С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона / Анпилов С. М. - М.: АСВ, 2010. - 592 с.
3. Бабушкин В. И. Роль коллоидно-химических и осмотических явлений в процессах структурообразования, формирования свойств и обеспечения стойко-сти цементных систем / В. И. Бабушкин, В. И. Кондращенко // Бетон и железобе-тон в Украине. - 2007. - № 3. - С. 22-25.
4. Бабушкин В. И. Роль коллоидно-химических и осмотических явлений в процессах структурообразования, формирования свойств и обеспечения стойко-сти цементных систем / В. И. Бабушкин, В. И. Кондращенко // Бетон и железобе-тон в Украине. - 2007. - № 3. - С. 22-25.
5. Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч, изд-е] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. - М.: Изд-во АСВ, 2006. - 368 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. Изд-во АСВ, 2002 - 500 стр
7. Баженов Ю.М., Магдеев У.Х., Алимов Л.А., Воронин В.В., Гольденберг Л.Б. Мелкозернистый бетон. - М., 1998,148с.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.:Технопроект, 1998. 560 с.
9. Беззубко Л.В. Розвиток підприємництва в будівництві І Л.В. Беззубко И Будівництво України . - 2008. - №2. - С. 4 - 7.
10. Бетехтин, В.И. А.Н.Бахтибаев, Е.А.Егоров Е.А. Концентрация микропор в цементном камне и их распределение по размерам. // Цемент, 1989, № 10, с.8-10.
- И.Бетехтин, В.И. А.Г.Казанцев, О.В. Амосова. Микроскопическое исследование пор в цементном камне. И Цемент, 9-10, 2002, с.36-38.

12. Венюа М. Цементы в строительстве. Пер. с фр. под ред. Б.А. Крылова. - М.: Стройиздат, 1980, 415с.
13. Волков, Ю. С. Зарубіжний досвід будівництва монолітних будівель 11 Будівельний експерт. - 2003. - № 14.
14. Головнев, С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С.Г. Головнев. - Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1999. - 156 с.
15. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000). Суміші бетонні. Методи випробувань. Україна 2000 р.
16. ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. Мінрегіонбуд України, Київ, 2009. - 102с.
17. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Мінрегіонбуд України, Київ, 2011. - 71с.
18. Енциклопедія Сучасної України / [редкол. І. М. Дзюба та ін.]. - К. 2001 - Т. 3 Біо - Бя. - 2004. - 696 с.
19. Енциклопедія Українознавства: - Перевидання в Україні. - К. : Глобус, 1993 - Репринтне відтворення вид. 1955 - 1984 років. Т. Г. А - Г. - 1993. - 399 с.
20. Зимнее бетонирование с электроразогревом смеси [Текст] / А. С. Арбенев. - М. : Стройиздат, 1970. - 103 с.: ил.
21. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. - М.: Палеотип, 2006. - 244 с.
22. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов. И Бетон и железобетон, 1995, № 4, с. 16-20.
23. Каприелов С.С., А.В.Шейнфельд, Ю.Р.Кривобородов. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона. И Бетон и железобетон, № 7, 1992, с.4-7.

24. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны в монолитных конструкциях. // Строительные материалы, № 3, 2008, с.9-13

25. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01// Бетон и железобетон,- №5,- 1997.- стр. 38-41.

26. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Бетоны нового поколения повышенной коррозионной стойкости // Материалы международной конференции «Долговечность и защита конструкций от коррозии»,- 25- 27 мая 1999 г.- стр. 191-196

27. Комохов П. Г. Научно-техническая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 1) / П. Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2002. - № 4. - С. 36- 37.

28. Косухин М. М. Теоретические аспекты механизма действия суперпластификаторов / М. М. Косухин, Н. А. Шаповалов // Бетон и железобетон. - 2006. - №3. - С. 25-27.

29. Концепція одержання низькоенергомістких цементів / Марків Т.Є., Марущак У.Д., Саницький М.А., Соболев Х.С., Новицький Ю.Л. // Вісник Національного ун-ту "Львівська політехніка". - Вин. 665. - 2009. - С. 170-178.

30. Лотов В. А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий / В. А. Лотов // Строительные материалы - Наука. - 2006. - № 8. - С. 5-7.

31. Лукутцова Н.П. Наномодифицирующие добавки в бетон // Строительные материалы. 2010. № 9.

32. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чудакова О.А. Модифицирование мелкозернистого бетона микро- и наноразмерными частицами шунгита и диоксида титана // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 67—70.

33. Марковський, М. Ф. Висотне домобудівництво. Без права на помилку // Архітектура і будівництво. - 2007. - № 1. - С. 44-47.

