

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра "Будівельні, дорожні машини і будівництво"

Допустити до захисту
зав. кафедрою БДМБ
канд. техн. наук, професор
_____ Настоящий В.А.
" ____ " _____ 2024 р.

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему:

**Дослідження технологій зимового бетонування при будівництві
лікарні в м.Суми**

Керівник магістерської роботи
канд. техн. наук, доцент
_____ Дарієнко В.В.
" ____ " _____ 2024 р.

Виконав студент гр. БІ-23М-2
спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

_____ Таран Р.П.
" ____ " _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення ФБТЕ

Кафедра, циклова комісія

Будівельні, дорожні машини і будівництво

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

(шифр і назва)

Спеціальність

192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БДМБ,

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Таран Руслан Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Дослідження технологій зимового бетонування при будівництві лікарні в м. Суми**

керівник проекту (роботи)

к.т.н. доцент Дарієнко В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “7” 08 2024__ року №34-13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 25.11.2024р

3. Вихідні дані до проекту (роботи): нормативна та довідкова література по темі завдання.

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

1. *Архітектурний розділ;*

2. *Науково-дослідний розділ;*

3. *Розділ охорона праці*

5. Перелік графічного матеріалу

Не менше 10 плакатів графічних матеріалів які ілюструють методику та результати досліджень

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Архітектурний	доцент Скриннік І.О.		
Науковий	доцент Дарієнко В.В.		
Охорона праці	доцент Дарієнко В.В.		

7. Дата видачі завдання 10. 09. 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка інженерних розділів	10.09.-09.10	
2	Розробка наукового розділу	09.10.-09.11	
3	Розробка заходів з охорони праці	15.11.-20.11	
4	Оформлення альбому документів	20.11.-25.11	

Студент

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Таран Р.П.

(прізвище та ініціали)

Дарієнко В.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Виконане дослідження впливу температури на процес твердіння бетону та розроблені ефективні методи зимового бетонування, адаптовані до умов низьких температур. Проведено аналіз особливостей структуроутворення бетону в залежності від температурного режиму та використання різних методів теплообробки.

У роботі представлені розрахункові підходи для забезпечення необхідного теплового режиму бетону в зимових умовах. Для оптимізації процесу використані сучасні методи, такі як термос, електропрогрівання та комбіновані технології, що дозволяють скоротити енергетичні витрати та зберегти якість конструкцій.

Досліджено вплив низьких і високих температур на міцність бетону, встановлено залежності між тепловими характеристиками та властивостями матеріалу. Визначено критичні показники температурного перепаду, що впливають на виникнення температурних напружень і тріщин у конструкціях.

Розроблено рекомендації щодо використання різних методів зимового бетонування залежно від типу конструкцій, температурних умов та економічної доцільності. Запропоновані підходи забезпечують високу якість і довговічність бетонних конструкцій навіть у найскладніших умовах експлуатації.

Abstracts.

The influence of temperature on the process of concrete hardening was studied and effective methods of winter concreting adapted to low temperature conditions were developed. The peculiarities of concrete structure formation depending on the temperature regime and the use of various heat treatment methods were analysed.

The paper presents calculation approaches to ensure the required thermal regime of concrete in winter conditions. To optimise the process, modern methods such as thermos, electric heating and combined technologies are used to reduce energy costs and maintain the quality of structures.

The influence of low and high temperatures on the strength of concrete is investigated, and the dependence between thermal characteristics and material properties is established. The critical temperature difference indicators that affect the occurrence of temperature stresses and cracks in structures are determined.

Recommendations for the use of different methods of winter concreting depending on the type of structures, temperature conditions and economic feasibility are developed. The proposed approaches ensure high quality and durability of concrete structures even in the most difficult operating conditions.

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1 Архітектурно-будівельний розділ.....	4
1.1 Вихідні дані проекту	4
1.2 Об'ємно-планувальне рішення	5
1.3 Архітектурно-конструктивне рішення	8
1.4 Будівельна фізика	17
1.4.1. Теплотехнічний розрахунок зовнішньої стіни	18
1.5 Техніко-економічні показники	21
2. Науковий розділ	22
2.1 Аналіз стану питання та завдання досліджень	22
2.2 Вплив температури на процес твердіння бетону	31
2.2.1 Вплив низьких температур на процес твердіння бетону	32
2.2.2. Вплив високих температур на процес твердіння бетону	36
2.3 Методи зимового бетонування та їх розрахункове обґрунтування	40
3 охорона праці	61
3.1 Загальні положення організації будівельного виробництва	61
3.2 Організація будівельного майданчика, робочих місць	62
3.3 Організація виробництва окремих видів робіт	64
3.4 Розрахунок прожекторного освітлення	69
Висновки по роботі:	71
Список використаних літературних джерел	73

					ТЗП 2319235 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Таран Р.П.			Дослідження технологій зимового бетонування при будівництві лікарні в м.Суми			Літ.		Арк.	Акрушів
Перевірив		Дарієнко В.								1	
Реценз.								ЦНТУ гр. БІ-23М-2			
Н. Контр.		Яцун В.									
Затвердив		Настоящий В.									

Вступ

Актуальність роботи:

Будівництво є однією з основних галузей економіки, яка потребує постійного вдосконалення технологій і матеріалів. Зимовий період створює особливі виклики для будівельних робіт, оскільки низькі температури значно ускладнюють процес твердіння бетону. Для забезпечення якості і надійності будівельних конструкцій необхідно розробляти та впроваджувати сучасні методи зимового бетонування. Ці методи дозволяють знизити витрати енергії, скоротити строки будівництва та покращити експлуатаційні характеристики споруд.

Об'єкт дослідження:

Процес твердіння бетону в умовах низьких температур.

Предмет дослідження:

Закономірності впливу температури на процеси структуроутворення бетону, ефективність методів зимового бетонування та їх розрахункове обґрунтування.

Мета роботи:

Метою цієї роботи є розробка ефективних технологій зимового бетонування з урахуванням впливу температури на процес твердіння бетону.

Для вирішення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати вплив низьких і високих температур на процеси твердіння бетону;
- дослідити існуючі методи зимового бетонування та їх ефективність;
- обґрунтувати розрахункові методики для забезпечення необхідної температури бетону в умовах зимового бетонування;
- запропонувати рекомендації щодо використання сучасних методів бетонування в зимовий період.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Апробація роботи: Результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій».

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

І АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вихідні дані проекту

Для впровадження результатів наукового дослідження мною проектується “Проект лікарні в м. Суми” .

Проект виконаний у відповідності із ДБН А.2.2-3-97 „Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва”.

Будівля буде багатоповерховою та розташовуватиметься в центральній частині міста. Район будівництва досить сприятливий: поруч є парки та місця для відпочинку, а ось галасливих підприємств чи великих магістралей поблизу немає. Це забезпечить комфорт і тишу як для пацієнтів, так і для медичного персоналу. Ділянка правильної форми (122x104 м), а її фасад виходить на вулицю Сонячну, яка має низьку інтенсивність руху.

Будівля лікарні розташована всередині ділянки, а її фасад орієнтований на північ, що відповідає вимогам до розташування лікарень для максимальної природної освітленості приміщень. Відстань до червоної лінії становить щонайменше 20 метрів. Біля в’їзду на територію запланована автостоянка площею близько 400 м². Головний вхід облаштовано майданчиком із газонами, лавками та місцем для відвідувачів.

За корпусом передбачено затишну садово-паркову зону з алеями шириною 2 м, квітниками та альтанками. Для зручності всі доріжки та майданчики будуть викладені сучасною тротуарною плиткою. Такий підхід не тільки додає естетики, а й робить територію зручною для прогулянок і відпочинку.

Довкола будівлі лікарні на відстані 12 метрів облаштовано проїзд шириною 3,5 метра з тротуарами. Цей проїзд призначений для транспорту лікарні та спеціальної техніки. Для покриття проїзду, тротуарів і автостоянки використано асфальтобетон. Територія центру повністю огорожена, має два

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

входи — парадний і службовий, а також два в'їзди. На в'їздах і біля службового входу встановлені прохідні для контролю доступу.

Озеленення території виконане з використанням різноманітних рослин: листяні та хвойні дерева, кущі, клумби з квітами та газони з травою. Перед головним входом висаджені хвойні дерева та розміщений квітник, що створює затишну атмосферу. У садово-парковій зоні, що розташована за будівлею, домінують листяні та хвойні дерева, а також декоративні кущі та квіткові клумби.

На період будівництва ділянка забезпечена всіма необхідними комунікаціями: водопостачанням, електроенергією та водовідведенням від існуючих мереж міста.

Будівельні матеріали, конструктивні елементи та напівфабрикати постачаються в складській формі, а транспортування здійснюється автомобільним транспортом, що забезпечує швидкість і зручність логістики.

1.2 Об'ємно-планувальне рішення

Будівля міської лікарні складається з трьох блоків, які гармонійно поєднані між собою як за плануванням, так і за інженерним обладнанням. Ці блоки розташовані у формі "шахового порядку". Два крайні блоки мають однакові розміри (26,4 х 21 м), а середній – трохи менший (24 х 21 м). Будівля має 4 поверхи, підвал і технічний поверх, висота кожного поверху становить 3,3 м.

Планування будівлі

Середній блок і перші поверхи крайніх блоків призначені для адміністративних функцій. Тут розміщуються кабінети, приймальні, процедурні, їдальня та буфет. У правому крилі на 2–4 поверхах заплановані операційні, наркозні кімнати, приміщення для координації та допоміжні кабінети. Ліве крило – це стаціонарні палати (на 1, 2 і 3 ліжка) із санітарними кімнатами.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розміри приміщень

Розміри приміщень відповідають вимогам сучасних норм:

- Одноліжкові палати – не менше 2,9 м завширшки.
- Кабінети лікарів і коридори палатних відділень – 2,4 м.
- Перев'язувальні та процедурні – 3,2 м.
- Операційні – 5 м.
- Коридори операційного блоку – 2,4 м.
- Коридори адміністративно-господарського блоку – 1,5 м.

Освітлення

Приміщення забезпечені природним освітленням, що створює комфортні умови для пацієнтів і персоналу. Штучне освітлення використовується в технічних та допоміжних приміщеннях, таких як санітарні вузли, складські кімнати, фотолабораторії, душові тощо. Коридори палатних відділень освітлюються через вікна в торцевих стінах.

Орієнтація вікон

Орієнтація приміщень дотримується сучасних вимог:

- Палати – орієнтація на південь, південний схід, схід, північний схід, північний захід (до 50% ліжок).
- Операційні – на північ, північний схід або північний захід.

