



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)  
«    »                      20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр-науковець  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Іщуку Ігору Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження впливу морозостійких добавок на будівельно-технічні характеристики бетону»

Керівник роботи Каспрук Володимир Богданович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Існуючі результати досліджень морозостійких модифікаторів бетону.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний огляд за темою роботи; 2. Методика дослідження впливу морозостійких добавок на будівельно-технічні властивості бетону.

3. Дослідження впливу морозостійких модифікаторів бетону на фізико-механічні властивості бетону та аналіз результатів;

4. Обґрунтування економічної ефективності досліджень;

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Каспрук В.Б., к.т.н., доцент		
Організаційно-економічна частина	Мельник Л.М., <b>к.е.н., ст. викладач</b>		
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст. викладач		
Нормконтроль	Данильченко С.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Розділ 1. Особливості роботи морозостійких модифікаторів		
2	Розділ 2. Сучасні методики дослідження бетонів на фізико-механічні властивості		
3	Розділ 3. Показники фізико-механічних властивостей модифікованих бетонів, отримані лабораторними дослідженнями		
4	Розділ 4. Обґрунтування економічної ефективності		
5	Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Іщук І.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Каспрук В.Б.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b><u>Розділ 1. ВПЛИВ СИНТЕТИЧНИХ РЕЧОВИН НА ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ</u></b>	
1.1 Загальні положення.....	7
1.2 Причини зниження морозостійкості бетону.....	9
1.3 Підвищення морозостійкості бетону.....	11
1.4 Властивості добавок-модифікаторів.....	13
1.5 Принципи дії проти морозних добавок.....	18
<b><u>Розділ 2. ВПЛИВ МОРОЗОСТІЙКИХ ДОБАВОК НА БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ</u></b>	
2.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність .....	21
2.2 Виготовлення зразків бетону (бетонних кубиків 100x100x100мм) .....	24
2.3 Випробування зразків бетону на морозостійкість.....	26
2.4 Випробування на міцність гідравлічним пресом.....	29
2.5 Дослідження пористості бетону.....	31
<b><u>Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ БЕТОНУ</u></b>	
3.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність.....	33
3.2 Випробування на міцність гідравлічним пресом.....	35
3.3 Випробування на морозостійкість.....	38
3.4 Результати досліджень пористості.....	40
<b><u>Розділ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ</u></b>	
4.1 Економічна ефективність добавок-модифікаторів.....	42
<b><u>Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</u></b>	
5.1.1 Закон України "Про охорону праці".....	44
5.1.2 Заходи безпеки при роботі з добавками.....	45
5.1.3. Мікроклімат робочої зони.....	46
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	47
5.2.1 Організація цивільного захисту на промислових об'єктах будівельної галуз.....	47
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>50</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ .....</b>	<b>51</b>

## ВСТУП

У сучасних умовах, незважаючи на розробку і впровадження нових ефективних будівельних матеріалів і конструкцій, цементний бетон як і раніше займає основні положення у виробництві бетонних конструкцій для будівель і споруд різного функціонального призначення. З кожним роком все більше спостерігається тенденція до збільшення темпів зростання капітального будівництва нових будинків і споруд та реконструкції зведених раніше, а, отже, потреба в конструкціях, виготовлених з цементних бетонів, буде постійно зростати.

Бетон в сучасному будівництві є основним матеріалом, без застосування якого не зводиться практично жодна будівля і споруда. За останніми прогнозами, бетон залишиться основним будівельним матеріалом в наступному столітті.

У зв'язку зі сформованими економічними умовами, вимоги до темпів виробництва будівельних робіт зросли, і зупиняти будівництво на кілька зимових місяців у році просто недоцільно. Тому в даний час велика кількість будівельних робіт ведеться в холодну пору року, що триває від 3 до 8 місяців в році.

Виробництво будівельних робіт у зимових умовах завжди вимагає додаткових витрат коштів і праці, так як при сильних морозах зростають втрати тепла не тільки при транспортуванні бетону з бетонних заводів, але і втрати тепла, що витрачається на нагрівання опалубки і арматури.

Особливо в останні роки підвищились вимоги до зниження собівартості бетону, підвищенню його якості і якості залізобетонних конструкцій які зводяться, а також з'явилося багато конструкцій, які забезпечують тверднення бетону в холодну пору року і це представляє собою досить нелегке завдання.

Аналіз зведення монолітних залізобетонних конструкцій при негативних температурах показує, що основна частина подорожчання будівництва припадає на додаткові витрати, пов'язані з витримуванням бетону до досягнення їм необхідної критичної або проектної міцності.

Практика експлуатації бетонних конструкцій житлових, цивільних і промислових будівель, резервуарів, бункерів, силосів показала, що спостерігається швидке руйнування конструкцій через велике число різних пошкоджень, які виводять конструкцію з ладу раніше розрахункового терміну експлуатації або зменшують ефективність її роботи. Однією з найважливіших причин появи великого числа пошкоджень бетонних конструкцій є морозна деструкція.

Якщо врахувати, що Північна будівельно-кліматична зона, що характеризується суворістю клімату, займає близько 60% території Євразійського та Американського континентів, то морозостійкість бетонів є одним з основних факторів, що забезпечують високу довговічність і працездатність цих конструкцій.

Огороджувальні конструкції житлових, цивільних і промислових будівель, резервуарів, бункерів, силосів систематично піддаються спільного впливу вологи (атмосферні опади, технологічні середовища) та знакозмінних температур. При цьому не завжди вдається конструктивними заходами забезпечити нормативну довговічність конструкцій. Досить часто можна спостерігати як при комплексному впливі води і знакозмінних температур огороджувальні конструкції руйнуються. Руйнування відбувається пошарово і цей процес можна прогнозувати, а, отже, можна визначити міжремонтні строки для відновлення зруйнованого шару.

Однак досі задача прогнозування (розрахунку) терміну служби огороджувальних конструкцій при спільній дії води і знакозмінних температур не ставилася і не вирішувалася і досі немає моделей, що дозволяють прогнозувати поведінку огороджувальних конструкцій у цих умовах експлуатації.

Тому проблема прогнозування і підвищення довговічності огороджувальних конструкцій при спільній дії води і знакозмінних температур є актуальною і вимагає негайного вирішення.

# Розділ 1. Огляд літературних джерел

## Вплив синтетичних речовин на властивості бетону

### 1.1 Загальні положення

Розвиток будівельної індустрії протягом останнього десятиліття здійснюється під знаком зростаючих вимог по раціональному та ефективному використанню сировинних і енергетичних ресурсів. Це стосується розвитку всіх галузей промисловості будівельних матеріалів і, насамперед - виготовлення збірних і монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій.

Практичне вирішення проблеми ефективного використання сировинних і енергетичних ресурсів у виробництві сухих і готових розчинних і бетонних сумішей, бетону і залізобетону - як збірного, так і монолітного - повною мірою можливе лише при широкому та всебічному використанні добавок-модифікаторів. За прогнозами фахівців частка бетонів з добавками в нашій країні в найближчі роки повинна зрости до 50% і більше. При цьому головний наголос, буде зроблений на виробництво та застосування пластифікаторів, комплексних добавок різного призначення, супер пластифікаторів та проти морозних добавок.

Сучасний модифікований бетон, з огляду на сукупність ідей закладених в його структурі, можливо по праву назвати «філософським каменем» будівельної науки, при цьому квінтесенцією цих ідей є добавки - модифікатори. Використання добавок-модифікаторів дозволяє свідомо управляти процесами структуроутворення та створювати бетони із заданою функціональністю. Такі штучні композити мають високу міцність (більше 100 МПа), морозостійкість (F400 і вище), водонепроникність (W12 і вище), високу біо- та хімічну стійкість. Прогнозований термін служби таких бетонів досягає 500 років.

Добавки - модифікатори, як один з найпростіших і доступних технологічних прийомів удосконалювання властивостей бетону, дозволяють істотно знизити рівень витрат на одиницю продукції, підвищити якість і ефективність великої номенклатури бетонних і залізобетонних конструкцій,

збільшити термін служби як конструкцій, так будинків і споруд у цілому. Тому застосуванню хімічних добавок у технології бетону в світовій практиці приділяється величезна увага.

Проблемою розробки та пошуком нових видів ефективних добавок вже більше півсторіччя займаються десятки науково-дослідних груп у різних країнах, результатом цього пошуку тільки наприкінці 70 років минулого сторіччя було більше 550 патентів на нові добавки, при цьому більше 80% з цих патентів належало чотирьом країнам – Японії, СРСР, ФРН і США.

Незважаючи на появу нових будівельних матеріалів, досі бетон, а також залізобетон активно використовуються в будівництві. Особливо розвинене зараз монолітне житлове будівництво, а бетон при цьому вважається основним конструкційним матеріалом. Його перевагою є універсальність, так як йому можна надати практично будь-яку форму і змінювати його властивості в широких межах.

Дослідження конструкцій з бетону і залізобетону показали, що бетон близько 70-80% від всіх споруд, покриттів і несучих конструкцій схильний морозної деструкції, а також впливу агресивних сольових розчинів і реагентів. Саме з цих чинників споруди з бетону, що працюють в умовах високої вологості і негативних температур, руйнуються ще до закінчення терміну їх експлуатації.

В наш час бетон використовується при будівництві транспортних об'єктів, гідроспоруд, мостів, створення несучих опор і балок, а допускати ризик їх руйнування не можна. Тому, проблема застосування бетону, стійкого до знакозмінних температур і сольовому впливу, є актуальною на даний момент.

Морозостійкість бетону характеризується найбільшим числом циклів поперемінного заморожування і відтавання, які здатні витримувати зразки 28-добового віку без зниження межі міцності при стисненні більш ніж на 25 % і без втрати в масі більше 5 %. Готуються стандартні зразки витримуються до повного насичення водою, а після цього зразки заморожують при температурі -15 - 17°, а потім відтають у воді з температурою 20°. При цьому контролюють втрату міцності і втрату маси.



Довговічність бетону оцінюють ступенем морозостійкості. За цим показником бетони ділять на марки від F15 до F1500, де число після букви F означає кількість циклів поперемінного заморожування і відтавання (один цикл - одне заморожування і одне відтавання).

## 1.2 Причини зниження морозостійкості бетону

Існує кілька гіпотез, що пояснюють природу внутрішньо структурного тиску і зниження морозостійкості:

1. Вода, що заповнює капілярні пори бетону, зазвичай не в повному своєму кількості перетворюється в лід із-за відсутності необхідного обсягу, а також через неможливість перетворення в лід в капілярах з дуже маленьким радіусом. На решту воду передається тиск утворив льоду. В результаті вода тисне на стінки пор, відбувається поступове руйнування. Цю гіпотезу висунув російський військовий інженер і вчений М. А. Житкевич.