34. Марковський, М. Ф. та ін Технології бездефектного зведення монолітних залізобетонних конструкцій з товарного бетону / / Матеріали 1-ї міжнародної науково-практичної конференції "Товарний бетон. Нові можливості в будівельних технологіях". - Харків, 2008.

35-Матвійчик О. Будівельна індустрія України / О. Матвійчик, Н. Струк - К.: Світ успіху, 2007. - 195 с.

36. Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В., Купричнов В.Н., Орендлихер Л.П., Рахимов р.з., Сахаров Г.П., Хрулев В.М. Строительные материалы. -М.: АСВ, 1996-488с.

37. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. Изд. 3-е, переработанное и доп. М., Стройиздат, 1975. 700 стр.

38. Михайлов К.В., Бердичевский Г.И., Петров А.И., Костюковский М.Г. К вопросу об основных технико-экономических показателях железобетонных и металлических конструкций одноэтажных производственных зданий И Бетон и железобетон. - 1980. - № 7. - С.20- 22.

39. Молодин, В.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях : монография / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев ; науч. ред. д. т. н., проф. Ю.А. Попов ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; ООО «Евросити». - Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. - 300 с

40. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин [и др.]. И Строительные материалы. - 2003. - № 10. - 376 с.

41. Подвальный, А.М. Физико-химическая механика - основа научных предста<sup>дт</sup>^о коррозии бетона и железобетона /А.М. Подвальный //

Бетон и железобетон. - №5. - 2000. - С.23-27. Пищеленко Ю.А. Управление качеством строительства / Ю.А. Пищеленко, Л.И. Покрасс. - К.: Вища школа, 1985. - 120 с.

42. Подвальный А.М. Элементы теории стойкости бетона и железобетонных изделий при физических воздействиях среды. Дис. . д.т.н., -М., 1986, 414с.
43. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: справочное пособие. Стройиздат. 1988. 575 с.
44. Ратинов В.Б., Розенберг Т.П. Добавки в бетон. 2-е изд., перераб. и доп. - М.:Стройиздат, 1989. - 188 с.
45. РоякС.М., Рояк Г.С. Специальные цементы. -М.: Стройиздат, 1983, 279с
46. Смеси растворные и растворы строительные: Приготовление и применение П1-03 к СНиП 3.04.01-87 / П. И. Юхневский, М. Ф. Марковский, Е. А. Урецкая, Е. Т. Акимович. - Мн., 2003. ~ 39 с.
47. Смирнов Н.В., Антонов Е.А., Дмитриев А.И. и др. Перспективы применения бетонов с высокими эксплуатационными свойствами в отечественном транспортном строительстве// Транспортное строительство.- №12.-1998.- стр. 16-18.
48. Спосіб активації в'язучої системи: пат. 37979 Україна: МПК: C04B 40/00, B28C 5/38/ Руденко Наталія Миколаївна, Пшінько Олександр Миколайович, Пунагін Володимир Миколайович, Герасименко Володимир Олександрович; опубліковано: 15.05.2001
49. Теличенко, В. та ін Технологічні особливості зведення висотних будівель /1 Висотне будівництво. - 2008. - № 2.
50. ТКП 45-1.03-109-2008 "Висотні будівлі з монолітного залізобетону. Правила зведення".
51. Тур, В., Марковський, М., Щербачов, А. Нове в будівництві висотних будівель із залізобетону // Архітектура і будівництво. - 2008. - № 2. - С. 72-81.
52. Українська радянська енциклопедія : [у 16 т.]. - К., 1960 -.[голов, ред. колегія: М. П. Бажан (голов, ред.) [та інші] / [акад, наук УРСР - голов, ред.

Укр. радянської енциклопедії, 1960. - 27 см. Т. 2. Богуслав - Волочиськ], 1960. - 575 с.

53. Физические методы исследования материалов I Шубин А. А., Высоцкий Ю. Б., Погребняк В. Г., Горбань О. А. - Донецк: ДонГУЭТ, 2004. - 240 с.

54. Хаютин Ю. Г. Монолитный бетон (технология производства работ).— М.: Стройиздат, 1981.— 448 с.

55. Химические добавки для модификации бетона : монография / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. - М. : Казанский Государственный архитектурно-строительный университет : Издательство «Палеотип», 2006. - 244 с.

56. Черкинский Ю.С. Полимерцементный бетон. - М.: Стройиздат, 1984.- 213с.

57. Шалинцев, А.Б. Исследование механизма действия химических реагентов на цементные растворы / А.Б. Шалинцев, Н.К. Стрижев И Журнал приклад-ной химии. - №1. - 1979. - С.111.

58. Шейкин, А.Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона / А.Е.

59. Шейкин // Труды МИИТ, Строительная механика и мосты, выпуск 69. - 1946. - С.66-69.

60. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. - Москва: Стройиздат, 1979. - 344с.