Технічне оснащення

У будівлі передбачено встановлення як пасажирських, так і вантажних ліфтів, які розташовані в середньому блоці. Пасажирські ліфти забезпечують комфортне переміщення пацієнтів, відвідувачів та персоналу між поверхами, що є важливим для ефективної роботи лікарні. Вантажні ліфти спеціально розраховані для транспортування медичного обладнання, інструментів, ліків, постільної білизни та інших матеріалів, що значно полегшує роботу обслуговуючого персоналу. Ліфти відповідають сучасним вимогам безпеки, оснащені системами екстреної зупинки, а також пристосовані для перевезення пацієнтів на каталках.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

У кожному блоці будівлі передбачені сходові прольоти, які забезпечують зручний доступ до всіх рівнів споруди. Сходи виготовлені з міцних, зносостійких матеріалів, що відповідають вимогам пожежної безпеки. Вони мають поручні, які забезпечують комфорт та безпеку при користуванні. Така інфраструктура дозволяє швидко евакуювати людей у разі надзвичайних ситуацій.

Операційний блок будівлі розділений на два окремих відділення – асептичне та септичне. Асептичне відділення призначене для проведення хірургічних операцій, які вимагають максимальної стерильності, таких як кардіохірургія або нейрохірургія. Септичне відділення використовується для операцій із високим ризиком інфікування. Такий поділ зменшує ризик перехресного інфікування між пацієнтами та сприяє дотриманню високих санітарних стандартів.

Кожна операційна в блоці розрахована на один операційний стіл, що дозволяє зосередитися на обслуговуванні конкретного пацієнта, забезпечуючи максимальний контроль стерильності та оптимальні умови для медичного персоналу. Приміщення операційних обладнані всіма необхідними системами вентиляції, освітлення та підтримання стерильності, що відповідає сучасним стандартам для хірургічних відділень.

Оздоблення

Фасад будівлі виконаний із високоякісної червоної фасадної цегли, яка забезпечує довговічність, стійкість до погодних умов та додає будівлі сучасного і водночас класичного вигляду. Декоративна штукатурка використовується як доповнення до цегли, створюючи гармонійний архітектурний ансамбль із виразними текстурними елементами. Це рішення не лише покращує естетичність, але й забезпечує додатковий захист фасаду від впливу зовнішнього середовища.

Цоколь будівлі облицьований натуральним каменем, що підкреслює її солідність і довговічність. Натуральний камінь є міцним, стійким до механічних пошкоджень та додає об'єкту престижного вигляду. Сходи

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

головного входу облицьовані морозостійкою декоративною плиткою, яка не лише витримує вплив низьких температур, але й має антиковзкі властивості, що забезпечує безпеку відвідувачів навіть у холодну пору року.

Внутрішнє оздоблення будівлі відповідає сучасним стандартам комфорту, санітарним нормам та естетичним вимогам. Стіни палат, кабінетів та коридорів пофарбовані дисперсійними фарбами, які відрізняються екологічністю, стійкістю до миття та тривалим збереженням кольору. Це забезпечує зручність у догляді за приміщеннями, що є особливо важливим у медичних установах.

Санвузли, стерилізаційні кімнати та інші технічні приміщення мають комбіноване оздоблення. Нижня частина стін облицьована керамічною плиткою, яка забезпечує високу стійкість до вологи та хімічних засобів, необхідних для санітарного очищення. Верхня частина стін пофарбована дисперсійними фарбами, що дозволяє створити комфортну атмосферу та водночас зберегти функціональність оздоблення. Такий підхід до оформлення дозволяє підтримувати чистоту, гігієну та довговічність внутрішніх приміщень лікарні.

Такий підхід до планування й оздоблення забезпечує сучасний вигляд лікарні, комфорт для пацієнтів та ефективну роботу персоналу.

1.3 Архітектурно-конструктивне рішення

Будівля міської лікарні спроектована з урахуванням сучасних будівельних норм та матеріалів. Вона має каркасну конструкцію із зовнішніми стінами з цегли, які не несуть основного навантаження, а просто заповнюють каркас. Міцність будівлі забезпечується діафрагмами жорсткості та перекриттями, які працюють разом як єдина система.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Навантаження:

Навантаження на перекриття враховуються за чинними ДБН. Для будівництва використовуються типові залізобетонні конструкції, що полегшують і прискорюють роботи.

Фундаменти:

Фундаменти будівлі виконані у вигляді монолітних стовпчастих конструкцій квадратної форми. Для їх виготовлення використовується бетон класу В15, який забезпечує необхідну міцність і довговічність. Ці фундаменти слугують основою для всієї споруди, розподіляючи навантаження від будівлі на несучі шари ґрунту. У плиті фундаменту передбачено армування сітками зі сталі класу А-III, що підвищує її стійкість до різних видів навантажень, таких як стискання, розтягування та згинання.

Особливості конструкції фундаментів враховують складні геологічні умови району забудови. Глибина їх закладання, яка становить близько 4,95 м, визначається розташуванням несучого шару ґрунту, здатного витримувати значні навантаження від будівлі. Така глибина також забезпечує захист фундаменту від промерзання, що важливо для довговічності споруди.

Монолітна конструкція фундаментів дозволяє мінімізувати ризики деформації будівлі навіть за умови нерівномірного ущільнення ґрунтів. Для забезпечення якісного зчеплення бетону з арматурою дотримуються спеціальних технологічних вимог при укладанні суміші. Крім того, проектування враховує можливі впливи ґрунтових вод, для чого передбачено додаткові заходи з гідроізоляції.

Каркас:

Каркас будівлі виготовлений із збірних залізобетонних елементів, що дозволяє забезпечити швидкий монтаж та високу надійність конструкції. Основними елементами каркасу є колони та ригелі, які виконують несучу функцію та розподіляють навантаження між частинами споруди.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Колони мають прямокутний переріз розміром 400х400 мм. Для їх виготовлення використовується бетон класу В15, який забезпечує необхідну міцність і стійкість до стискання. Усередині колон розташована арматура зі сталевих стержнів класу А400, що надає конструкції додаткової стійкості до вертикальних і горизонтальних навантажень. Завдяки правильному поєднанню бетону та арматури, колони здатні витримувати значні механічні впливи та зберігати свою форму навіть за складних умов експлуатації.

Ригелі каркасу виконані з бетону вищого класу міцності В25, що робить їх особливо надійними в умовах підвищених навантажень. Їхня стандартна довжина становить 3 і 6 метрів, що дозволяє використовувати їх для створення оптимальної просторової структури будівлі. Для посилення ригелів також використовується сталева арматура, яка забезпечує опір вигину та покращує загальну міцність конструкції.

Щоб запобігти корозії та продовжити термін служби металевих з'єднань, усі їхні елементи вкриті цементним розчином товщиною не менше 25 мм. Цей захисний шар ефективно запобігає контакту металу з вологою і агресивними речовинами. Відкриті частини металевих деталей, які залишаються на поверхні, покриваються масляною фарбою. Фарбування виконується у два шари, що забезпечує додатковий захист від корозії та покращує естетичний вигляд конструкції.

Перекриття:

Перекриття будівлі виконані зі збірних залізобетонних плит з круглими пустотами, що є одним із найбільш поширених і ефективних рішень для сучасного будівництва. Такі плити мають товщину 220 мм, що забезпечує достатню міцність і жорсткість конструкції, при цьому зберігаючи її легкість за рахунок пустот.

Плити перекриття виготовляються з бетону класу В15, який характеризується високою міцністю та довговічністю. Залежно від функціональних потреб, вони мають різні розміри, наприклад, 6х1,5 м, 7,2х1,5 м, а також інші варіанти, що дозволяють адаптувати конструкцію до

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

індивідуальних особливостей проєкту. Такий підхід забезпечує гнучкість у плануванні приміщень і дозволяє зменшити кількість монтажних швів, що покращує герметичність і теплоізоляцію перекриттів.

Внутрішня структура плит підсилюється арматурними каркасами, які забезпечують їхню стійкість до згинальних навантажень і підвищують надійність конструкції. Для поздовжнього армування використовуються сталеві стержні, а в поперечному напрямку застосовуються сітки з дротової арматури. Таке комбіноване армування дозволяє перекриттям витримувати значні експлуатаційні навантаження та забезпечує їхню довговічність.

Круглі пустоти всередині плит не лише знижують їхню вагу, а й створюють можливість прокладання комунікацій, таких як електропроводка, вентиляційні канали чи інші системи. Це значно полегшує проведення інженерних робіт і скорочує витрати на додаткові конструкції для цих потреб.

Окрім того, плити перекриття мають гарні звукоізоляційні властивості, що важливо для забезпечення комфорту в приміщеннях. Використання таких плит дозволяє створювати міцні, довговічні та функціональні перекриття, які відповідають сучасним будівельним стандартам і вимогам.

Сходи:

У будівлі передбачені сходи, які виконують важливу функцію забезпечення вертикального сполучення між поверхами, а також відповідають вимогам безпеки та зручності. Основні сходи виготовлені із залізобетону, що гарантує їх міцність, довговічність і стійкість до навантажень. Ширина сходів становить 1,5 метра, що забезпечує комфортний рух людей навіть за високої інтенсивності потоку.

Кожна сходинка має висоту 150 мм, що відповідає стандартам ергономіки та дозволяє зменшити навантаження на ноги при підйомі. Ширина сходинки – 300 мм, що створює зручну поверхню для ноги, забезпечуючи комфорт і безпеку під час пересування. Такі параметри сходів

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

оптимальні як для громадських, так і для медичних будівель, де важливі зручність і відповідність будівельним нормам.

Для підвищення рівня пожежної безпеки в будівлі також передбачені зовнішні сходи, які виконані зі сталі. Це спеціальні евакуаційні сходи, які дозволяють безпечно залишити будівлю в разі надзвичайної ситуації. Сталеві конструкції відрізняються високою вогнестійкістю, а їхня поверхня покривається антикорозійними матеріалами для захисту від впливу зовнішніх умов, таких як волога, мороз чи ультрафіолетове випромінювання.

Завдяки використанню якісних матеріалів і сучасних технологій виготовлення, сходи є надійними, зручними та безпечними, що забезпечує їхню відповідність усім чинним нормам і стандартам. Додатково, їхня конструкція дозволяє інтегрувати поручні або додаткові елементи для підвищення комфорту та функціональності.

Стіни:

Стіни підвалу виконані із збірних бетонних блоків, що є оптимальним рішенням для забезпечення міцності та довговічності конструкції. Ці блоки стійкі до значних навантажень, які виникають через вагу будівлі та тиск ґрунту. Вище рівня землі зовнішні стіни виконані з цегли товщиною 510 мм. Така товщина забезпечує хорошу несучу здатність і теплоізоляцію будівлі, що є важливим для підтримання комфортного мікроклімату всередині приміщень.

Для захисту підземних частин стін від впливу ґрунтових вод та вологи передбачено гідроізоляцію за допомогою бітумної мастики. Бітумний шар наноситься у два етапи, щоб забезпечити максимальну герметичність і надійність. Це дозволяє уникнути проникнення вологи в бетонну або цегляну структуру, що значно збільшує термін експлуатації стін та запобігає появі тріщин, цвілі або корозії арматури.

Зворотне засипання стін підвалу виконується лише після завершення монтажу перекриттів над підвалом і облаштування підлоги. Такий порядок робіт дозволяє уникнути нерівномірного тиску ґрунту на стіни та забезпечує

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

їхню стійкість. Засипання виконується ущільненим ґрунтом, що додатково стабілізує конструкцію та мінімізує ймовірність осідання.