2. Ст. М Москвін, М. М. Капкин, Б. М. Мазур і А. М. Підвальный розвинули гіпотезу про морозному руйнуванні бетону на основі різниці коефіцієнтів лінійного термічного руйнування компонентів бетону. Заповнювачі бетону і сам бетон мають різні коефіцієнти лінійного термічного розширення. А при негативних температурах несумісність складових бетону різко збільшується. Однак такі термічні напруги відіграють важливу роль лише в ненасиченому вологою бетоні. В наш час проводиться безліч випробувань бетону на вплив негативних температур. На основі досліджень було з'ясовано, що при збільшенні швидкості заморожування бетону деструкція бетону відповідно прискорюється, але тиск льоду на стінки пор не збільшується. Даний факт не може пояснити перша згадана вище гіпотеза. Також встановлено, що руйнування бетону при дії мінусових температур можливо і при заповненні водою менш ніж на 90 %, і це не є рідкісним фактом.

3. Зазначені вище факти здатна пояснити більш досконала гіпотеза гідравлічного тиску Т. Пауерса. Згідно гіпотезі, основною причиною руйнування

бетону при періодичних циклів заморожування і відтавання є гідравлічний тиск, що виникає в порах і капілярах бетону під впливом замерзлої води в результаті опору гелевою складової цементного каменю. Також гіпотеза стверджує, що в бетоні є резервні повітряні пори. При великій кількості вологи надлишкова вода витісняється саме в ці пори. При цьому не відбувається порушення структури бетону. Руйнування відбудеться в тому випадку, якщо умовно замкнуті пори заповнюватися водою і не зможуть виконувати функції резервних. Після відтавання частина води залишається в резервних макро порах, заповнюючи їх поступово з кожним циклом заморожування і відтавання. Отже, ця гіпотеза пояснює той факт, що швидкість морозного руйнування бетону збільшується зі збільшенням швидкості заморожування, а також показує важливу роль умовно замкнутих пор, сприяють підвищенню морозостійкості бетону. На основі цього можна зробити певний висновок: морозостійкість бетону залежить від його будови.

### 1.3 Підвищення морозостійкості бетону

Вирішення проблеми підвищення морозостійкості бетону актуально в будівельній галузі останнім часом. Саме це призвело до вивчення, появи наступних способів збільшення циклів заморожування-відтавання: використання природних порід які містять цеоліт (ЦСП). Дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених показали, що довговічність бетону при поперемінному заморожуванні-відтаванні в основному визначається морозостійкістю цементного каменю.

Вчені прийшли до висновку, що одним з успішних способів підвищення морозостійкості цементних композитів є введення в бетонну суміш спеціальних мелених твердих добавок. Однак виготовлення таких добавок не вигідно з економічної точки зору. Тому була запропонована альтернатива вище зазначеним добавкам - мелені природні цеоліт місткі добавки. У ході експериментів і складання графіків було встановлено, що при оптимальній мірі наповнення цементного композиту ЦСП відбувається збільшення міцності (на 15-20 %), однорідності часу (у 1,02-1,1 рази), їх розмірів (у 2-2,7 рази) і частки мікропор (в 1,05-1,11 рази) порівняно з незаповненими композитами. При цьому довговічність конструкцій, виготовлених з наповнених цеоліт місткими породами цементних композитів (при ступені наповнення 20 %), які працюють в умовах впливу вологи і низьких температур, підвищена в 2-3 рази.

Підвищення міцності і однорідності структури бетону можна пояснити орієнтованим впливом зерен наповнювача на продукти гідратації цементу і розміром кластерних структур. Крім того, підвищення фізико-механічних властивостей цементних композитів, наповнених цеолітами, пов'язано з наявністю в цеолітовій фазі активних компонентів кремнезему та глинозему.

Цеоліти, виступаючи в ролі активних мінеральних добавок, інтенсивно зв'язують і утворюють в процесі твердіння портландцементу гідрооксид кальцію і низько основні гідросилікати і гідроалюмінати кальцію. При введенні цеоліту у систему, вільний гідрооксид кальцію буде поглинатися цеолітом. Це призводить

до прискорення структури утворення в системі. Отже, введення природних цеоліт містких порід сприяє збільшенню довговічності, морозостійкості бетону у 2-3 рази. При цьому не вимагається застосування різних видів хімічних модифікаторів бетону (гідрофобізуючі і гідрофілізуючі ПАР, пластифікатори і суперпластифікатори, спеціальні проти морозні, повітря захоплюючі і газоутворюючі домішки), що, безсумнівно, є позитивним фактом, так як хімічний вплив небажано впливає на довговічність транспортних споруд.

Стосовно цементних систем під модифікаторами розуміють речовини, що поліпшують технологічні властивості бетонних (розчинних) сумішей і будівельно-технічні властивості бетонів (розчинів). Добавки таких речовин, що вводяться в незначних кількостях впливають на реологічні властивості незатверділих цементних систем та параметри кристалізації. Вони впливають на морфологію новоутворень (зовнішній вигляд фаз, їх форму, розмір, питому поверхню). Ці добавки змінюють структуру матеріалу за рахунок мікропор та природу поверхні затверділого цементного каменю і, тим самим впливають на властивості цементного каменю і бетону - міцність, пористість, водонепроникність, усадку, тріщиностійкість, міцність зчеплення с заповнювачем.

## 1.4 Властивості добавок-модифікаторів

Основними цілями введення добавок-модифікаторів у цементні системи є:

- зниження в'язкості цементно-водних суспензій для поліпшення технологічних властивостей бетонних сумішей;
- зміна структури цементного каменю і бетону з метою збільшення їх міцності та стійкості до фізичних впливів;
- регулювання швидкості процесів гідратації цементу і тверднення бетонів.

До числа добавок, за допомогою яких можна спрямовано регулювати властивості бетонних сумішей і затверділого бетону, у першу чергу відносяться наступні:

- добавки які пластифікують;
- пластифікувально – повітровтягувальні добавки;
- повітровтягувальні добавки;
- прискорювачі тверднення;
- проти морозні добавки;
- комплексні поліфункціональні добавки.

Серед наведених, найбільше значення мають добавки пластифікуючої групи, які дозволяють істотно - на 20...30% - знизити потребу у воді бетонних сумішей при збереженні необхідної рухомості, що позитивно позначається на основних властивостях затверділого бетону - міцності, щільності, корозійній стійкості.

Протиморозні добавки. За допомогою цих добавок тверднення бетонів і розчинів при зниженій температурі відбувається повільно, оскільки вповільнюється процес гідратації цементу. Вже при температурі – 3–6 °С вода в бетоні замерзає і процеси гідратації в'язучого і тверднення бетону практично зупиняються. При відтаванні, за умови збереження рідкої фази, ці процеси відновлюються і бетон продовжує збільшувати свою міцність. Однак для бетону, замороженого в ранньому віці, після відтавання і наступної витримки характерні розрихлена структура, низька міцність і морозостійкість. Це пояснюється тим,

що свіжо укладений бетон містить багато води, яка при замерзанні розширюється, розпушує цементний камінь і порушує зчеплення заповнювача із цементною матрицею. Тому для забезпечення необхідного набору міцності бетону в зимовий час необхідно створювати такі умови, при яких будуть активно протікати процеси тверднення в'язучого, тобто необхідно забезпечувати наявність рідкої фази.

Це можливо вирішити, наприклад, шляхом витримування забетонованої конструкції при позитивній температурі. Таке витримування можна здійснювати при обігріві бетону в термоактивній опалубці, використанням розігрітих сумішей з наступним укрітням поверхні конструкції теплоізоляційними матеріалами та іншими способами. У тих випадках, коли на будівельному майданчику за технічних або організаційних причин такі способи не можуть бути реалізовані, доцільно в бетон вводити проти морозні добавки - речовини, що знижують температуру замерзання води і сприяють твердненню бетону за від'ємних температур.

Застосування бетонів з проти морозними добавками здійснюється при зведенні монолітних бетонних і залізобетонних споруд, монолітних частин збірно-монолітних конструкцій, замонолічуванні стиків збірних конструкцій, при виготовленні збірних бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій в умовах полігона при сталій середньодобовій температурі зовнішнього повітря і ґрунту не нижче 5 °С і мінімальній добовій температурі нижче 0 °С.

У відповідності з ДСТУ Б В.2.7-171:2008 протиморозні добавки повинні забезпечувати міцність бетону (розчину) основного складу при затвердненні за від'ємної температури протягом 28 діб не нижче 30 % міцності бетону контрольного складу за 28 діб нормального тверднення. При цьому повинна забезпечуватись збереженість за від'ємної температури показника легкоукладальності суміші основного складу – змінення рухомості суміші протягом 15 хв. не більше 15 % початкової величини.

Щодо корозійного впливу добавок на бетон – повинна забезпечуватись відсутність ознак руйнування зразків: розтріскування, викришування ребер,

злуцтування. Вміст повітря в основній суміші повинен бути не вище 2 % за об'ємом ніж в контрольній, якщо немає інших вказівок від виробника. Можливі додаткові ефекти дії добавок – утворення висолів, корозія арматури, підвищення електропровідності бетону, прискорення тужавлення.

В наш час найбільш ефективними і перевіреними у виробничих умовах протиморозними добавками є добавки електроліти: поташ П, НН1, ХК, НК, ННК, ННХК, їх комплекси НК+ХН, НК+М, ННХК+М. Всі перераховані добавки одночасно є і добавками прискорювачами тужавіння та тверднення бетонів і розчинів, однак їх концентрація в «холодних» бетонах значно (в 2-3 рази) перевищує концентрацію, що необхідна для прискорення процесів тверднення бетонів. Крім вищенаведених до протиморозних добавок також відносяться:

- Карбамід (сечовина). Безбарвні кристали  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , добре розчинні у воді.

- Сполука нітрату кальцію із сечовиною.

- Нітрит натрію (НН). Продукт у вигляді кристалів  $\text{NaNO}_2$  білого кольору з жовтуватим відтінком, а також у вигляді водяних розчинів.