61. Шейнфельд, А.В. Особенности возведения и выдерживания конструкций высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60-В100 в зимний период / А.В. Шейнфельд, А.В. Тарычев, С.С. Каприёлов// Высотные здания. - № 3. - 2013. - С. 104-109.

62. Шейнфельд, А.В. Органоминеральные модификаторы как фактор, повышающий долговечность железобетонных конструкций / А.В. Шейнфельд // Бе-тон и железобетон. - № 3. - 2014. - С. 16-21.

63. Biczok, L, Concrete corrosion — concrete protection. 8th Ed. Akadamiai Kiado, Budapest, pp 545 (1972).

64. Biczok, L, Concrete corrosion — concrete protection. 8th Ed. Akademiai Kiado, Budapest, pp 545 (1972).
65. Diamond, S., Chemical Reactions other than carbonate reactions. Chapter 40, Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. ASTM Special Tech. Publ. 169B: Pp. 708— 721 (1978).
66. Collepardi, M., Corradi, M. and Valente, M., Influence of Polymerization of Sulfonated Naphthalene Condensate and its Interaction with Cement. Amer. Concr. Inst. SP-68,485—498 (1981).
67. Falikman V.R. New high performance polycarboxilate superplasticizers based on derivative copolymers of maleinic acid // 6th International Congress “GLOBAL CONSTRUCTION” Advances in Admixture Technology. Dundee. 2005. Pp. 41—46
68. Foster, D. E., Admixtures for concrete, Journal of American Concrete Institute, 60—64; 1481—524,1963.
69. Kennedy H. L., Portland Cement-Effects of Catalysts and Dispersions, Industrial and Engineering Chemistry, Am. Chem. Soc. 28: 963—69, (1936).
70. Matsukawa K., Diamond S. Quantitative study of admixture pore solution interaction. Proc, of the international RIZEM Symposium.
71. Mehta, P. K. Effect of chemical additions on the alkali-silica expansion. Proc. 4th Cong, on Effects of Alkalis in Cement and Concrete. Purdue Univ., USA: Pp. 229—234 (1979).
72. Ramachandram, V. S. and Feldman, R. F., Adsorption of calcium lignosulphonate on tricalcium aluminate and its hydrates in a non-aqueous medium, Cement Technology 2(4): 121—29, (1971).
73. Rixom, M. R., Chemical Admixtures for Concrete, London: E. & F. N. Spon Ltd.; New York: John Wiley & Sons, Inc. (1978).
74. Shah S.P. Development of "Green" cement for sustainable concrete using cement kiln dust and fly ash // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20-21 May 2004: Proc. - Beijing (China), 2004. - P. 15-24.].
75. Sobolev K. Mechano-chemical modification of cement with high volumes

of blast furnace slag / K. Sobolev // Cem. Concr. Comp. - 2005. - Vol. 27, No 7-8. - P. 848-853

76. S.A comparison of the fluidity of spherical cement with that of broad cement and a study of the properties of fresh concrete using spherical cement / I. Tanaka, N. Suzuki, Y. Ono, M. Koishi // Cem. Concr. Res. - 1999.-Vol. 29, No 4.-P. 553-560

77. Siliceous by-products for use in concrete // Final Report.73-SBC RILEM Committee. Materials and Structures: V.21, N 121. - 1988. - P.69-80.

78. 203. Sybertz, F. Effect of Fly Ash Fineness on Hydration Characteristics and Strength Development / F. Sybertz, U. Wiens // The International Conference Blended

79. Cements in Construction: Proceedings, Elsevier Applied Science - Sheffield, UK, 1991.-P.152-166.

80. Sychev, M.M. Regularities of binding property manifestation / M.M. Sychev // Sixth International Congress on the Chemistry of Cement: Proceeding, Vol. II, Book 1. - Moscow, 1974. - P.42-57.

81. Takemoto, R. Effect of fly ash fineness on hydration characteristics and strength development / R. Takemoto, U. Wiens // The international conference Blended cements in construction: Proceedings, Elsevier applied science. - Sheffield, UK, 1991. - P.152-166.

82. Taylor, H. Proposed Structure for C-S-H Gel / H. Taylor // J. Amer. Ceramic Soc. - V.69,6. - 1986. - P.464-467.

83. 207. Uchikawa, H. Influence of Characteristics of Sulfonic Acid-Based Admixture on Interactive Force Between Cement Particles and Fluidity of Cement Paste / H. Uchikawa, Sh. Hanehara // Fifth CANMET/ACI Int. Conference: Proceedings. - Rome, Italy, 1997. - SP173-2.

85. Yogendran, Y. Silica fume in high-strength concrete / Y. Yogendran, B.W. Lan-gan, B.W. Haque, M.A. Ward // ASI National Journal. - USA. - March- April. - 1987. - P. 124-129.