Ця схема виконання стін та їхнього захисту гарантує довговічність конструкції навіть за складних експлуатаційних умов, а також забезпечує надійний захист підвальних приміщень від вологи та температурних коливань.

Перегородки:

На поверхах будівлі для зонування приміщень встановлюються перегородки з гіпсокартонних систем, таких як RIGIPS. Це сучасне рішення, яке дозволяє швидко і зручно створювати внутрішні стіни різної конфігурації. Товщина перегородок варіюється від 80 до 100 мм, залежно від їхнього призначення. У випадках, коли необхідна додаткова звукоізоляція, теплоізоляція або протипожежні властивості, між листами гіпсокартону встановлюється спеціальний ізоляційний матеріал, наприклад, мінеральна вата. Якщо ж таких вимог немає, перегородки можуть бути виконані без утеплювача, що знижує їхню вартість і вагу.

Гіпсокартонні перегородки монтуються на металевий каркас, який може бути одинарним або подвійним. Це забезпечує достатню жорсткість конструкції та дозволяє адаптувати її до різних умов експлуатації. Крім того, такі перегородки мають гладку поверхню, що спрощує подальшу обробку – фарбування, наклеювання шпалер чи облицювання плиткою.

У підвальних приміщеннях перегородки виконуються з цегли, оскільки це матеріал, який краще витримує підвищену вологість і механічні навантаження. Товщина таких перегородок зазвичай відповідає одній цеглині, що забезпечує їхню міцність і довговічність.

Такий підхід до облаштування перегородок дозволяє досягти балансу між функціональністю, економічністю та естетикою, враховуючи умови експлуатації приміщень і специфіку їхнього використання.

Шахти ліфтів:

Шахти ліфтів у будівлі виконані зі збірних залізобетонних елементів, що забезпечує їхню надійність, довговічність та швидкий монтаж. Ця конструкція дозволяє ефективно витримувати значні вертикальні та горизонтальні навантаження, які виникають під час роботи ліфтового обладнання, включаючи рух кабіни та коливання від механічного впливу.

Залізобетонні елементи шахт виготовляються з бетону високої міцності, що гарантує стійкість до тривалих експлуатаційних навантажень і впливу зовнішніх факторів. Армування елементів здійснюється сталевими каркасами, які забезпечують додаткову жорсткість і стійкість до деформацій. Точна геометрія збірних елементів сприяє зручності їхнього стикування під час монтажу, що зменшує час будівельних робіт і підвищує точність виконання проєкту.

Внутрішня поверхня шахт готується для встановлення ліфтового обладнання, такого як напрямні, механізми відкривання дверей та інші системи. Залізобетонні стіни додатково можуть оброблятися для поліпшення звукоізоляції, зменшення вібрацій і забезпечення відповідності сучасним вимогам безпеки.

Використання збірних залізобетонних елементів для шахт ліфтів є ефективним рішенням, що поєднує в собі швидкість будівництва, якість та відповідність сучасним нормативам. Це дозволяє забезпечити довговічність і безпечну експлуатацію ліфтових систем навіть за інтенсивного використання.

Покрівля:

Покрівля будівлі виконана у вигляді рулонного покриття, що є оптимальним варіантом для забезпечення герметичності та захисту від атмосферних опадів. Основним шаром утеплювача виступає пінобетон товщиною 150 мм, який забезпечує надійну теплоізоляцію, зменшуючи тепловтрати та підвищуючи енергоефективність будівлі. Пінобетон є легким,

вогнестійким і довговічним матеріалом, що робить його ідеальним вибором для покрівельних конструкцій.

Для забезпечення необхідного ухилу даху, який сприяє ефективному водовідведенню, використовується керамзитовий гравій. Це легкий заповнювач з низькою теплопровідністю, який дозволяє створити рівномірний нахил без суттєвого збільшення ваги конструкції. Нахил забезпечує стік дощової та талої води до системи внутрішнього водостоку, що запобігає накопиченню вологи на поверхні покрівлі.

Особлива увага приділяється примиканням покрівлі до інших конструктивних елементів будівлі, таких як парапети, вентиляційні шахти та люки. Ці місця виконуються за сучасними стандартами, використовуючи додаткові шари гідроізоляції та спеціальні герметизуючі матеріали. Це забезпечує повну герметичність примикань, виключаючи можливість проникнення вологи та зберігаючи міцність і довговічність покрівлі.

Завдяки використанню сучасних матеріалів та технологій, така конструкція покрівлі забезпечує високий рівень тепло- та гідроізоляції, довговічність, а також відповідність усім актуальним будівельним нормам і стандартам.

Вікна і двері:

Усі вікна та зовнішні двері будівлі виготовлені з сучасних алюмінієвих термоізольованих профілів, які забезпечують високі показники тепло- та шумоізоляції. Алюміній як матеріал відзначається своєю легкістю, міцністю та стійкістю до впливу зовнішніх факторів, таких як ультрафіолетове випромінювання, корозія та температурні коливання. Завдяки термоізоляційним вставкам у профілях мінімізується тепловий міст, що суттєво знижує тепловтрати і підвищує енергоефективність будівлі.

Вікна оснащені багатокамерними склопакетами, які забезпечують додаткову шумоізоляцію, що особливо важливо для будівель, розташованих у міських чи промислових зонах. Склопакети також можуть бути

енергозберігаючими, із сонцезахисним чи ударостійким склом, залежно від потреб конкретних приміщень.

Двері, виготовлені з тих самих профілів, мають високу міцність, що забезпечує безпеку та довговічність. Вони можуть бути доповнені сучасними системами ущільнення, які гарантують герметичність і захист від протягів та проникнення вологи.

Підлоги:

Підлоги у будівлі мають багатошарову конструкцію, яка забезпечує довговічність, теплоізоляцію та комфорт експлуатації. Основою є шар гідроізоляції, що захищає приміщення від проникнення вологи з ґрунту чи нижніх поверхів. Гідроізоляція укладається з використанням сучасних матеріалів, які гарантують герметичність і довговічність.

Наступним шаром є шлакобетон, що виконує функцію теплоізоляції та вирівнює основу. Завдяки своїй легкості та низькій теплопровідності, шлакобетон ефективно зберігає тепло в приміщеннях, знижуючи витрати на опалення. Поверх нього наноситься цементно-піщана стяжка товщиною 30–40 мм, яка створює рівну та міцну поверхню для подальшого укладання фінішного покриття.

Фінішне покриття залежить від функціонального призначення приміщення. У житлових та офісних зонах зазвичай використовується лінолеум, який є практичним і зручним у догляді. У приміщеннях із високою вологістю чи підвищеним навантаженням, таких як кухні чи санвузли, застосовується керамічна плитка, яка стійка до зношування та легко чиститься.

Особливою частиною інтер'єру є хол із зимовим садом, виконаним із сучасних алюмінієвих конструкцій. Для забезпечення енергоефективності використовуються енергозберігальні склопакети, які дозволяють зберігати тепло навіть у холодну пору року. Завдяки цим технологіям зимовий сад стає комфортним місцем для відпочинку, наповненим природним світлом та гармонією.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Така структура підлог та інноваційне облаштування холу створюють затишне середовище, яке відповідає сучасним стандартам комфорту й енергоефективності.

1.4 Будівельна фізика

Експлуатаційні властивості будівлі залежать не лише від її розмірів, об'єму приміщень чи внутрішнього оздоблення, а й від якості інженерних комунікацій та санітарно-технічного обладнання. Однією з ключових складових є конструкція зовнішніх огорожуючих елементів, які захищають будівлю від впливу зовнішніх факторів, таких як холод, сонячна радіація, атмосферні опади та інші впливи навколишнього середовища. Ці елементи забезпечують бар'єр між двома середовищами з різними показниками температури, вологості, тиску чи шуму, перешкоджаючи проникненню повітря, вологи, звуку чи надмірного освітлення.

Основними теплотехнічними вимогами до зовнішніх огорожуючих конструкцій (таких як стіни чи покриття) є забезпечення достатнього опору теплопередачі, повітронепроникності та нормального вологісного режиму. Ці вимоги мають на меті створення комфортного мікроклімату всередині приміщень незалежно від погодних умов зовні. Для досягнення таких характеристик у конструкціях використовуються сучасні матеріали, які мають високу тепло- і звукоізоляцію, а також вологостійкість.

При проєктуванні огорожуючих конструкцій важливо враховувати довговічність матеріалів і їхню здатність протистояти різним зовнішнім впливам, таким як перепади температур, ультрафіолетове випромінювання та механічні навантаження. Особлива увага приділяється місцям примикань і стиків, адже саме вони найчастіше стають джерелами втрат тепла чи проникнення вологи.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1.4.1. Теплотехнічний розрахунок зовнішньої стіни

Місто Суми належить до третьої температурної зони України, де кількість градусо-днів опалювального періоду становить від 2501 до 3000. Це визначає підвищені вимоги до теплоізоляційних властивостей будівель для забезпечення комфортного мікроклімату та мінімізації тепловтрат. Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель», огорожувальні конструкції мають відповідати мінімальним значенням опору теплопередачі, встановленим для цієї зони.

Склад стіни та її елементи:

Фасадне облицювання (20 мм):

Фасадна частина виконує переважно декоративну функцію, забезпечуючи привабливий вигляд будівлі. Також вона створює додатковий захист утеплювача та стіни від зовнішніх впливів, таких як опади чи механічні пошкодження.

Утеплювач (100 мм):

Шар утеплювача є основним елементом, що відповідає за зниження тепловтрат. Для досягнення необхідного опору теплопередачі можуть використовуватись сучасні матеріали, такі як мінеральна вата, пінополістирол чи інші теплоізоляційні плити. Товщина шару 100 мм відповідає вимогам для третьої температурної зони.

Цегляна стіна (510 мм):

Основна несуча конструкція стіни виготовляється з цегли, яка забезпечує міцність, довговічність і стійкість будівлі. Хоча цегла не є ідеальним теплоізоляційним матеріалом, її товщина сприяє додатковому зниженню тепловтрат.