- Прискорююча проти морозна добавка УПДМ. Збалансована за компонентним складом рідка суміш з відходів виробництва ацетооцтового ефіру, ацетилацетону і нітрохлорактиніду, взятих у співвідношенні 7:3:1 за об'ємом. Розчин темно-коричневого кольору. Дозування уточнюється дослідним шляхом при температурі зовнішнього повітря від  $0\text{ }^\circ\text{C}$  до  $-25\text{ }^\circ\text{C}$ .

- Форміат натрію технічний (ФНТ). Відхід виробництва, що являє собою порошок або 30-40 % водний розчин натрієвих солей мурашиної та сірчаної кислот. Прозора рідина від солом'яного до темно-коричневого кольору. Рекомендовані дозування 2-6 % за сухою речовиною від маси цементу, добавка вводиться в бетонну суміш з водою замішування.

- Аміачна вода. Продукт ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), що являє собою аміачний газ  $\text{NH}_3$ , розчинений у воді. Економічно раціональною проти морозною добавкою є аміачна вода, тому що в порівнянні з водним розчином поташу і хлориду кальцію має значно менший відсоток об'ємного розширення і тому є найменш

небезпечною відносно можливих деформацій від розширення рідкої фази з утворенням льоду.

Залежно від розрахункової мінімальної температури зовнішнього повітря, призначається певна концентрація розчину аміачної води замішування (табл. 1). На відміну від інших проти морозних добавок, аміачна вода не тільки не викликає корозії арматури, але може служити анодним інгібітором сталі від корозії в залізобетонних конструкціях, що містять хлористі солі. Добавка не погіршує зчеплення арматури з бетоном, не знижує морозостійкості бетону, не викликає висолів і утворення плям на поверхнях конструкцій.

#### Рекомендована концентрація аміачної води

Таблиця 1

Розрахункова температура зовнішнього повітря, °С	Концентрація аміачної води замішування, %
До -10	5
-10...-20	10
-20...-35	15
Нижче -35	20

Аміачна вода дещо сповільнює строки тужавіння цементів, що дозволяє зберігати рухомість бетонної суміші від 4 до 7 год.

Протиморозні добавки допускаються до застосування у важкому і легкому бетонах (класу В10 і вище). Галузь застосування протиморозних добавок у бетонах, досить обмежена; це пояснюється тим, що добавки в процесі витримування бетону можуть мігрувати і збиратись в окремих зонах конструкцій (ребрах, поверхневих шарах та інших частинах) з наступною кристалізацією. Ці процеси інтенсифікуються при багаторазових температурних перепадах, особливо з періодичним переходом в область позитивних температур, що характерно для осінньо- весняних періодів, а також відлиг у зимовий час. Вони



підсилюються зі зменшенням відносної вологості повітря, при збільшенні витрати цементу і протиморозної добавки в бетоні.

Процес кристалізації солей відбувається із збільшенням об'єму, тому їх накопичення в окремих зонах конструкцій може призвести до дефектів і руйнування цих зон. Небезпечними в цьому відношенні є добавки, що містять поташ і нітрат кальцію. Внаслідок активної участі ряду добавок у процесах гідратації цементу, їх оптимальна кількість для тої або іншої негативної температури, а також швидкість тверднення бетону на морозі значною мірою залежать від мінералогічного і речовинного складу цементу.

Більшість із застосовуваних добавок утворюють подвійні солі, які є потенційно небезпечними компонентами цементного каменю при експлуатації бетонів з такими добавками в деяких агресивних водних середовищах. Наприклад, хлориди натрію і кальцію різко інтенсифікують процес корозії сталі у вологих умовах при доступі кисню повітря.

У ряді випадків агресивність хлористих солей відносно арматури і технологічного устаткування можна зменшити шляхом застосування комплексних добавок, що містять інгібітори корозії сталі. Наприклад, при одночасній присутності в розчині нітритів при співвідношенні по масі між НН і ХК не менше 1:1, іони хлору стають практично безпечними відносно арматури. Однак, з метою виключення можливості появи корозійного процесу, область застосування проти морозних добавок істотно обмежується в попередньо-напружених конструкціях, де такі процеси можуть викликати катастрофічні наслідки, пов'язані з розривом або втратою попередньо-напруженого стану арматури у бетоні.

Поташ і нітрат кальцію є нейтральними добавками по відношенню до арматури. Нітрити натрію і кальцію є інгібіторами корозії арматури, але можуть викликати корозійне розтріскування термічно зміцненої сталі, тому їх застосування строго обмежують у залізобетонних виробках і конструкціях із попередньо-напруженою арматурою.

## 1.5 Принципи дії проти морозних добавок

За механізмом дії, проти морозні добавки для бетонів (розчинів), що тверднуть при температурі нижче 0 °С, поділяються на три групи:

а) До першої групи відносяться антифризи – речовини, що знижують температуру замерзання рідкої фази бетону і є або слабкими прискорювачами, або слабкими сповільнювачами тужавіння і тверднення бетону, тобто практично не впливають на швидкість структуроутворення. До цієї групи належать ХН, НН, М та інші. Тверднення бетону без подальшого обігріву базується на тому, що при введенні до його складу вищевказаних добавок за негативних температур зберігається рідка фаза. У цьому випадку мінерали портландцементу здатні гідратуватися, забезпечуючи тверднення бетону, але з швидкістю трохи меншою, ніж при позитивній температурі. Зниження температури замерзання води обумовлене тим, що при розчиненні добавок відбувається їх хімічна взаємодія з водою. В результаті утворюються сольвати – більш-менш міцні сполуки частинок розчиненої речовини з молекулами води (наприклад, іонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{NO}_2^-$  – при розчиненні нітриту натрію). Тому для перетворення води розчину в лід необхідно затратити енергію не тільки на сповільнення руху молекул води, але і на руйнування сольватів.

б) До другої групи відносяться добавки, що мають слабкі антифризні властивості, але є сильними прискорювачами тверднення бетону – сульфати заліза, алюмінію та деяких інших металів. На ранній стадії тверднення бетонної суміші такі добавки забезпечують створення досить щільної мікрокапілярної структури цементного каменю, що обумовлено протіканням обмінних реакцій з утворенням важкорозчинних сполук. У цьому випадку тверднення бетону при негативній температурі пояснюється тим, що в мікрокапілярній структурі цементного каменю вода не замерзає, забезпечуючи тим самим процеси гідратації клінкерних мінералів. При цьому, чим вище концентрація сольового розчину та чим менше діаметр капілярів, тим при більш низькій температурі в них буде замерзати вода. Крім того, реакції взаємодії добавок із продуктами

гідратації супроводжуються сильним тепловиділенням, що також позитивно впливає на процеси тверднення бетону. Процеси льодоутворення в бетоні з добавками проходять одночасно із структуроутворенням. При цьому створення мікрокапілярної структури бетону на порівняно ранньому етапі його тверднення викликає додаткове зниження температури замерзання порової рідини в наслідок зниження тиску пари в порах з радіусом менш 10~7 мкм за рахунок кельвінського ефекту. Однак, внаслідок практично повного зв'язування цих добавок у важкорозчинні сполуки, розраховувати на них як на добавки, що знижують температуру замерзання рідкої фази в бетонах, не можна.

в) До третьої групи відносяться добавки, що сильно прискорюють тужавіння бетонної суміші і тверднення бетону і мають добрі антифризні властивості. До них відносяться поташ, хлористий кальцій, хлорне залізо, ННХК, ННХК+М та інші. Розчини таких добавок мають досить низьку евтектичну температуру, наприклад, поташ -36,5 °С, хлорид кальцію -55 °С, нітрат кальцію -28,2 °С, нітрит-нітрат кальцію -29,6 °С.

При проведенні бетонних робіт у зимовий час необхідно дотримуватись низки обов'язкових умов, виконання яких дозволить одержати вироби і конструкції, що відповідають нормативам і вимогам за показниками призначення і довговічності.

Технологія приготування бетонної суміші з протиморозними добавками при застосуванні підігрітих заповнювачів не відрізняється від звичайної з використанням розчину добавки робочої концентрації замість води замішування. При роботі на холодних матеріалах, спочатку в бетонозмішувач завантажуються заповнювачі і розчин добавки робочої концентрації, а після їх перемішування протягом 1,5...2 хв. – цемент з наступним перемішуванням 4...5 хв. У випадку швидкого тужавіння бетонної суміші і невеликих об'ємів бетону, що укладається, доцільно застосовувати роздільний спосіб приготування. Попередньо приготовлена суха суміш цементу і заповнювачів замішується розчином добавки робочої концентрації безпосередньо на будівельному об'єкті і перемішується протягом 3-3,5 хв.

Температура бетонної суміші, що готується, повинна призначатися будівельною лабораторією, виходячи з умов виробництва, строків тужавіння суміші, тепловтрат при транспортуванні, перевантаженнях і укладанні, а також залежно від техніко-економічних показників.

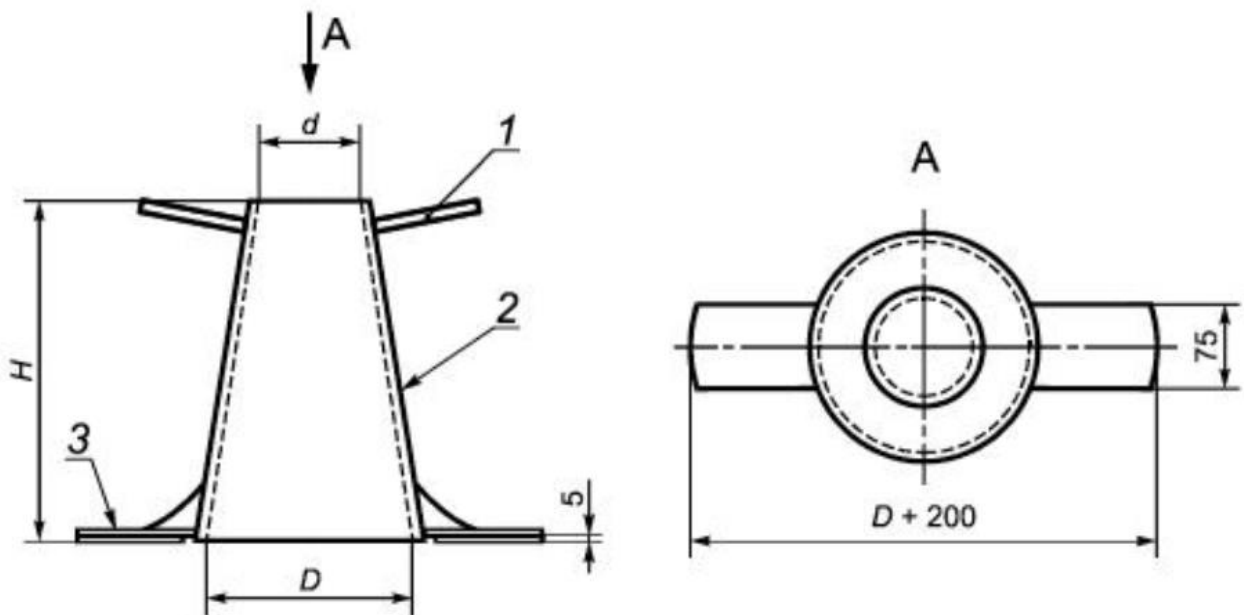
Бетонування масивних конструкцій варто робити так, щоб температура бетону в укладеному шарі не знижувалася нижче мінімально припустимої, а на поверхні бетону до кінця укладання була не нижче розрахункової.

## Розділ 2. Методика дослідження впливу морозостійких добавок на будівельно-технічні властивості бетону.

- 2.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність;
- 2.2 Виготовлення зразків бетону (бетонних кубиків 100x100x100мм);
- 2.3 Випробування зразків бетону на морозостійкість;
- 2.4 Випробування на міцність гідравлічним пресом;
- 2.5 Дослідження пористості бетону

### 2.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність.

Рухливість і щільність є ключовими параметрами при будівництві. Для їх обчислення при випробуванні бетону в лабораторії використовується спеціальний конус Абрамса.



Конус для визначення рухомості бетонного розчину

1 - ручка; 2 - корпус; 3 - опори;

Найменування конуса	Внутрішні розміри конуса, мм		
	$d$	$D$	$H$
Нормальний	100±2	200±2	300±2

Виріб являє собою пристрій з нержавіючої сталі з декількома опорами і ручками для зручності проведення випробувань. Габарити конуса можуть бути різними і залежать від цілей і завдань.

Сам процес випробування досить простий, складається з таких етапів:

- **Етап 1.** У конус накладають за допомогою воронки суміш до повного його заповнення, і гарненько штикують 25 раз по всій довжині і площі нижнього шару.
- **Етап 2.** Прибирають воронку і акуратно лінійкою знімають надлишок суміші.
- **Етап 3.** Акуратним рухом піднімають конус по вертикалі, і ставлять поруч з матеріалом.
- **Етап 4.** Бетон під вагою власної ваги починає осідати. Цьому процесу не потрібно перешкоджати. І як тільки він закінчиться, продовжити захід.
- **Етап 5.** На верхню конуса укладають лінійку так, щоб можна було виміряти різницю в висоті між зразком і конусом. Вимірювання проводять з точністю до міліметрів.
- **Етап 6.** Подібний процес повторюється двічі, і останнє значення береться, як середнє арифметичне між двох. Якщо ж результати мають занадто велику розбіжність - більш 2 см, то захід повторюють з новою пробі.
- **Етап 7.** Отримане значення в сантиметрах - це і є рухливість суміші.

Бетонні розчини за рухливістю класифікують:

- текучі (литі) - ОК від 21 см;
- рухливі - ОК 10-16 см;
- помірно рухомі - ОК 6-9 см;
- малорухливі - ОК 1-5 см;
- помірно жорсткі, жорсткі, підвищено жорсткі і особливо жорсткі суміші - ОК 0 см.

Рухливість суміші має своє буквено-цифрове позначення П:

- П1 - 1-4 см;
- П2 - 5-9 см;
- П3 - 10-15 см;
- П4 - 16-20 см;
- П5 - 21 см і більше.

Знаючи ці значення, можна підкоригувати склад, якщо вони не відповідають проектним - наприклад, збільшити пластичність, додаючи пластифікатор.

Даний вид досліджень показує текучість бетонного розчину, що дозволяє визначити якість бетону до його використання.

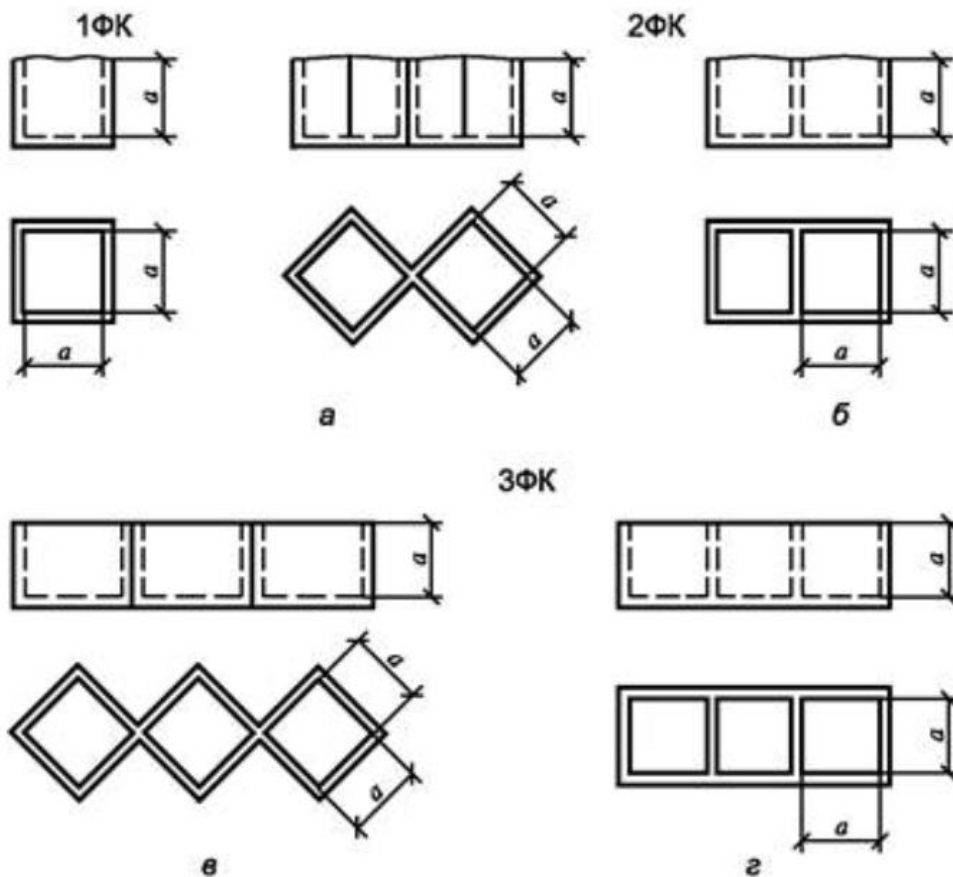
## 2.2. Виготовлення бетонних кубиків (зразків для випробувань).

З партії розчину відбирають кілька проб бетону, обсяг яких буде достатній для виготовлення серії зразків потрібного розміру.

Шляхом заливання в стандартизовані форми виготовляються зразки, конфігурація і габарити яких відповідають типу дослідження. Як правило, заповнення форм здійснюється не пізніше, ніж через 20-30 хвилин після відбору.

Для випробувань бетону на стиск використовувалась така форма:

Вид дослідження	Форма зразка	Лінійні розміри, мм
Контроль міцності на стиск	Кубічна	100x100x100мм



ФК - Для виготовлення зразків у вигляді куба;



Конструкція форми повинна виключати можливість самовільного ослаблення розбірних елементів при вібраційному впливі в процесі ущільнення бетонної суміші.

Порядок виготовлення зразків бетону:

- Зразки бетону виготовляють у перевірених формах розміром 100х100х100мм, відповідно до ГОСТ 22685;
- Перед використанням форм їх внутрішню поверхню покривають тонким шаром мастила, що не залишає плям і не впливає на властивості поверхневого шару бетону;
- Укладання і ущільнення бетонної суміші слід виконувати не пізніше ніж через 20хв після відбору проби;
- Форми закріплюють на лабораторному вібромайданчику, і вібрують до припинення осідання;
- Після завершення укладання і ущільнення бетонної суміші в формі верхню поверхню зразка загладжують кельмою або пластинкою;

Даний етап являється ключовим при випробуванням бетону на стиск.

Випробування проводять на 28 день після повного набору міцності матеріалу.

## 2.3 Випробування на морозостійкість.

Визначення морозостійкості бетону базовим методом.

Прилади та інструменти:

- **морозильна камера**, що забезпечує досягнення і підтримання температури до мінус  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ;
- **технічні ваги**; ванни для насичення і відтавання зразків з пристроєм для підтримки температури води  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ;
- **сітчастий контейнер** для розміщення основних зразків;
- **сітчастий стелаж** для розміщення зразків у морозильній камері.
- **Основні зразки** - зразки, призначені для заморожування і відтавання (випробування).
- **Контрольні зразки** - зразки, призначені для визначення міцності бетону на стиск перед початком випробування основних зразків

Морозостійкість бетону - здатність зберігати фізико-механічні властивості при багаторазовому заморожуванні і змінному відтаванні.

Марка бетону по морозостійкості F - встановлене нормами мінімальне число циклів заморожування і відтавання зразків бетону, випробуваних за базовим методом, при яких зберігаються первинні фізико-механічні властивості в нормованих межах.

F визначають за максимальної відносної різниці об'ємної деформації бетонних і стандартних зразків.

Морозостійкість бетону визначають в проектному віці (після підсумкових випробувань), встановленому в нормативно-технічній та проектній документації, при досягненні ним міцності на стиск, відповідає його класу (міцності).

Марку бетону за морозостійкістю приймають такою, що відповідає необхідній, якщо середнє значення міцності на стиск основних зразків після встановленого для даної марки числа циклів поперемінного заморожування і відтавання не зменшилось більше ніж на 5% у порівнянні із середньою міцністю на стиск контрольних зразків.

Зменшення міцності на стиск основних зразків у порівнянні із середньою міцністю контрольних зразків легкого бетону з маркою за морозостійкістю F50 і менше не повинне перевищувати 15%.

Етапи проведення випробувань:

**Етап 1.** Контрольні зразки через 2-4 год після вилучення з ванни випробовують на стиск.

**Етап 2.** Основні зразки завантажують в морозильну камеру у контейнері або встановлюють на сітчастий стелаж камери таким чином, щоб відстань між зразками, стінками контейнерів і вище розташованими стелажми було не менше 50 мм. Початком заморожування вважають момент встановлення в камері температури мінус 16 °С. Температуру повітря в морозильній камері вимірюють у центрі її обсягу в безпосередній близькості від зразків.

**Етап 3.** Число циклів змінного заморожування і відтавання, після яких повинно проводитися випробування міцності на стиск зразків бетону після проміжних і підсумкових випробувань, установлюють згідно з таблицею.