Штукатурка (20 мм):

Шар штукатурки виконує функції вирівнювання, захисту та покращення естетичного вигляду стіни. Крім того, штукатурка може мати теплоізоляційні властивості, що додатково сприяє енергоефективності.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		18

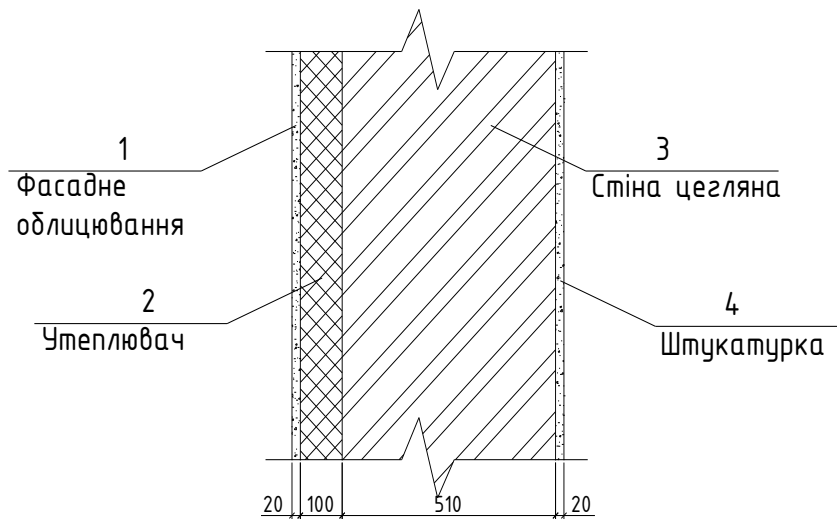


Рис. 1.1. Конструкція зовнішньої стіни

Таблиця 1.2. Теплотехнічні показники зовнішньої стіни

№ ша ру	Матеріал шару огорожувальної конструкції	Об'єм- на маса $\gamma_0, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Товщи- на ша- ру, $\delta, \text{мм}$	Розрахунко- вий коефі- цієнт тепло- провідності $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	Розрахунко- вий коефі- цієнт тепло- засвоєння $S, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
1	Фасадне облицювання	1800	20	0,93	11,09
2	Утеплювач	15	100	0,055	0,33
3	Цегла глиняна звичайна	1800	510	0,81	10,12
4	Внутрішня штукатурка	1800	20	0,93	11,09

Розрахунок

Величина опору теплопередач зовнішньої стіни $R_{\Sigma \text{ пр}}$ повинна задовольняти умову:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}},$$

де R_o^{TP} – потрібний опір теплопередачі

Визначаємо термічні опори окремих шарів $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$:

де R_i – термічний опір i -го шару конструкції;

δ_i – товщина i -го шару, м;

λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м · К):

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,93} = 0,022 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{K/Vm} - \text{фасадне облицювання};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,1}{0,055} = 1,82 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{K/Vm} - \text{утеплювач};$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,51}{0,81} = 0,63 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{K/Vm} - \text{цегла глиняна};$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,93} = 0,022 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{K/Vm} - \text{внутрішня штукатурка};$$

Загальний термічний опір непрозорої термічно однорідної огорожувальної конструкції:

$$R_q = \frac{1}{\alpha_{\hat{a}}} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_{\hat{c}}} = \frac{1}{\alpha_{\hat{a}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\hat{c}}} =$$

$$= 0,132 + 0,022 + 1,82 + 0,63 + 0,022 + 0,043 = 2,67 (\text{ì}^2 \cdot \hat{E} / \hat{A} \hat{o})$$

де $\alpha_{\hat{a}} = 7,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопередачі внутрішньої поверхні;

$\alpha_{\hat{c}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ – коефіцієнт тепловіддачі для умов зовнішньої поверхні (згідно додатку Е ДБН В.2.6-31-2006).

Перевіряємо виконання умови:

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$R_q = 2,67 \cdot \hat{E} / \hat{A} > R_{q,\min} = 2,2 \cdot \hat{E} / \hat{A} - \text{умова виконується.}$$

Товщина стіни загалом становить 650 мм.

1.5 Техніко-економічні показники

Щоб визначити техніко-економічні показники будівлі, потрібно врахувати вимоги ДБН В.2.2-15:2005 «Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення» (додаток В) і ДБН В.2.2-9-99 «Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди» (додаток Д). Ці показники відображають основні характеристики будівлі, зокрема площу, об'єм, енергоефективність та функціональне призначення приміщень.

Таблиця 1.4. Техніко-економічні показники

№ п/п	Найменування	Од. вим.	Кіль- кість
1	2	3	4
1	Площа забудови	м ²	2026,8
2	Будівельний об'єм	м ³	42157,4
3	Загальна площа	м ²	10335,1
4	Робоча площа	м ²	2039,7
5	Коефіцієнт К-1		0,2
6	Коефіцієнт К-2		20,7

2. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз стану питання та завдання досліджень

Зимовий період у будівництві зазвичай починається, коли середньодобова температура опускається нижче $+5^{\circ}\text{C}$, а мінімальна добова – нижче 0°C , і триває до моменту, коли температура знову піднімається вище цих значень. У цей час будівельні роботи суттєво відрізняються від літніх, адже потрібно враховувати холод і додаткові витрати на прогрівання матеріалів і конструкцій.

Проблема роботи в зимових умовах полягає у збільшенні витрат енергії, часу та ресурсів. Особливо це стосується бетонування, яке взимку потребує особливого підходу, адже бетон треба витримувати в теплі, щоб він набрав міцність. Це один із найдовших і найенерговитратніших етапів у будівельних роботах. Для пришвидшення процесу використовують методи теплової обробки, які допомагають бетону швидше досягти потрібної міцності.

Скорочення строків будівництва та підвищення якості бетонних робіт у холодну пору року стають дуже важливими, оскільки велика частина будівельних робіт у багатьох регіонах, особливо на півночі, виконується саме взимку. Наприклад, у таких районах, як Крайня Північ, за зиму заливають до 50-75% річного обсягу бетону. Але через холод продуктивність праці знижується, крани працюють повільніше, а витрати енергії зростають до 100 кВт-год на кубометр бетону. Це суттєво збільшує вартість робіт і створює додаткові проблеми, особливо в умовах дефіциту електроенергії.

Щоб зменшити витрати і зробити будівництво більш ефективним, потрібно впроваджувати сучасні матеріали, передові технології, а також удосконалювати існуючі методи зимового бетонування. Це дозволить скоротити час на виконання робіт, зменшити витрати на енергію і водночас забезпечити надійність і безпеку будівель навіть у найсуворіших умовах.

У нашій країні накопичено великий досвід роботи з бетонуванням у холодну пору року, адже за роки практики було побудовано багато унікальних споруд, зокрема гідротехнічних і промислово-цивільних. Починаючи ще з 1930-х років, розпочалося активне вивчення методів зимового бетонування. Тоді Радянський Союз став одним із центрів розробки та впровадження технологій для роботи з бетоном за від'ємних температур.

Однак, методи, які були розроблені для розрахунку технологічних параметрів зимового бетонування, мають свої недоліки. Вони базуються або на середніх значеннях теплового балансу бетону, або на складних аналітичних рішеннях рівняння теплопровідності. При цьому в розрахунках використовується багато припущень, які значно знижують точність.

Такі підходи не дозволяють вирішити кілька важливих завдань. По-перше, вони не забезпечують точного визначення параметрів регульованого теплового режиму для обробки бетону. По-друге, вони не дозволяють на етапі проєктування контролювати вимоги сучасних ДБН або ДСТУ щодо температурного режиму бетону, як-от уникнення перегріву, недогріву чи занадто різких змін температури. Особливо важливо забезпечити правильну швидкість нагрівання бетону після початку теплової обробки і його охолодження після завершення процесу. Всі ці аспекти потрібно враховувати для кожної конкретної точки бетонованої конструкції, що складно зробити за старими підходами.

Це підкреслює необхідність оновлення методів і застосування сучасних технологій для підвищення точності розрахунків і забезпечення високої якості будівельних робіт у зимових умовах.

Прогрес у технології зимового бетонування неможливий без удосконалення підходів до розрахунків параметрів роботи та енерговитрат. Для цього потрібне використання сучасних методів теплопровідності, оптимізації, математики та комп'ютерних технологій. Автоматизовані системи проєктування значно полегшать цей процес. Однак успіх залежить від серйозних наукових досліджень у цій сфері, а також від впровадження на

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

практиці спеціальних методів бетонування за низьких температур та розробки точних розрахункових параметрів для зимового бетонування.

Під час зимового бетонування важливо створити умови, в яких бетон зможе затвердіти до такої міцності, щоб конструкцію можна було розпалубити чи частково завантажити. У виборі методу потрібно враховувати такі чинники, як необхідні властивості бетону (морозостійкість, водонепроникність), температура навколишнього середовища, тип цементу, утеплення та джерела тепла.

Щоб забезпечити бетонну суміш необхідною температурою, часто використовують підігріті компоненти при її приготуванні, утеплюють опалубку або додатково обігрівають бетон після укладання, наприклад, електрикою чи парою. У деяких випадках теплотехнічні розрахунки дозволяють уникнути обігріву, якщо в бетоні достатньо внутрішнього тепла для тверднення. Такі методи, як «термос» або попередній електророзігрів, дозволяють зберігати потрібну температуру за рахунок тепла, що виділяється цементом, і того, що вже є в суміші.

Однак метод без обігріву підходить лише для масивних конструкцій, помірних морозів і використання швидкотвердіючих цементів. Якщо ж тепла недостатньо, доводиться вдаватися до штучного прогріву або додавати спеціальні протиморозні хімічні речовини. Таким чином, вибір способу зимового бетонування залежить від конкретних умов будівництва, розмірів конструкції та необхідних властивостей бетону.

Вибір способу обігріву бетону залежить від доступних джерел тепла та повинен бути обґрунтований техніко-економічним розрахунком. Для обігріву можуть використовувати пару, електроенергію або спеціально обладнані теплушки. Обігрів може бути як тривалим, так і короткочасним, і застосовуватися до всієї маси бетону чи лише до зовнішніх шарів конструкції.

Електропрогрівання є одним із найбільш зручних і швидких способів прогрівання бетону, що особливо актуально для проєктів швидкісного

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

будівництва. У багатьох ситуаціях ефективним є комбінування різних методів зимового бетонування, що дозволяє оптимально пристосувати технологію до умов будівництва.

Під час теплової обробки важливо не лише досягти критичної міцності бетону, але й дотримуватися всіх вимог сучасних норм (наприклад, ДБН або ДСТУ), що регламентують виконання бетонних робіт узимку. Недотримання цих вимог може знизити міцність бетону, що вплине на довговічність і безпеку конструкції. Тому суворе дотримання технології зимового бетонування є ключовим для забезпечення якості та надійності будівель.