Метод випробувань	Вид бетону	Число циклів заморожування і відтавання для бетону марки за морозостійкістю												
		F 25	F 35	F 50	F 75	F 100	F 150	F 200	F 300	F 400	F 500	F 600	F 800	F 1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Перший	Всі види бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів	15*	25	35	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800
		25	35	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000

**Етап 4.** Зразки випробовують по режиму.

Розмір зразка, мм	Режим випробувань			
	Заморожування		Відтавання	
	тривалість, не менше, год.	температура, °С	тривалість, не менше, год.	температура, °С
100×100×100	2,5	мінус 18±2	2±0,5	18±2

**Етап 5.** Зразки після заморожування відтають у ванні з водою при температурі  $(18\pm 2)^\circ\text{C}$ . Зразки повинні бути занурені у воду таким чином, щоб над верхньою межею був шар води не менше 50 мм.

Воду у ванні для відтавання зразків змінюють через кожні 100 циклів змінного заморожування і відтавання.

**Етап 6.** У проміжний строк випробування контролюють стан зразків: поява тріщин, відколів, лущення поверхні. При появі зазначених дефектів випробування припиняють, і в журналі випробувань роблять запис про те, що бетон не відповідає необхідної марку по морозостійкості.

**Етап 7.** Основні зразки через 2 - 4 год після вилучення з ванни випробовують на стиск гідравлічним пресом.

## 2.4 Випробування на міцність гідравлічним пресом.

Контроль на міцність - основний для визначення його якості. По ньому вирішується: чи можна відпускати вироби споживачеві, або дати йому ще вистоятися. Тестуються зразки з одного відбору двічі - в двадцяти восьми добовому віці.

### Обладнання:

- Гідравлічний прес
- Ваги
- Металева лінійка

### Етапи випробування бетону:

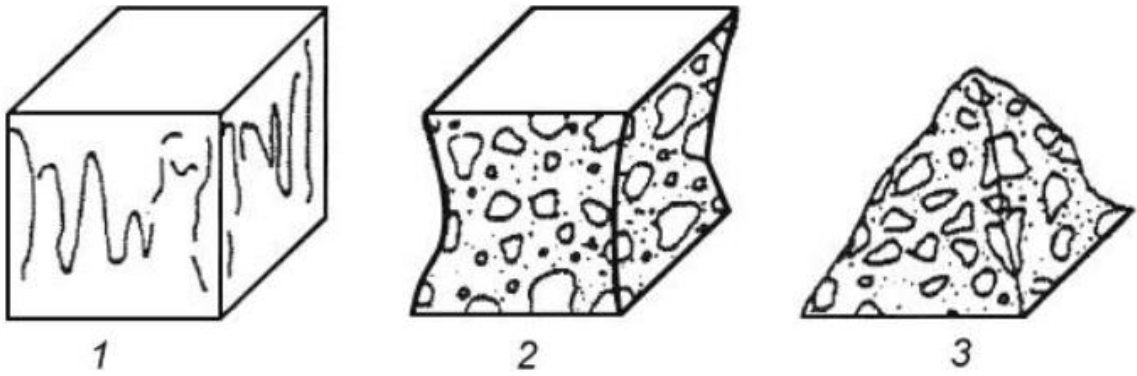
**Етап 1.** Підготовка бетонних кубиків;

**Етап 2.** Перевірка кубиків на придатність (зважування, вимірювання). При великому відхиленні в параметрах кубик визнається непридатним для контролю.

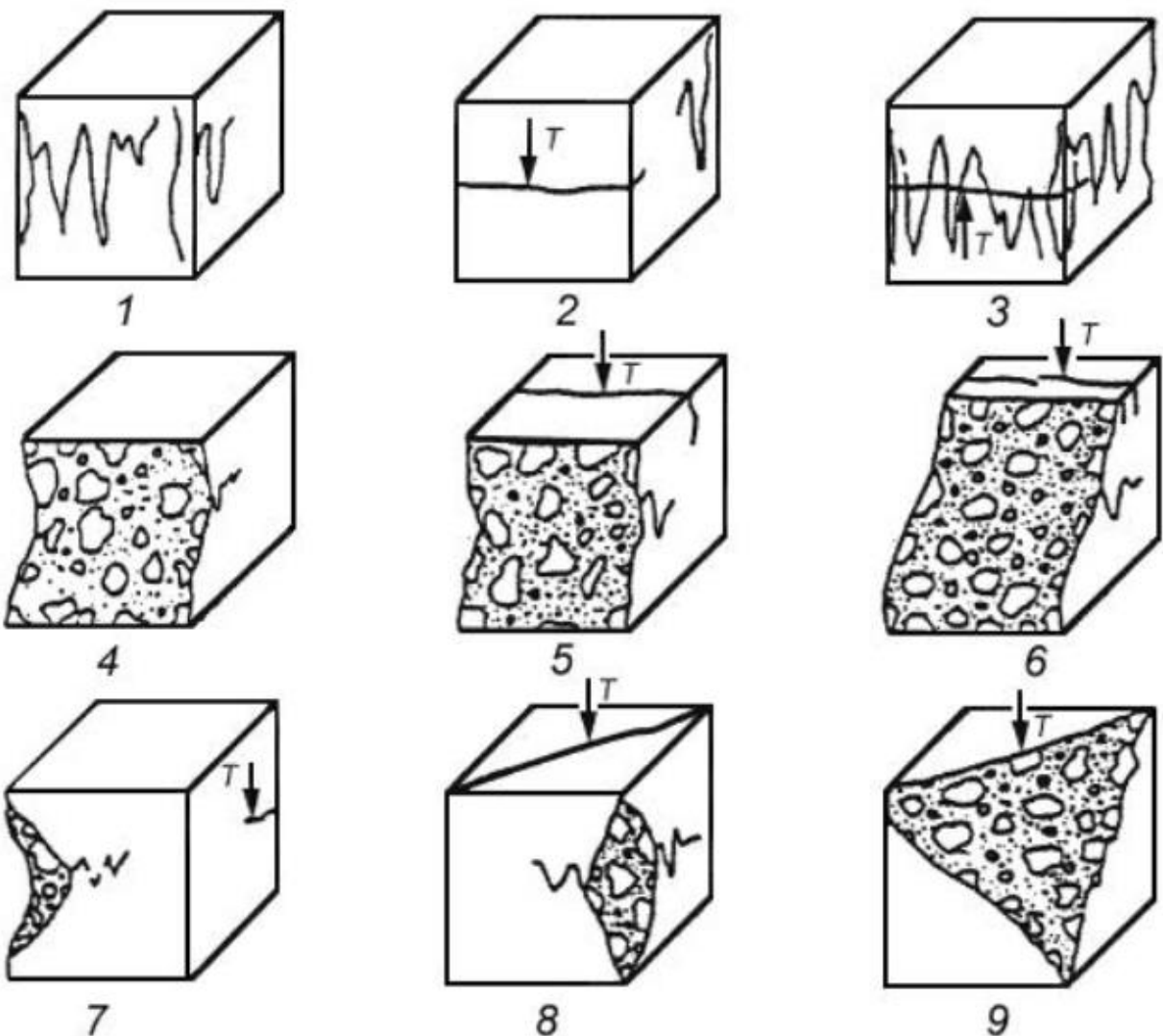
**Етап 3.** Встановлення кубика в гідравлічний прес. На підготовлений прес встановлюється зразок таким чином, щоб грані, що стикаються з пресом, були рівні й не являли формувальну сторону. Вона починає руйнуватися першою.

**Етап 4.** Запуск преса до повного руйнування кубика, та зняття показників. Граничним вважається навантаження, при якій відбувається повне руйнування зразка. Сучасні преси показують це граничне значення, і зберігають його в своїй пам'яті.

**Етап 5.** Після випробувань усіх кубиків, знаходять середній арифметичний показник, що приймається за кінцевий результат. Після проведення всіх дій, на їх основі отримуємо показник, який показує справжню якість випущених виробів і конструкцій.



*Задовільне руйнування зразків кубиків*



*Незадовільні руйнування зразків кубиків*

Випробування гідравлічним пресом на пряму пов'язаний з дослідженням морозостійкості бетону.

## 2.5 Дослідження пористості бетону.

Дослідження являє собою розробку складу і визначення характеристик пористості бетону на основі портландцементу з морозостійкими добавками.

Застосування в ролі в'язучого портландцементу з комплексними добавками модифікаторами, отримують бетонні суміші, що по своїм характеристиках у порівнянні із звичайним бетоном зменшує (на 20-30 %) водопоглинення, що являється основним етапом набору міцності бетону.

Також, у даних бетонних сумішах морозостійкість реалізується у повному своєму обсязі завдяки поташу, на відміну від сумішей на звичайному портландцементі, де частина домішки (4 %) поташу витрачається не за призначенням, в результаті отримуємо погіршення якості бетону та збільшення витрат поташу.

Характеристики пористості і морозостійкості бетону досліджують на основі вяжучих портландцементів з протиморозними добавками. Важливою характеристикою його структури є параметри пористості. Узагальнений метод визначення цього параметру бетону обґрунтовується на поглинанні капілярно-пористими матеріалами води.

Для проведення випробування застосовують:

- об'ємомір
- Поромір
- ваги лабораторні по;
- деко;
- кельму.

Етапи проведення досліджень:

**Етап 1.** Щільність бетонної суміші, що характеризується відношенням маси ущільненої бетонної суміші до її об'єму, визначають в циліндричному посудині, ємність якого в залежності від найбільшої крупності зерен заповнювача повинна відповідати зазначеній у таблиці.

**Етап 2.** Перед випробуванням мірний посуд, вибраний в залежності від крупності заповнювача, попередньо зважують з похибкою не більше 0,1 %.

**Етап 3.** Укладання та ущільнення бетонної суміші в посудині або формі проводять залежно від зручноукладності суміші.

**Етап 4.** Після ущільнення надлишок суміші зрізають сталевую лінійкою і поверхню ретельно вирівнюють врівень з краями мірної посудини (форми). Потім посудину з бетонною сумішшю зважують з похибкою не більше 0,1 %.

**Етап 5.** Щільність бетонної суміші  $\rho_{см}$  - кг/куб. м обчислюють за формулою

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V},$$

де  $m$  - маса мірної посудини з бетонною сумішшю, м;

де  $m_1$  - маса мірної посудини без суміші (форми), м;

$V$  - об'єм мірної посудини (форми), куб. дм.

**Етап 6.** Щільність бетонної суміші визначають двічі для кожної проби бетонної суміші обчислюють з округленням до 10 кг/куб. м як середнє арифметичне значення результатів двох визначень щільності суміші з однієї проби, що відрізняються між собою не більше ніж на 5 % від меншого значення.



## Розділ 3. Результати досліджень бетону

- 3.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність;
- 3.2 Випробування на міцність гідравлічним пресом;
- 3.3 Піддавання зразків бетону знакозмінним температурам;
- 3.4 Результати досліджень пористості.

### 3.1 Випробування бетонного розчину на зручноукладність (текучість).

Результати досліджень рухомості бетонного розчину конусом:

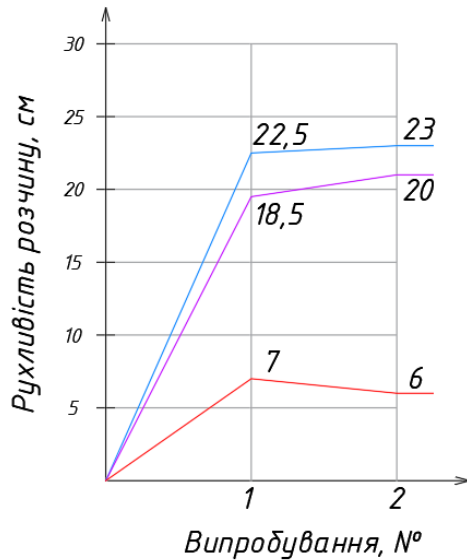
Найменування	Результат, см.	Клас рухливості	Позначення, П.	Примітка
Бетонний розчин без пластифікуючих добавок	6 7	Помірно рухомі	П-2	П-2 (6-9 см)
Бетонний розчин з добавкою <b>Sika Antifreeze Arkitka</b>	23 22.5	Текучі	П-5	П-5 (від 21 см)
Бетонний розчин з добавкою: <b>BauGut BetonFROST</b>	20 18.5	Текучі	П-4	П-4 (16-20см)

Як показують результати дослідження рухливості (текучості) бетонного розчину, протиморозні добавки володіють достатньо високими пластифікуючими властивостями. Під час проведення монолітних робіт, зручність використання пластичного розчину набагато вища ніж звичайні не модифіковані бетони.

Дослідження показали, що бетони з добавками-пластифікаторами дозволяють виготовити щільний бетон без пор, повітряних пазух. При заливці даного модифікованого бетону в опалобку, утрамбовування та вібрування дадуть кращий ефект.

Отримані результати дослідження переводимо у графік, для візуалізації показників зручноукладності (пластичності)

Графік результатів дослідження пластичності бетону



Умовні позначення		Результат, см	
Поз.	Найменування	Випробуван. №1	Випробуван. №2
■	Бетон з добавкою : VauGut BetonFROST	22,5	23
■	Бетон з добавкою: Sika: Antifreeze Arkitka	18,5	20
■	Бетон без добавок	7	6

Висока щільність бетону відіграє велику роль при знакозмінних температурах. Щільний бетон не дозволяє молекулам води, кристалізуватись у повному обсязі. Але це лише пластифікуючий ефект, з протиморозними добавками які зменшують температуру замерзання на хімічному рівні, дозволяють бетону довгий час витримувати знакозмінні температури.

Щільний бетон, що містить воду з добавками значно підвищує експлуатаційні характеристики бетону у зимовий період.

### 3.2.Випробування на міцність гідравлічним пресом.

Після витримки 28 діб основних бетонних зразків в морозильній камері з регулярним розморожуванням у ванні не більше 2 год, та зразки готові до випробувань

Для випробувань бетону на міцність, виготовлялись бетонні кубики розмірами: 100x100x100мм.

#### Бетонні кубики виготовлялись з таких бетонних розчинів:

- 1 Контрольний зразок без пластифікуючих добавок, (4 кубики) час тужавіння 28 діб.
- 2 Основний зразок без пластифікуючих добавок, (4 кубики) час тужавіння 28 діб.
- 3 Основний зразок з добавкою **Sika: Antifreeze Arkitka** (4 кубики) час тужавіння 28 діб.
- 4 Основний зразок з добавкою **BauGut BetonFROST** (4 кубики) час тужавіння 28 діб.

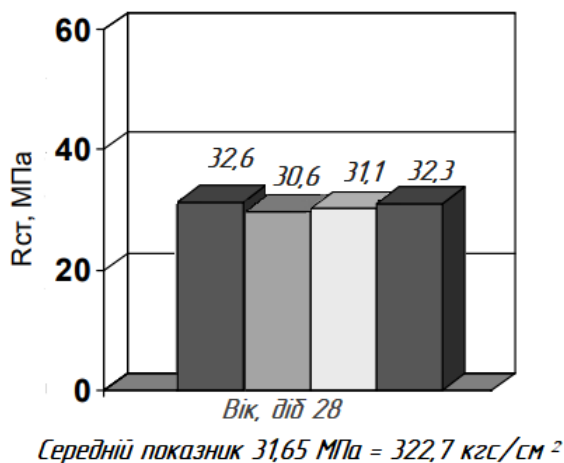
#### Характеристика зразків:

Зразки бетону які відібрані на випробування за зовнішнім ознаками не мають недопустимих деформацій, кубики розмірами 100x100x100мм мають рівні грані, рівні площини, та повністю відповідають вимогам даного випробування.

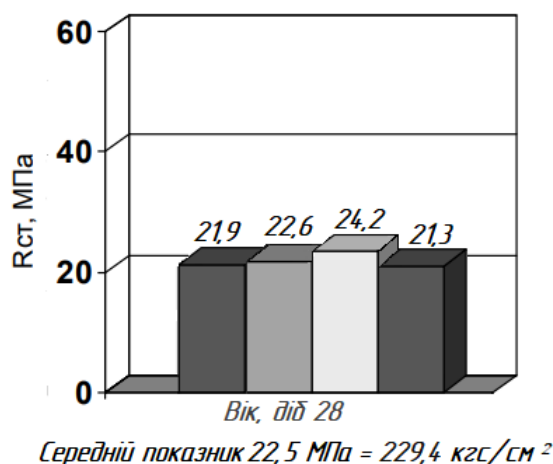
Випробування бетонних кубиків на стиск які проводились на гідравлічному станку, показали наступні результати:

## Бетони без добавок

Результати випробувань 4 зразків  
Без використання добавок  
Проектний клас бетону: М350(В25)  
Умови тужавіння: Нормальні

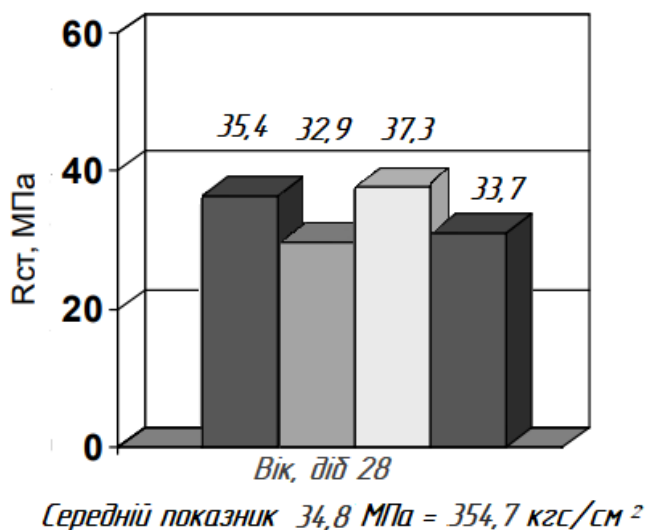


Результати випробувань 4 зразків  
Без використання добавок  
Проектний клас бетону: М350(В25)  
Умови тужавіння: (-9...+10 °С)

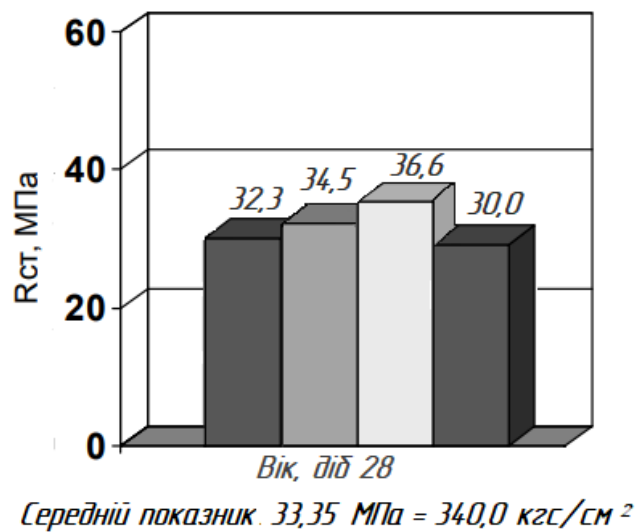


## Модифіковані бетони

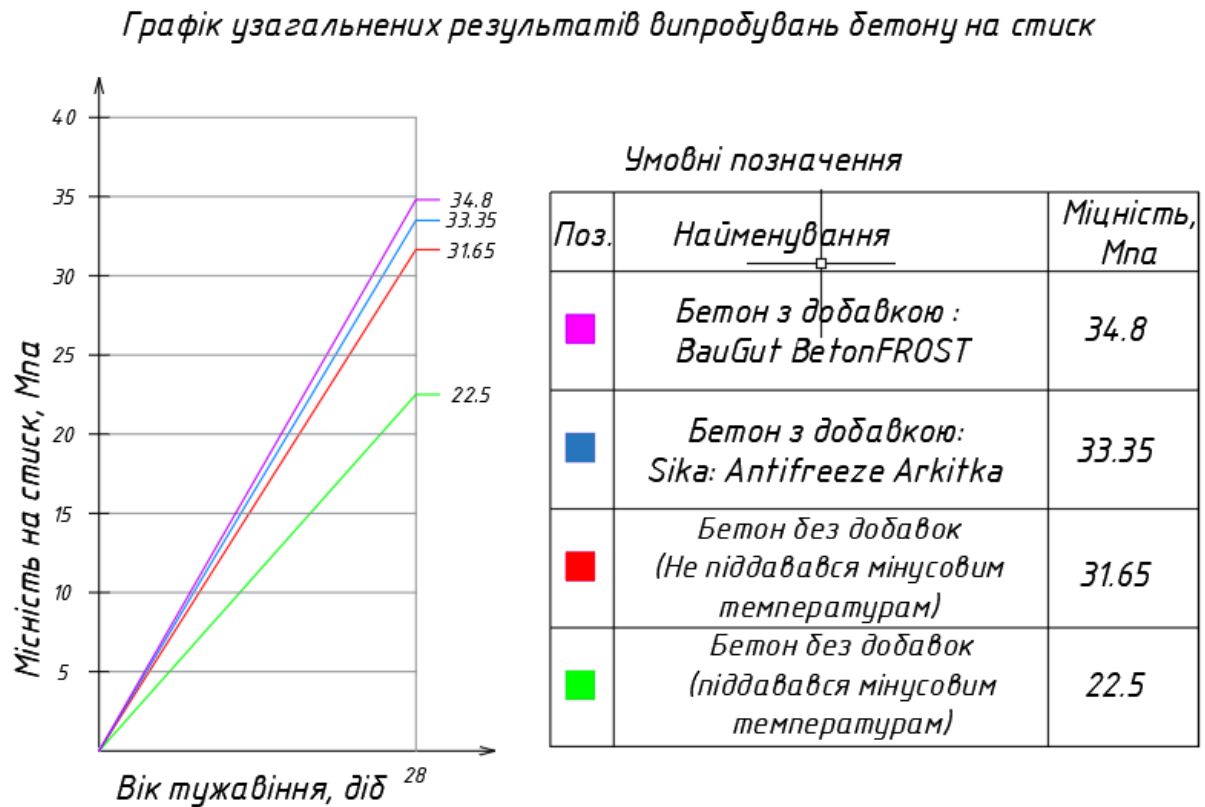
Результати випробувань 4 зразків  
Із використанням протиморозної  
добавки Ваугут BetonFROST  
Проектний клас бетону: М350(В25)  
Умови тужавіння: (-9...+10 °С)