Параметр	Значення параметра	Контроль (метод, обсяг, вид реєстрації)
1	2	3
1. Міцність бетону монолітних і збірномонолітних конструкцій до моменту замерзання: Для бетону без протиморозних добавок: а) конструкцій, що експлуатуються усередині будівель, фундаментів під устаткування, які не піддаються динамічним впливам, підземних конструкцій;	Не менше 5 МПа	Вимірювальний ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Журнал робіт
б) конструкцій, що піддаються атмосферним впливам у процесі експлуатації, для класу: В 7,5-В 10 В 12,5 - В 25 В 30 і вище; в) конструкцій, що піддаються після закінчення витримування змінному заморожуванню та відтаванню у водонасиченому стані або розміщених у зоні сезонного відтавання вічномерзлих ґрунтів за умови введення до бетону повітропоглинаючих або газоутворювальних ПАР;	Не менше, % проектної міцності: 50 40 30 70	
г) у переднапружених конструкціях; Для бетону з протиморозними добавками	80 До моменту охолодження бетону до температури, на яку розрахована кількість добавок, щонайменше 20 % проектної	

					міцності	
2. Завантаження конструкцій розрахунковим навантаженням допускається після досягнення бетоном міцності					Не менше 100% проектної	
3 Температура води і бетонної суміші на виході зі змішувача, приготованої: а) на портландцементі, шлакопортландцементі, пуццолановому портландцементі марок нижче М600;					Води не більше 70°C, суміші не більше 35°C	
б) на швидкотвердіючому портландцементі та портландцементі марки М600 і вище;					Води не більше 60°C, суміші не більше 30°C	
в) на глиноземистому портландцементі					Води не більше 40°C, суміші не більше 25°C	
4 Температура бетонної суміші, укладеної в опалубку, до початку витримування або термообробки:					Встановлюється розрахунком, але не нижче 5°C	
а) при методі термоса;						
б) із протиморозними добавками;					Не менш ніж на 5°C вище за температуру замерзання розчину замішування	
в) при тепловій обробці					Не нижче 0°C	
5. Температура в процесі витримування і теплової обробки для бетону на:					Визначається розрахунком, але не вище, °C	
а) портландцемент;					80	
б) шлакопортландцемент					90	
6. Швидкість підйому температури при тепловій обробці бетону: Для конструкцій з модулем поверхні, Мп, м²:					Не більше, °C/год:	
до 4						
від 5 до 10					5	
від 10 до 20					10	
св. 20					15	
для стиків					20	
7. Швидкість охолодження бетону після закінчення теплової обробки для конструкцій з модулем поверхні, Мп, м²:					Вимірювальний, журнал робіт	
до 4					Визначається розрахунком	
від 5 до 10					Не більше 5 °C/год	
св. 10					Не більше 10 °C/год	
					ТЗБ 2319235 ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		
					Лист	
					26	

8. Різниця температур зовнішніх шарів бетону і повітря під час розпалубки з коефіцієнтом армування до 1 %, до 3 % і більше ніж 3 % має бути відповідно для конструкцій з модулем поверхні, Мп, м ² : від 2 до 5 св. 5	Не більше 20, 30, 40°C Не більше 30, 40, 50	Те саме.

Забезпечення якості бетонних робіт у зимових умовах пов'язане зі складнощами контролю температурного режиму прогрівання. Основними вимогами, які важко виконати, є дотримання максимально і мінімально допустимих температур прогріву, а також контроль швидкостей підйому і зниження температури бетону. Мінімальна температура прогріву зазвичай приймається як температура бетонної суміші, укладеної в опалубку.

Фактори, що впливають на температурний режим:

1. Утеплення конструкції – опір теплопередачі опалубки та утеплювачів.
2. Розташування нагрівальних елементів – їхнє положення у товщі бетону.
3. Регулювання потужності нагріву – поступова зміна потужності при підвищенні та зниженні температури.

Контроль температури ускладнюється тим, що вимоги потрібно виконувати не по всьому об'єму конструкції, а в кожній її точці. Найбільш критичними є кути та грані конструкції, а також зони, прилеглі до нагрівальних елементів.

Температурні напруження та тріщиностійкість:

Під час зимового бетонування в конструкціях виникають температурні напруження через нерівномірність температурного поля. Це створює ризик тріщин. Хоча нормативні документи майже не розглядають це питання (окрім масивних гідротехнічних споруд), існують рекомендації, які часто базуються на недостатньо обґрунтованих обмеженнях. Наприклад,

деякі автори пропонують допустимі перепади температур до 20°C через переріз конструкції або 10°C по довжині.

Дослідження Ю. Г. Хаютіна показали, що конструкції можуть витримувати перепади температур у 40-50°C без втрати монолітності. Більше того, значні температурні перепади можуть створювати стискаючі напруження, які сприяють тріщиностійкості, особливо якщо джерело тепла розташоване всередині конструкції. Наприклад, метод попереднього електророзігріву створює перепад температур від центру до периферії, що формує стискаючі напруження і зменшує ризик тріщин.

Рекомендації:

Щоб уникнути температурних напружень, достатньо дотримуватися вимог щодо швидкості підвищення і зниження температури бетону у кожній точці конструкції. Для цього необхідно:

- Організувати контроль температурного режиму на основі теплотехнічних розрахунків.
- Використовувати методи з рівномірним розподілом тепла.
- Забезпечувати поступове регулювання температури в процесі нагрівання та охолодження бетону.

Ці заходи дозволять зберегти тріщиностійкість конструкції та забезпечити її якість навіть у зимових умовах.

Наприклад, для визначення миттєвопружного температурного напруження в нагріваній плиті відповідно до [9] можна використати формулу

$$\sigma = \frac{\alpha_r E_1 (T_1 - T_0)}{1 - \nu} - \Psi(z, \tau),$$

Де:

$$\Psi(z, \tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} \left[\frac{E_0}{E_1} + \left(1 - \frac{E_0}{E_1} \right) K(z, \tau) \right] \cdot \left[\frac{dH^*(\tau)}{d\tau} - \frac{\partial H(z, \tau)}{\partial \tau} \right] d\tau;$$

$$\frac{dH^*(\tau)}{d\tau} = \frac{\frac{1}{2h} \int_{-h}^h \left[\frac{E_0}{E_1} + \left(1 - \frac{E_0}{E_1} \right) K(z, \tau) \right] \frac{\partial H(z, \tau)}{\partial \tau} dz}{\frac{E_0}{E_1} + \left(1 - \frac{E_0}{E_1} \right) \frac{1}{2h} \int_{-h}^h K(z, \tau) dz};$$

$$\frac{\partial H(z, \tau)}{\partial \tau} = \begin{cases} \frac{1}{\tau_n} \left[1 - \theta\left(\frac{z}{h}, Fo\right) \right] & \text{при } 0 \leq \tau \leq \tau_n; \\ \frac{1}{\tau_n} \left[\theta\left(\frac{z}{h}, Fo_1\right) - \theta\left(\frac{z}{h}, Fo\right) \right] & \text{при } \tau > \tau_n; \end{cases}$$

$$Fo = \frac{a\tau}{h^2} = \omega \frac{\tau}{\tau_n};$$

$$Fo_1 = \frac{a}{h^2} (\tau - \tau_n) = \omega \left(\frac{\tau}{\tau_n} - 1 \right),$$

Fo - критерій Фур'є; a - коефіцієнт теплопровідності, м²/год; h - півтовщина симетрично нагріваємої вільної плити, або повна товщина односторонньо нагріваємої плити, м; T_0, T_1 - відповідно початкова й кінцева температура в точці, °C; E_0, E_1 - відповідно початковий і кінцевий модуль миттєво-пружної деформації бетону. Па; a_t - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, 1/град; ν - коефіцієнт Пуассона; $K(z, \tau)$ - відносна міцність на стиск; $0 < T < T_n$ - час підйому температури, год; $T > T_n$ - час ізотермічного прогріву, год; $\theta\left(\frac{z}{h}, Fo\right)$ - функція відносної координати z/h і критерію Фур'є.

У процесі теплової обробки бетону зміна температури в будь-якій точці конструкції визначає величину температурних напружень. Величина $(T_1 - T_0)$ у формулі миттєво-пружного температурного напруження відображає саме цю зміну температури. Щоб уникнути надмірних температурних напружень, швидкість зміни температури у кожній точці конструкції повинна залишатися нижчою за граничне значення. Знаючи максимально допустиме миттєво-пружне температурне напруження, можна визначити допустиму швидкість зміни температури бетону.

Дотримання вимог щодо максимально допустимої швидкості підвищення і зниження температури бетону, визначених нормами (наприклад, сучасними ДБН), дозволяє уникнути небажаних температурних напружень. Для цього необхідно проєктувати конструкцію з урахуванням

тривимірного температурного поля, що дозволяє відстежувати зміну температури в будь-якій точці масиву бетону.

Розрахунок температурного поля

Розрахунок температурного поля у бетоні, що твердіє, є складною задачею з області теорії теплопровідності. Це пов'язано з нестабільними умовами, в яких протікає процес тверднення. Існує кілька підходів до вирішення цієї задачі:

1. Аналітичні методи – дозволяють отримати точні рішення, але їх застосування обмежене складністю формулювань і початкових умов.
2. Методи числового інтегрування – використовуються для складних задач, але потребують значних обчислювальних ресурсів.
3. Наближені методи – застосовуються найчастіше в практиці, оскільки вони дозволяють спростити розрахунки. До них належать методи з використанням графіків і номограм, які значно полегшують розрахунки.
4. Методи аналогій – наприклад, гідравлічні або електричні аналогії.
5. Експериментальні методи – базуються на практичних дослідженнях.

Особливості наближених методів

Наближені методи широко використовуються у виробництві зимових бетонних робіт завдяки їхній простоті. Вони дозволяють уникнути складних обчислень, але мають певні обмеження. Спрощення, які застосовуються під час розробки таких методів, знижують їхню універсальність і точність. Тому важливо враховувати область застосування кожного методу, щоб уникнути помилок у розрахунках.

Висновок

Для забезпечення якості зимового бетонування необхідно дотримуватися вимог до температурного режиму бетону. Використання тривимірних моделей температурного поля і поєднання різних методів розрахунку (аналітичних, числових і наближених) дозволяє ефективно

вирішувати задачі, пов'язані з контролем температурних напружень і забезпеченням тріщиностійкості бетонних конструкцій.

2.2 Вплив температури на процес твердіння бетону

Міцність і властивості бетону залежать від багатьох факторів, не обмежуючись лише ступенем гідратації в'язучого матеріалу та фазовим складом новоутворень. Важливу роль відіграє і структура цементного каменю. Просторова структура бетону формується з кристалічних новоутворень, і її якість визначається кількома аспектами:

Наявність дефектів у структурі – чим менше дефектів, тим міцнішим буде бетон.

Кількість і якість кристалів – високоякісні та щільні кристалічні новоутворення забезпечують вищу міцність матеріалу.

Міцність зв'язків між кристалами – зв'язки між окремими кристалами цементного каменю мають бути міцними, щоб бетон витримував навантаження.

Адгезія цементного каменю до заповнювачів – якість зв'язків між цементним каменем і заповнювачами (пісок, щебінь) впливає на загальну цілісність та міцність бетону.

Тому будь-які технологічні впливи на бетон (наприклад, методи укладання, теплової обробки, використання добавок) повинні спрямовуватися на покращення цих показників. Це означає:

Зменшення кількості дефектів шляхом оптимізації умов твердіння бетону (температура, вологість).

Покращення фазового складу через контроль хімічних процесів у цементному камені.

Збільшення адгезії між цементним каменем і заповнювачами за рахунок правильно підібраного гранулометричного складу заповнювачів та спеціальних добавок.

2.2.1 Вплив низьких температур на процес твердіння бетону

Бетон — це капілярно-пористий матеріал, що складається з твердих, газоподібних і рідких фаз. На різних етапах гідратації цементний камінь характеризується різними гідратними новоутвореннями, серед яких гель, кристали $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негідратовані зерна цементу та об'єм пор. У процесі твердіння структура пор і капілярів постійно змінюється.

Сьогодні виділяють таку класифікацію пор цементного каменю:

- ультрамікропори (пори гелю) розміром до 0,01 мкм;
- мікропори (контракційні та мікрокапілярні) розміром 0,01–0,1 мкм;
- перехідні пори розміром 0,1–1 мкм;
- макропори розміром понад 1 мкм.

Окрім цих видів, у бетоні можуть бути більші пори і порожнини седиментаційного характеру, які утворюються залежно від способу укладання суміші та захоплення повітря. У міру дозрівання бетону кількість ультрамікропор і мікропор зростає, тоді як кількість макропор зменшується. Особливо інтенсивно змінюється характер пористості в перші три дні твердіння. Продукти гідратації цементу поступово заповнюють пори та капіляри, що спричиняє перетворення макропор у мікропори, які згодом також зменшуються і наближаються до ультрамікропор. Це забезпечує підвищення щільності бетону з часом.

Замерзання на ранньому етапі твердіння негативно впливає на структуру бетону через такі фактори:

1. Збільшення об'єму води при замерзанні на 9%, що створює внутрішні напруження і пошкоджує структуру.
2. Міграція вологи до охолодженої поверхні, що призводить до утворення льоду, розширення капілярів і локального порушення матеріалу.
3. Ослаблення зв'язку між розчинною частиною та крупним заповнювачем через скупчення води навколо зерен заповнювача.

Фізична структура продуктів гідратації значно впливає на міцність і довговічність бетону. При заморожуванні цементу в ранньому віці його

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		32

гідратація може відновитися за позитивних температур, причому ступінь гідратації може бути навіть вищою, ніж у нормальних умовах. Проте зниження міцності (до 40%) пов'язане з фізичними порушеннями структури.

Дослідження показали, що бетон, заморожений у початковому пластичному стані, може набувати вищої міцності після нормального твердіння порівняно із зразками, які тверділи без заморожування. Це пояснюється тим, що навіть при дуже низьких температурах вода в мікроскопічних порах залишається рідкою, не замерзаючи навіть за -60°C .

Наявність води забезпечує повільну, але тривалу гідратацію цементу навіть за негативних температур. Завдяки цьому ступінь гідратації цементу та кількість в'язучої речовини в бетоні, який попередньо витримувався на морозі, виявляються вищими. Як результат, після подальшого твердіння за позитивних температур міцність такого бетону зростає. Це слід враховувати при оцінці придатності конструкцій, що випадково замерзли, або при бетонуванні методом заморожування. Забезпечення сприятливих тепловологісних умов дозволяє значно підвищити несучу здатність бетонних і залізобетонних конструкцій. Однак для цього необхідно відкласти розпалубку і навантаження конструкції на кілька місяців, до весни чи літа. Це неприйнятно для конструкцій, які мають витримувати навантаження невдовзі після бетонування.

Ефект підвищення міцності спостерігається у випадках, коли заморожування відбувається до початку схоплювання бетонної суміші, оскільки зерна можуть вільно зміщуватися через утворення льодових кристалів, а після відтавання — повертатися в попереднє положення. Якщо заморожування відбувається на стадії, коли процес формування структури вже почався, міцність бетону суттєво знижується. Це зумовлено тим, що кристали льоду, збільшуючись у об'ємі, руйнують слабкий цементний камінь, і ці пошкодження вже не відновлюються.

Для уникнення негативних наслідків нормативні документи, визначають критичну міцність бетону. Після її досягнення подальше

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

заморожування не впливає на кінцеву міцність, оскільки структура бетону вже сформована настільки, щоб протистояти тиску льоду. Це можливо завдяки наявності мікропор, заповнених повітрям або парами води, які зменшують тиск льоду.

При заморожуванні волога переміщується із тепліших внутрішніх шарів до холодніших зовнішніх, де утворює льодові включення, збільшуючись у об'ємі. При повільному заморожуванні вода з тонких капілярів продовжує мігрувати до льодових включень, створюючи високий внутрішній тиск і спричиняючи розрихлення матеріалу. При невеликих негативних температурах значна частина води залишається в рідкому стані, здатному мігрувати. Експерименти, проведені Мироновим С. А., показали, що при температурі -2°C льодистість бетону з В/Ц = 0,45 становила 5-20%, тоді як решта води залишалася в рідкій фазі протягом тривалого часу.

Як зазначено, однією з ключових причин зниження міцності бетону при ранньому заморожуванні є ослаблення зв'язку між розчинною частиною бетону та зернами крупного заповнювача через замерзання води, що обволікає ці зерна. Проте у бетонів на легких заповнювачах структура зазвичай менш руйнується при заморожуванні, ніж у бетонів на важких заповнювачах. Це зумовлено тим, що легкі заповнювачі частково адсорбують і поглинають воду своїми порами, зменшуючи ризик розрихлення структури. Таким чином, у легких бетонах створюються сприятливіші умови для формування структури. Наприклад, після замішування до 30% води може бути поглинено легкими заповнювачами, що знижує водоцементне відношення та сприяє формуванню дрібнопористої структури.

Проте, у нормальних умовах твердіння міцність бетонів на пористих заповнювачах зазвичай на 30–40% нижча, ніж на щільних заповнювачах, через зменшення В/Ц. Для важких бетонів раннє заморожування є небезпечнішим, оскільки воно призводить до суттєвого ослаблення зв'язків між бетоном і заповнювачем, що спричиняє розрихлення структури, зниження міцності та несучої здатності конструкції.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Особливо критичним є раннє заморожування залізобетону, оскільки, окрім ослаблення зв'язків між бетоном і заповнювачем, майже повністю порушується зчеплення бетону з арматурою. Це робить раннє заморожування залізобетону абсолютно неприйнятним.

Заморожування бетону на ранніх стадіях, особливо до завершення схоплювання цементу, значно впливає на його структуру та механічні властивості. Основні властивості бетону, такі як міцність, водонепроникність і морозостійкість, тісно пов'язані з пористістю його структури. При ранньому заморожуванні загальна пористість бетону значно збільшується, що негативно впливає на його міцність і сприяє підвищенню водо- та газопроникності.

За даними Миронова С.А., при заморожуванні бетону за температури -20°C загальна пористість збільшується в основному за рахунок великих пор (понад 1 мкм), тоді як кількість пор розміром 0,1–1 мкм зменшується. Це свідчить про те, що, незважаючи на підвищену морозостійкість, міцнісні характеристики таких бетонів можуть суттєво погіршуватися.

Заморожування бетонних зразків при температурі -2°C відразу після приготування спричиняє збільшення загальної пористості, що негативно впливає на їхню міцність і підвищує проникність. Це особливо критично для морозостійкості, яка значно знижується через збільшення кількості пор розміром 0,1–1 мкм. Як зазначає Миронов С.А., зразки, заморожені при температурах -2 і -5°C , демонструють дещо вищу проникність, ніж ті, що заморожувалися при -10 і -20°C .

Ці спостереження дозволяють зробити висновок, що раннє заморожування бетону суттєво порушує його структуру, причому ступінь порушень залежить від моменту заморожування і температури. Чим раніше відбулося заморожування і чим ближчою до 0°C була температура, тим більш значними є негативні наслідки.

Виходячи з цього, єдиним способом забезпечення якості бетонних конструкцій у зимовий період є використання стандартних методів зимового бетонування. Ці методи створюють необхідні умови для твердіння бетону, запобігаючи його замерзанню на ранніх етапах і мінімізуючи ризики, пов'язані із впливом низьких температур.

2.2.2. Вплив високих температур на процес твердіння бетону

За результатами досліджень [12, 13, 14], тепловологісна обробка бетону при температурах до 100°C не змінює фазовий склад новоутворень порівняно з нормальними умовами твердіння. Основним фактором прискорення процесу твердіння є підвищення температури, яке активізує хімічні реакції між водою і цементом. Нагрівання прискорює гідратацію завдяки збільшенню кінетичної енергії молекул, що сприяє ефективним зіткненням і хімічним реакціям [8].

Особливості процесу гідратації

Гідратація цементу є гетерогенним процесом і проходить у три стадії:

1. Доставка води до зерен цементу (дифузія).
2. Хімічна взаємодія на межі розділу фаз "цемент-вода".
3. Дифузія продуктів реакції в рідку фазу.

Швидкість цього процесу визначається найповільнішою стадією. Підвищення температури збільшує кінетичну енергію молекул, прискорюючи дифузійні процеси і взаємодію цементних мінералів із водою. Проте в умовах дифузійного контролю підвищення температури має обмежений вплив через формування гідратних оболонок навколо зерен цементу, які ускладнюють доступ води.

Вплив температури на структуру бетону

Тепловологісна обробка бетону може спричиняти накопичення необоротних деформацій розширення через нагрівання. Це явище може викликати утворення мікротріщин та дефектів у структурі, що знижує

міцність бетону. Найбільше розширення відбувається під час швидкого підйому температури, коли термічні деформації випереджають хімічні процеси твердіння.

При нагріванні компоненти бетону розширюються нерівномірно:

- Тверді фази розширюються незначно (0,15–0,20% при нагріванні від 20 до 90°C) [8].

- Вода розширюється значно більше (2,7–3%, тобто в 15–20 разів більше за тверді компоненти).

- Газова фаза розширюється найсуттєвіше (22–25%, що в 100–150 разів більше за тверді компоненти і в 8–10 разів більше за воду).

Це вказує, що основними факторами об'ємних деформацій є розширення води (8–12% об'єму суміші) та газової фази, яка може досягати 5% загального об'єму в бетоні на щільних заповнювачах і до 50% на пористих.

Потенційні недоліки тепловологісної обробки

Попри прискорення процесів твердіння, тепловологісна обробка може спричинити такі негативні явища:

- Підвищення пористості бетону.
- Зниження міцності через утворення мікротріщин.
- Погіршення проникності гідратних оболонок для води, що може уповільнювати дифузійні процеси на пізніх стадіях.

Таким чином, тепловологісна обробка бетону ефективна для прискорення твердіння, але потребує ретельного контролю температурного режиму для запобігання негативним змінам у структурі.

Під час теплової обробки велика кількість води та повітря в бетоні негативно впливає на формування його структури через термічне розширення, яке створює значний надлишковий тиск у порах матеріалу. Негативний вплив води посилюється її частковим перетворенням у пару, оскільки температура кипіння рідини в капілярах є нижчою.

Наслідки утворення пари

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		37

1. **Збільшення об'єму.** Коли утворюється пара, об'єм різко зростає – у 1600–2000 разів. Якщо це відбувається в закритих порах бетону, створюється великий тиск, що може спричинити руйнування структури.
2. **Розширення газової частини.** Утворена пара разом із повітрям значно збільшує газову фазу. Особливо це помітно, коли температура підвищується вище 60°C – гази мають тенденцію швидко розширюватися при нагріванні.

Роль стиснення цементного каменю

Під час затвердіння цементний камінь трохи стискається, і це створює місце у порах. Завдяки цьому розширена вода має куди "піти", і структура бетону стає менш вразливою до пошкоджень. Це дуже важливо, бо допомагає уникнути внутрішніх напружень, які можуть спричинити тріщини.