Результати випробувань 4 зразків  
Із використанням Пластифікатора  
Sika: Antifreeze Arkitka  
Проектний клас бетону: М350(В25)  
Умови тужавіння: (-9...+10 °С)



Отримані результати дослідження переводимо у графік, для візуалізації показників міцності усіх зразків.



**Висновок:** Після проведення випробувань зразків бетону на стиск, отримуємо результати міцності, які показують що модифікований бетон на 25-30 % краще витримує мінусові температури. Також результати показують що міцнісні характеристики модифікованих бетонів на 5-10% вищі ніж у звичайного бетону.

Підвищення міцності модифікованого бетону обґрунтовується підвищенням пластичності розчину, що дозволяє цементу краще заповнювати щілини, пори, та пазухи. В результаті отриманий бетон набуває підвищену щільність.

### 3.3 Піддавання зразків бетону знакозмінним температурам.

Для випробувань бетонних зразків (кубиків) використовувались:

- 1) Контрольний зразок без пластифікуючих добавок, (4 кубики)
- 2) Основний зразок без пластифікуючих добавок, (4 кубики)
- 3) Основний зразок з добавкою **Sika: Antifreeze Arkitka** (4 кубики)
- 4) Основний зразок з добавкою **BauGut BetonFROST** (4 кубики)

4 кубики без добавок, 4 кубики з добавкою **Sika: Antifreeze Arkitka**, та 4 кубики з добавкою **BauGut BetonFROST**, піддавались знакозмінним температурам 28 діб.

4 кубики без добавок, як контрольні зразки, тужавіли при кімнатній температурі 28 діб.

У випробуваннях бетону на стиск гідравлічним пресом, наведені результати випробувань 8 кубиків, що показують як сильно впливає знакозмінна температура на бетон без морозостійких добавок.

На відміну від звичайного бетону, модифікований бетон з легкістю витримує знакозмінну температуру, більше того протиморозна добавка покращила міцнісні характеристики бетону.

З використанням добавки характеристики міцності покращились на 2-5%, у порівнянні з бетоном який не піддавався мінусовим температурам. Якщо порівнювати результати випробувань на стиск бетону що піддавався мінусовим температурам, то модифікований бетон на 25-30% краще переносить мінусові температури ніж бетон без добавок.

### Результати випробування на морозостійкість

Вид бетону	Тип цементу	Кі-сть домішок, (відсоток від маси Ц)		Умови тужавіння протягом 28 днів, град	Морозостійкість зразків серій, циклів		
		ЛСТ	паташ		1	2	3
1	ПЦ	0,5	2,0	0	390	250	340
2	ПЦ	0,5	10,0	-15	140	50	160
3	ПЦ	0,5	6,0	-30	300	200	250
4	ПЦ	0,5	4,0	-15	330	220	290

У зразках 3 і 4 серій спостерігалася велика морозостійкість. Вона збільшувалася для видів затвердіння, яке проходило при температурах затвердіння - 30 °С

Морозостійкість двох основних зразків які містять в собі добавки була достатньою. Основні зразок без добавок перевірку на морозостійкість не пройшли, оскільки не набрали достатньої міцності.

Висновок. Аналіз результатів дослідів показує, що бетони на портландцементі мають велику щільність. Справжня пористість знижується на 25-35%, максимальне об'ємне водопоглинання зменшується на 10-35%. Простір у порах бетонів, виготовлених з використанням портландцементу, характеризуються зменшенням розміру пор і вищої однорідністю капілярів матеріалу за розмірами.

Якщо порівняти морозостійкість 3 і 4 серії бетонних зразків з різними добавками і однаковою температурою затвердіння після виготовлення (- 15 °С), в зразках 2 серії вона вища, що підтверджує доцільність і економічність запропонованого методу зимової бетонування.

### 3.4 Результати досліджень пористості.

Мікроструктура цементного каменю (x1000):

а – на основі портландцементу;

б – з морозостійкими комплексними модифікаторами 1,5 %.

Видно, що пори в цементному камені з модифікатором мають добре виражену геометричну форму і рівномірно розподілені по всьому об'єму. Поліпшення капілярно-пористої структури цементного каменю з модифікатором пов'язано з тим, що він не тільки покращує в'язко-пластичні властивості цементного клею, але і знижує розвиток усадочних напруг, особливо в присутності гідрофобного трегера.

Таким чином, результати дослідження пористості показують, що пропоновані морозостійкі комплексні модифікатори дозволяють отримати цементний камінь високої якості: в ньому відсутні сегментаційні пори і пори від повітровтягування, великі пори дробляться під дією модифікаторів, зменшується розвиток капілярних тріщин при температурному впливі, розвивається мікропористість з розмірами пор  $\sim 0,1$  мкм.

#### *Показники пористості бетону*

<i>Номер серії</i>	<i>Густина сухого бетону, кг/м<sup>3</sup></i>	<i>Максимальне водопоглинання, % від об'єму</i>	<i>Показник однорідності пор</i>	<i>Показник середнього розміру пор</i>	<i>Істинна пористість, %</i>
1	2454	6,90	0,60	0,89	7,3
2	2430	7,78	0,62	0,46	7,8
3	2426	8,48	0,64	0,85	8,7
4	2364	9,91	0,69	1,04	10,7



Визначено фазовий склад та інтегральна інтенсивність розсіювання аморфної і кристалічної частин гідратної фази, виміряна половина основних дифракційних максимумів, характеризує розміри кристалів.

Цементний камінь з морозостійкі добавками також містить деяку кількість цементних мінералів: морозостійкі силікат і двухкальцієвий силікат.

Дослідження мікропористої структури цементного каменю без добавки і з гідрофобізуючими добавками показує що цементний камінь без добавки дає малокутове розсіювання, яке вказує на наявність мікронеоднорідної структури з ефективним розміром мікронеоднорідностей.

Утворені в результаті взаємодії цементу з водою кристалічні і гелевидні продукти беруть участь поряд з негідратаційними зернами в створенні тривимірного каркаса цементного каменю. Розрахункові дані з дифракційних картин ступеня гідратації і мікропористості цементного каменю без добавки і з гідрофобізуючими комплексними модифікаторами

## Розділ 4. Обґрунтування економічної ефективності досліджень

### 4.1 Економічна ефективність добавок-модифікаторів

Добавки для бетону (модифікатори), з економічної точки зору вигідний за кількома критеріями, а саме:

А) У порівнянні з іншими методами проведення бетонування в зимовий період наприклад:

- Обігрів нагрівальним дротом;
- Обігрів електродами;
- Прогрів опалубки;
- Обігрів інфрачервоними променями;
- Підігрівання паром низького тиску;
- Технологія термоса.

Усі наведені методи прогріву опалубки в зимовий період дуже трудомісткі що не вигідно з економічної точки зору. Протиморозні добавки для бетону не тільки зменшують трудомісткість бетонних робіт, вони також зменшують терміни виконання монолітних робіт, та покращують міцнісні характеристики бетону.

Для багатьох будівельних компаній монолітні роботи в зимовий період, це великий ризик, оскільки бетон який через знакозмінні температури, може не набрати проектної міцності, що вже не допустимо, та тягне за собою відповідальність у випадку руйнування конструкції.

У випадках коли замовник ставить терміни будівництва, трапляються випадки коли монолітні роботи доводиться виконувати у зимовий період, що заставляє будівельні компанії відмовитись від будівництва об'єкта.

Тому подальші дослідження модифікаторів бетону дозволять проводити монолітні роботи в сурових умовах, відповідно появляться нові високооплачувані вакансії, нові можливості інженерів дозволять конструювати конструкції об'єктів у місцях які зараз не дозволяють втілити усі архітектурно-інженерні рішення.

Добавки модифікатори для бетону дозволяють корегувати:

- пластичність розчину;
- морозостійкість;
- терміни тужавіння;
- гідрофобність;

Отже модифікатори бетону дозволяють значно знизити трудомісткість, та підвищити експлуатаційні характеристики бетону. Дані модифікатори з економічної точки зору набагато ефективніші стандартних методів прогріву бетону.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона праці

#### 5.1.1 Закон України "Про охорону праці"

В Основному Законі — Конституції України (ст. 43) зазначено: "Кожен має право на належні, безпечні й здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом"; "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється". "Кожен, хто працює, має право на відпочинок" (ст. 45).

Зазначені права реалізуються шляхом виконання вимог, викладених у Кодексі законів про працю, а також Законах: "Про охорону праці", "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про колективні договори і угоди". Положення цих Законів конкретизуються у відповідних правилах, стандартах, нормах, інструкціях та інших нормативно-правових актах, перелік яких наведений в "Державному реєстрі нормативних актів з охорони праці"[52].

Таким чином, у Законі "Про охорону праці" реалізована концепція управління охороною праці в державі, яка полягає в пріоритеті життя і здоров'я працівників і запровадженні плати за ризик (шкідливі й важкі умови праці, штрафні санкції) — як важелі здійснення державної політики.