Що впливає на пошкодження структури

1. **Темп нагрівання.** Коли бетон нагрівається занадто швидко, тиск всередині сильно зростає, що призводить до появи мікротріщин.
2. **Початкова міцність бетону.** Якщо бетон спочатку дуже міцний, він краще переносить цей внутрішній тиск і менше пошкоджується.

Отже, утворення пари – це серйозний фактор, який треба враховувати при роботі з бетоном, особливо якщо він піддається високим температурам.

Розуміння цих процесів допоможе уникнути проблем і забезпечити довговічність конструкцій.

Способи зменшення структурних порушень

Для зменшення дефектів у бетоні під час теплової обробки існують такі підходи:

1. **Попереднє витримування:** Забезпечує приріст міцності до початку теплової обробки.
2. **Контроль швидкості нагрівання:** Повільне підвищення температури дозволяє міцності бетону зростати швидше, ніж внутрішній тиск. Це також

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

сприяє релаксації напружень, але збільшує тривалість циклу теплової обробки, що не завжди прийнятно для виробництва.

Інноваційні режими нагрівання

Щоб уникнути тривалого попереднього витримування та зменшити ризик пошкоджень, були розроблені ступінчасті режими нагрівання і режими з поступово зростаючою швидкістю підйому температури. Їхні ключові принципи:

- Початковий етап: Мінімальна швидкість підйому температури для свіжого бетону, який ще не має достатньої міцності.

- Наступні етапи: Зі зростанням міцності бетону дозволяється вищий темп нагрівання.

Додаткові рекомендації

Баженов Ю.М. [14] запропонував низку методів для зниження деструктивних процесів під час нагрівання, включаючи використання оптимальних режимів обробки, які враховують властивості конкретних бетонів і умов їх застосування.

Таким чином, контроль температурного режиму і швидкості нагрівання є ключовими факторами, що забезпечують якість бетону під час теплової обробки.

Таблиця 2.2 - Способи зниження впливу деструктивних процесів у бетоні під час підйому температури

Спосіб	Пояснення
Тепловологісне оброблення в пароповітряному або паровому середовищі з надлишковим тиском (в автоклавах і напірних пропарювальних камерах)	Створюваний у пароповітряному середовищі тиск врівноважує надлишковий тиск, що виникає в бетоні, перешкоджає його вільному розширенню, зменшує внутрішнє масопереношення, ущільнює структуру бетону загалом.
Теплова обробка в закритих металевих формах	Обмежує вільне теплове розширення бетону, усуває зовнішній масообмін
Прогрівання з підйомом температури в прогресивно зростаючому темпі або за ступінчастим графіком так, щоб	Надлишковий тиск, що утворюється в бетоні, компенсується внутрішньооб'ємним вакуумом,

внутрішні напруження не перевищували міцності бетону на даний час	напруженням, які виникають, протидіє міцність структури бетону, яка сформувалася. У результаті температурні деформації бетону, що прогрівається, не перевищують температурних деформацій затверділого бетону
Попереднє витримування	Призводить до розвитку контракційних явищ і появи початкової міцності бетону, що сприяє опору бетону внутрішнім напруженням, які виникають під час нагрівання, та їхньому зменшенню
Тепловологісне оброблення в середовищі зі змінною відносною вологістю	Зменшує надлишковий тиск у бетоні, дає змогу регулювати зовнішній і внутрішній тепломасообмін
Застосування жорстких добре ущільнених бетонних сумішей і всі способи прискорення тверднення бетонів у початковий період прогрівання	Обмежує вміст води і повітря, прискорює зростання міцності бетону і виникнення контракційних явищ
Попередній електро- або паророзігрів бетонної суміші до формування виробів	Усуває температурно-вологісний градієнт за перерізом виробу, прискорює процеси гідратації цементу
Обмеження температури нагріву (наприклад, нижче 80°C)	Зменшує розширення складових бетону, особливо газоподібної фази, що різко зростає після 80°C, і в такий спосіб знижує надлишковий тиск у бетоні °C і внутрішній тиск, що виникає

2.3 Методи зимового бетонування та їх розрахункове обґрунтування

Виробництво бетонних робіт у зимовий час допускає цілу низку рішень. При цьому найважливішим завданням є вибір для даного конкретного випадку способу або комбінації способів, наведених на рис. 2.1. Згідно з [2], попередній вибір способу зимового бетонування залежно від масивності конструкції (Мп) можна провести, користуючись даними табл.

1.3. При цьому модуль поверхні конструкції (M_p, m^{-1}) дорівнює відношенню суми площ поверхонь конструкції, що охолоджуються, до її об'єму.

Таблиця 2.3 Рекомендовані способи витримування бетонних і залізобетонних конструкцій

Конструкції	Модуль поверхні, m^{-1}	Рекомендований спосіб
Масивні бетонні та залізобетонні фундаменти	До 3	Спосіб термоса, спосіб термоса із застосуванням прискорювачів твердіння бетону при температурі зовнішнього повітря нижче $-20^{\circ}C$. Бетон із протиморозними добавками за нижчих температур
Фундаменти під конструкції будівель і устаткування, масивні стіни тощо	3 - 6	Спосіб термоса, спосіб термоса із застосуванням прискорювачів твердіння. Бетон із протиморозними добавками. За необхідності отримання заданої міцності бетону в короткі терміни або за температури зовнішнього повітря нижче $-15^{\circ}C$ - попередній електророзігрів бетонної суміші, або периферійний електропрогрів, або застосування нагрівальної опалубки.
Колони, балки, прогоны, елементи рамних конструкцій, пальові ростверки, стіни, перекриття тощо.	6 - 10	Бетон із протиморозними добавками. Попередній електророзігрів бетонної суміші, електродне прогрівання, електрообігрів із застосуванням гріючих опалубок, покривал і щитів
Підлоги, перегородки, плити перекриттів, тонкостінні конструкції	10-20	Електродне прогрівання, обігрів за допомогою гріючої опалубки. Бетон із протиморозними добавками (для підлог)
Стики, підливи	20-100	Електродний прогрів, індукційний нагрів, застосування добавки поташу або нітриту натрію

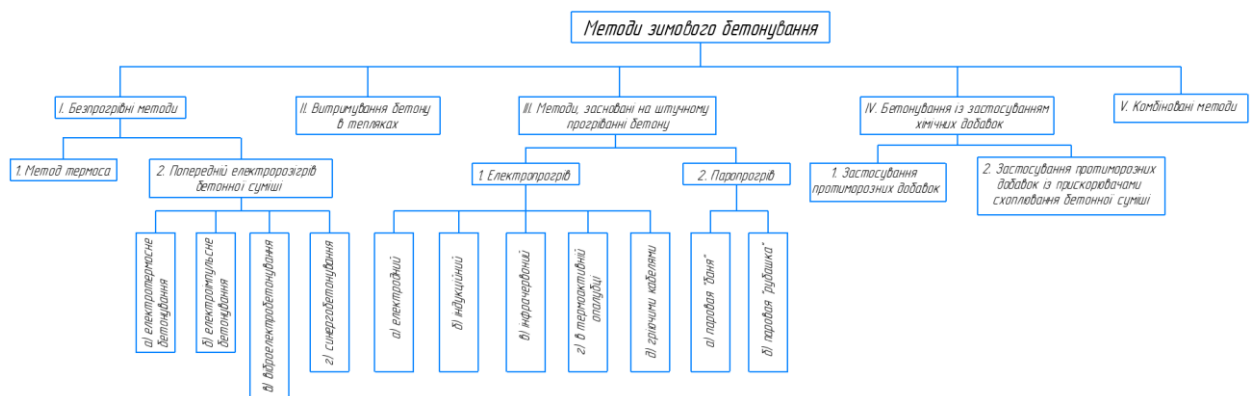


Рис. 2.1. Класифікація методів зимового бетонування

2.3.1 Методи бетонування взимку без нагрівання

Це способи, де використовують тепло, яке вже є в бетонній суміші, плюс тепло, яке виділяється під час хімічних реакцій у бетоні.

2.3.2 Метод термоса

Як пишуть у різних джерелах, цей спосіб зимового бетонування працює за рахунок тепла, яке виділяється під час застигання бетону, використання утеплювачів і додаткового підігріву самої суміші, прилеглих конструкцій або основи, на яку укладається бетон. Бетон зазвичай заливають у спеціальну утеплену опалубку, і температура суміші при цьому має бути не нижче $+5^{\circ}\text{C}$. Для досягнення потрібної температури підігрівають воду для замішування, прогрівають заповнювачі або сам бетон. Для нагріву води застосовують парові трубки, газові чи електричні нагрівачі.

Головна мета цього методу – зберегти тепло, яке було внесене в бетон на всіх етапах: від транспортування і укладання до ущільнення і витримання. Найкраще для цього підходять бетони на цементах, які швидко нагріваються і міцніють на ранніх етапах.

Метод "термос" найчастіше використовують для великих конструкцій (Мп до 6 м⁻¹) при температурі на вулиці до -15°C. Необхідна міцність досягається тільки в масивних конструкціях, бо під час транспортування і укладання бетон втрачає частину тепла. Для бетонування середніх конструкцій цей метод комбінують з іншими способами прогріву або додають спеціальні хімічні добавки.

Режим температури бетонної суміші, починаючи з її приготування і до укладання в опалубку, можна показати графіками (рис. 1.2).

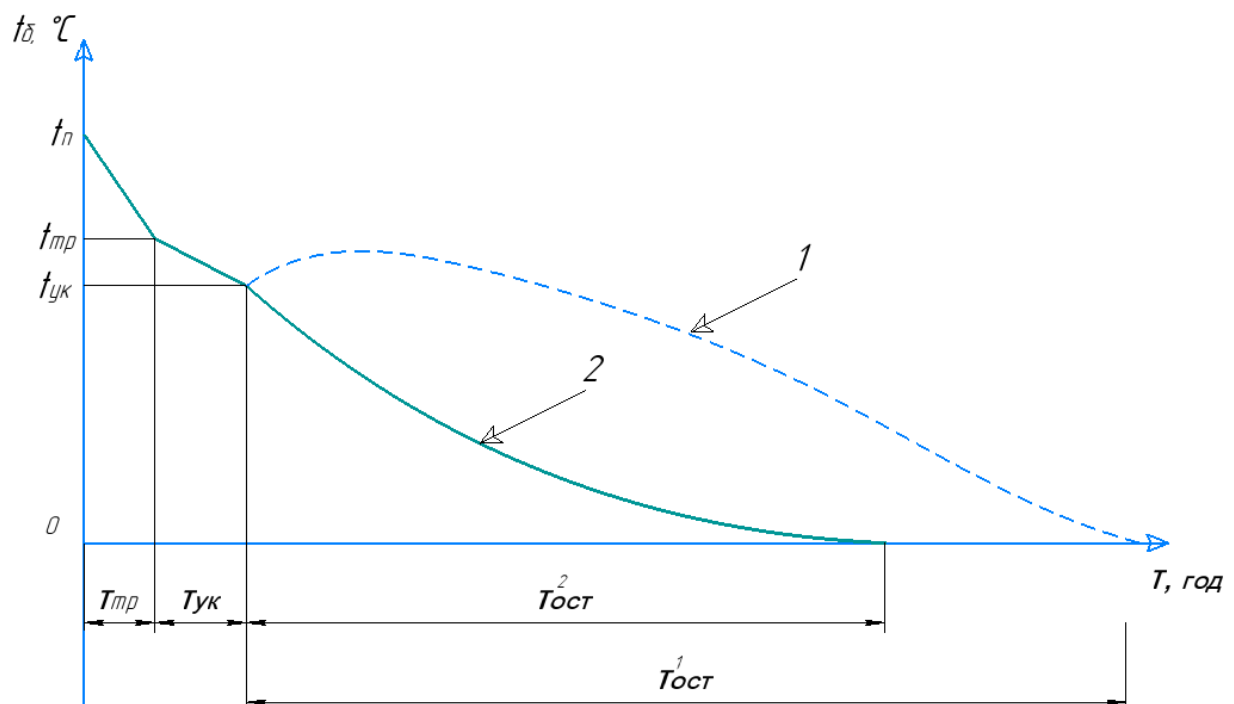


Рис. 2.2. Формування температурного режиму бетонної суміші під час застосування методу термоса 1 - температура в центрі конструкції; 2 - те саме на периферії

Розрізняють три основні етапи:

- Зниження температури бетонної суміші на заводі до рівня P_p під час транспортування на будівництво, що триває $T_{тр}$.
- Подальше зниження температури від P_p до P_k , коли суміш укладають в опалубку протягом часу $t_{ук}$.