Закон "Про охорону праці" поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Встановлений принцип добровільності прийняття ризику, тобто ніхто не має права наражати людину на ризик без її згоди. Одночасно встановлений принцип правового регулювання ризику шляхом створення нормативно-

правових актів, які визначають систему заборон і норм попередження нещасних випадків і профзахворювань. Розроблений порядок доступності й відкритості інформації з питань охорони праці.

У Законі передбачені механізми запобігання шкоди людині й суспільству, відшкодування завданого збитку, закладені правові норми управління охороною праці, котрі забезпечують організаційно-господарську та наглядову діяльність шляхом визначення повноважень, прав і відповідальності господарських органів, а також органів місцевого самоврядування і виконавчих органів влади.

Однак останнім часом вимоги щодо охорони праці часто недотримуються підприємствами різних організаційно-правових форм, що використовують працю найманих робітників. Зумовлюється це насамперед важким економічним становищем держави, а також іншими об'єктивними і суб'єктивними причинами, зокрема: спрацюванням основних виробничих фондів; відсутністю зацікавленості власників у поліпшенні умов і безпеки праці; некомпетентністю більшості персоналу в питаннях охорони праці; низькою трудовою і технологічною дисципліною; недостатньою роллю органів нагляду і контролю за дотриманням законодавства про працю й охорону праці.

### **5.1.2 Заходи безпеки при роботі з добавками**

При роботі з добавками необхідно дотримуватися правил техніки безпеки і охорони праці з врахуванням особливостей і властивостей кожного виду добавок керуючись вимогами ДБН А.3.2-2-2009 [53].

Перед допуском до роботи працівники повинні пройти спеціальний інструктаж по техніці безпеки при роботі з добавками.

Бетонні суміші з розчинами солей (прискорювачі твердіння, інгібіторами корозії сталі, ущільнювальними і морозостійкими добавками) володіють

підвищеною електропровідністю, тому особливу увагу повинно приділятися справності ізоляції електропроводки та електроінструментів, а також іншим заходам електробезпеки.

Пожежонебезпечні продукти повинні зберігатися у відповідних до правил зберігання пожежонебезпечних речовин в окремих складах з незагораючими стінами не нище 1 степені вогнестійкості.

Меляса не токсична, і робота з нею не потребує особливої обережності.

Працювати з добавками необхідно в фартухах, захисних окулярах і резинових рукавицях.

При попаданні на шкіру, необхідно промити цю ділянку теплою водою, а при попаданні в очі – промити слабким розчином борної кислоти.

Ємкості для приготування і дозування матеріалів повинні щільно закриватися, а приміщення, де проводяться ці роботи – добре провітрюватися.

У відділеннях приготування і зберігання добавок повинна бути передбачувана загальна приточно-витяжна вентиляція, а при необхідності – місцеве вентиляція. Робочі, зайняті приготуванням розчинів, повинні працювати в спецодязі із водовідштовхуючої тканини, резинових чоботах і рукавицях [54].

При роботі з добавками робочі повинні забезпечуватися не лише спецодягом але й фільтруючим противогазом.

Забороняється зберігати або споживати їжу в приміщенні, де зберігаються або готуються бетонні розчини з добавками.

Забороняється скидати відходи і залишки матеріалів в каналізацію і водойми санітарно-побутового використання.

### **5.1.3. Мікроклімат робочої зони**

На мікроклімат робочої зони впливають такі показники:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового випромінювання.

Чинним нормативним документом, який регламентує мікроклімат виробничого середовища, є ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007 «Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та

експлуатації об'єктів будівництва» [55]. Сьогодні заводи з виробництва сухих будівельних сумішей є високо автоматизованими і механізованими підприємствами і згідно ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007 роботи на такому підприємстві належать до категорії робіт середньої тяжкості класу Па, інтенсивність енерговитрат 151-200 ккал / год (175-232 Вт).

## **5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **5.2.1 Організація цивільного захисту на промислових об'єктах будівельної галузі**

Цивільний захист на підприємстві (далі – об'єкті) будівельної галузі організується з метою своєчасної підготовки об'єкта до захисту від наслідків НС та оперативного проведення рятувальних і інших невідкладних робіт.

Згідно зі ст. 8 закону України "Про цивільну оборону України" "Керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з цивільної оборони і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати в порядку та обсягах, передбачених законодавством" [64].

На об'єктах підвищеної небезпеки (хімічно-, вибухонебезпечних) створюються локальні системи виявлення загрози виникнення НС і оповіщення працівників цих об'єктів та місцевого населення, що проживає в зоні можливого ураження (згідно з законом України "Про цивільну оборону України" власники таких об'єктів відповідають за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах).

Відповідальність за цивільний захист об'єкта несе керівник цього об'єкта, він є начальником ЦЗ об'єкта і підпорядковується своєму старшому начальнику (міністерства чи відомства), а в оперативному відношенні начальнику цивільного захисту міста чи району.

Начальник цивільного захисту об'єкта несе відповідальність за:

- створення, організацію, підготовку і дієздатність системи цивільного захисту на підпорядкованому об'єкті;
- забезпечення захисту персоналу (а на об'єктах підвищеної небезпеки і за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах) під час загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;
- організацію і здійснення заходів щодо попередження НС, а у разі їх виникнення – за мінімізацію збитків від них;
- створення і організацію роботи системи оповіщення на об'єкті;
- створення і організацію роботи комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, а також евакуаційної комісії об'єкта;
- постійну готовність органів управління і невоєнізованих формувань об'єкта до функціонування в мирний і воєнний час;
- фінансове та матеріально-технічне забезпечення заходів у сфері цивільного захисту;
- підготовку і навчання персоналу до дій у НС.

Наказом начальника ЦЗ об'єкта призначаються заступники (як варіант – з евакуації, інженерно-технічної частини, з матеріально-технічного постачання, з оперативних питань).

Органом управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту об'єкта є штаб цивільної оборони та надзвичайних ситуацій (штаб ЦО та НС) (далі – штаб ЦО).

Штаб ЦО очолює начальник штабу, який є першим заступником начальника ЦЗ об'єкта. До складу штабу входять заступники начальника штабу і необхідні спеціалісти. Штаб комплектується як штатними працівниками ЦЗ об'єкта так і посадовими особами підприємства, не звільненими від виконання своїх основних обов'язків.

Начальник штабу ЦО відповідає за безпосередню організацію та функціонування сил і засобів цивільного захисту під час загрози або виникнення



надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру. Він має право віддавати розпорядження з питань цивільної оборони, захисту від НС техногенного, природного та воєнного характеру від імені начальника цивільного захисту об'єкту [65].

Начальник штабу ЦО несе відповідальність за:

- організацію своєчасного оповіщення і збору персоналу об'єкта;
- організацію роботи і узгодженість дій створених на об'єкті органів управління і структурних підрозділів цивільного захисту;
- розробку планової документації з питань цивільного захисту, її своєчасне уточнення і коригування;
- стан готовності особового складу невоєнізованих формувань цивільного захисту до дій за призначенням;
- своєчасне доведення до виконавців рішень начальника цивільного захисту та організацію контролю за їх виконанням;
- організацію збору і аналізу інформації щодо вірогідного виникнення надзвичайних ситуацій, відпрацювання пропозицій щодо захисту персоналу (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) від їх наслідків;
- виконання заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єкта в воєнний час та при виникненні надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру;
- організацію взаємодії з місцевими органами державної влади, підрозділами МНС України, аварійно-рятувальними службами тощо;
- організацію спеціальної підготовки і підвищення кваліфікації персоналу у сфері цивільної оборони, захисту від надзвичайних ситуацій.

Проводячи всі ці заходи, буде надійно захищений виробничий персонал, інженерно-технічний комплекс, системи постачання, що дозволить у разі НС швидко відновити всі сили підприємства і відновити порушене виробництво.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бетонування при негативних температурах пов'язане з ризиками розморожування бетону. При температурі  $+ 5^{\circ} \text{C}$  і нижче, волога, що знаходиться в розчині, кристалізується і припиняється процес гідратації цементу.

Крім того, вода при кристалізації (замерзання) збільшується в об'ємі, і при розширенні розриває існуючі структурні зв'язки, які при відтаванні вже не відновлюються.

Данні випробування бетонних зразків показали ефективність використання проти морозних модифікаторів бетону, у порівнянні із звичайним цементним каменем. Дані модифікатори допомагають витримувати відємні температури до  $-20^{\circ} \text{C}$ , не дозволяючи кристалізації води у порах. Також дані випробування показали що модифікований цементний розчин має кращу пластичність, що позитивно впливає на проведення монолітних робіт.

Модифікований розчин пришвидшує закінченн термінів будівельних робіт за рахунок покращення текучості та пластичності, що дає більшу зручність укладання бетону.

Для підвищення морозостійкості бетону необхідно провести додаткові досліді, в яких будуть використовуватись не лише різні види добавок-модифікаторів, також будуть використовуватись різні типи наповнювача, заповнювача та вяжучого. Що дозволить дізнатись який оптимальний склад бетону краще використовувати в тій чи іншій ситуації. Також потрібно випробувати більше видів хімічних добавок, які у взаємодії з різними типами складових бетону дадуть різні результати.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бабич В.І., Огородник В.І., Романюк В.В. Таблиці для проектування будівельних конструкцій. – Рівне: РДТУ, 1999. – 510 с.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов.– М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: Норми проектування. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
4. Железобетонные конструкции. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. А. Я. Барашикова. – К.: «Вища школа», 1987. – 416 с.
5. Залізобетонні конструкції: Підручник / За ред. П.Ф. Вахненка. – К.: Вища школа, 1999. – 508 с.
6. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб.пособие. – Часть 2.: Конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. – М.: Высшая школа, 1989. – 264 с.
7. Попов Н.Н., Забегаев А.В. Проектирование и расчет железобетонных конструкций: Учебн.пособие. – М.: Высшая школа. – 1985. – 319 с.
8. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособи / Под ред. А. Б. Гольшева. – К: Будівельник, 1985.– 496 с.
9. Сперанский И.М. и др. Примеры расчета железобетонных конструкций: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1989. – 176 с.
10. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства. Справочник проектировщика / Под. общ. ред. Г.И. Бердичевского.– М.: Стройиздат, 1981. – 488 с.
11. Шерешевский И. А. Конструирование промышленных зданий и сооружений. – М.: «Архитектура-С», 2005.– 186 с.
12. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
13. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 166 с.