- Остаточне охолодження бетону в конструкції від Тук до кінцевої температури t_{pp} за час $T_{ост}$.

Теплотехнічний розрахунок витримування бетону методом "термос" включає визначення двох головних показників:

1. Тривалість охолодження конструкції та рівень міцності бетону, який досягається за цей період, враховуючи характеристики опалубки та утеплення.

2. Коефіцієнт теплопередачі опалубки й утеплювача, потрібний для досягнення бажаної міцності бетону.

Згідно з дослідженнями, початкову температуру суміші (t_0), яка укладається в конструкцію, можна розрахувати за спеціальною формулою. Вона враховує всі фактори, що впливають на температурний режим бетону під час його затвердіння в зимових умовах.

$$t_0 = t_{б.с} - \Delta t_{оп},$$

Де:

$t_{б.с}$ — температура бетонної суміші після транспортування та укладання, °С;

$\Delta t_{оп}$ — зниження температури бетонної суміші через нагрівання опалубки та арматури, °С.

Такий підхід допомагає зробити процес бетонування взимку більш ефективним, забезпечуючи потрібну якість і міцність бетонних конструкцій навіть при низьких температурах.

Температура бетонної суміші $t_{б.с}$ визначається за формулою.

$$t_{б.с} = t_{вых} - (t_{вых} - t_{в}) \sum_{i=1}^i \Delta t_i',$$

Де:

- $t_{вых}$ — температура бетонної суміші на виході з заводу, °С;
- $t_{в}$ — температура зовнішнього повітря, °С;

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- $\Delta t'$ — зниження температури бетонної суміші під час виконання окремих операцій (транспортування, перевантаження, укладання, ущільнення) за кожен 1°C різниці між температурою суміші та повітря.

Температурне зниження бетонної суміші через нагрівання опалубки та арматури визначають за спеціальною формулою.

$$\Delta t_{\text{оп}} = t_{\text{б,с}} - \frac{t_{\text{б,с}} + t_{\text{в}}(k_{\text{а}} + 0,5k_{\text{оп}})}{1 + k_{\text{а}} + 0,5k_{\text{оп}}},$$

Де

$$k_{\text{а}} = \frac{C_{\text{а}} \cdot m_{\text{а}}}{c \cdot \rho \cdot V}, \quad k_{\text{оп}} = \frac{C_{\text{оп}} \cdot m_{\text{оп}}}{c \cdot \rho \cdot V};$$

Де:

- $m_{\text{а}}$ і $m_{\text{оп}}$ — маса арматури та опалубки відповідно, кг;
- $C_{\text{а}}$ і $C_{\text{оп}}$ — питома теплоємність арматури та опалубки відповідно,

Вт·год/(кг·°C);

- c , ρ , V — питома теплоємність, густина та об'єм бетону в конструкції відповідно.

Як зазначено в джерелі [2], орієнтовну тривалість охолодження бетону в конструкціях із масивністю (Мп) від 3 до 8 м⁻¹ можна визначити за формулою Скрамтаєва Б. Г.

$$\tau = \frac{C_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot (t_0 - t_{\text{б,к}}) + \text{ЦЭ}}{3,6 \cdot K_{\text{т}} \cdot \text{Мп} \cdot (t_{\text{б,ср}} - t_{\text{н,в}})},$$

Де:

- $C_{\text{б}}$ — питома теплоємність бетону, кДж/(кг·°C);
- $\rho_{\text{б}}$ — середня густина бетону, кг/м³;
- E — кількість тепла, що виділяється цементом за час твердіння, кДж/кг;
- Ц — витрата цементу в бетонній суміші, кг/м³;
- $K_{\text{т}}$ — приведений коефіцієнт теплопередачі опалубки, Вт/(м²·°C);
- t_0 — температура бетону до кінця охолодження, °C;

- $t_{з.п.}$ — температура зовнішнього повітря, що береться середньою за час охолодження, °C;

- $t_{б.ср}$ — середня температура бетону за час охолодження, яка визначається за формулою.

$$t_{б.ср} = t_{б.к} + \frac{t_0 - t_{б.к}}{1,03 + 0,181Mп + 0,006(t_{б.н} - t_{б.к})}.$$

Згідно з дослідженнями С. А. Миронова, формула Б. Г. Скрамтаєва є досить точною для оцінки часу охолодження бетону до 0°C. Це підтверджується як розрахунковими, так і експериментальними даними для конструкцій з масивністю від 4 до 12 м⁻¹, за таких умов: різниця температур між бетоном і навколишнім середовищем до 50°C, а початкова температура бетону в межах 15–35°C. Така точність пояснюється тим, що в обчисленнях середнє тепловиділення цементу не враховує зміни температури в процесі охолодження.

Однак формула має обмеження: вона не включає коефіцієнтів для розрахунку середньої температури твердіння бетону при високих початкових температурах і значних перепадах температур (понад 50°C).

Для конструкцій із масивністю до 3 м⁻³ застосовують методику професора В. С. Лук'янова. Вона базується на формулі Скрамтаєва, але вирізняється тим, що вирішення диференціального рівняння теплопровідності (рівняння Фур'є) виконується точними математичними методами із застосуванням кінцевих різниць. У цьому підході весь період охолодження поділяють на інтервали Δt , де кінцева температура одного інтервалу стає початковою для наступного.

Екзотермія цементу враховується через перехідні коефіцієнти часу й температури, обчислені для умов твердіння при 20°C. Цей метод дозволяє точно визначити, як змінюється температура бетону в кожному шарі конструкції, але вимагає значних зусиль і часу. Для спрощення використовують додаткові графіки й номограми.

У 1970 році В. І. Мулін запропонував альтернативну формулу для розрахунку охолодження бетону, яка також використовується для оцінки температурних змін у конструкціях.

$$\tau_{oc} = \frac{C_b}{\psi \cdot K_r \cdot M_{II}} \cdot \ln \frac{t_{b,n} - t_{n,b}}{-t_{n,b}},$$

Де:

- C_b — об'ємна теплоємність бетону, Вт·год/(м²·°С);
- ψ — коефіцієнт нерівномірності розподілу температур, який показує співвідношення середньої надлишкової температури на поверхні конструкції до середньої надлишкової температури в об'ємі конструкції (визначається за таблицею залежно від модуля поверхні).

У цьому підході вважається, що коефіцієнт нерівномірності ψ залежить тільки від модуля поверхні M_{II} , але насправді на нього впливає багато інших факторів:

- Умови навколишнього середовища: температура повітря, вітер (швидкість і напрямок);
- Технологічні параметри: початкова температура бетону, марка цементу, витрата цементу, тепловиділення (екзотермія) тощо;
- Конструктивні особливості: форма конструкції, модуль поверхні, тип і теплоізоляція опалубки.

Цей метод має обмеження, оскільки надає усереднене значення часу охолодження для всієї конструкції, не враховуючи локальні відмінності температури в різних її частинах.

Схожі розрахункові підходи були розроблені А. С. Арбенським. Він уточнив розрахунки теплових втрат бетонної суміші, враховуючи нагрівання опалубки, арматури та основи, яка може бути промерзлою. А саме

$$t_{yk} = t_{tp} - (t_{tp} - t_b) \left[0.002 \frac{\tau_{yk}}{h_{yk}} + k_{ak} M_{II} + 0.0002 m_a + \frac{k_{oc}}{h_k} \right],$$

Де:

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- **t_{yk}** — температура бетонної суміші після укладання в опалубку, °C;
- **t_{tp}** — температура бетонної суміші після транспортування, °C;
- **h_{yk}** — товщина шару, який укладається, м;
- **как** — коефіцієнт, що враховує здатність опалубки акумулювати тепло, (м·°C)/(°C·C);
- **ma** — насиченість конструкції арматурою, кг/м³;
- **кoc** — коефіцієнт, що враховує здатність мерзлої основи акумулювати тепло, (м·°C)/(°C);
- **hk** — середня висота конструкції над основою, м.

А. С. Арбенсьєв [21] також уточнив формулу для обчислення середньої температури охолодження бетону **t_{oc}**, враховуючи нерівномірність температурного поля через коефіцієнт **Ψ**. Це вдосконалення дозволяє точніше враховувати розподіл температури в конструкції.

$$\tau_{oc} = \frac{C_6}{K_r \cdot M_{п} \cdot \psi}.$$

Цей метод має схожі обмеження, як і попередній.

Для полегшення обчислень було створено номограми, які дозволяють швидко визначати час охолодження та набору міцності бетону, використовуючи температурний параметр θ і критерій Фур'є Fo . Однак деякі дослідники вважають, що ці номограми потребують доопрацювання.

В. І. Зубков зазначає, що при розрахунках температурного режиму для зимового бетонування різні споруди, наприклад гідротехнічні об'єкти, можна уявляти як:

- необмежену пластину;
- брус прямокутного перерізу;
- необмежений циліндр;
- системи тіл, які включають пластину або циліндр.

Для цих моделей сформульовано крайові задачі на основі одновимірного диференціального рівняння теплопровідності. Це дозволяє визначати температурний розподіл у конструкції та прилеглих матеріалах не лише під час охолодження бетону в опалубці, але й при його електропрогріві.

Методи розрахунків спрощені для практичного використання завдяки номограмам, які зменшують кількість необхідних обчислень. Але через аналітичний підхід (метод Лапласа) та одновимірність моделі довелося зробити низку спрощень. Це знижує точність і унеможливорює врахування змінних умов навколишнього середовища або режимів нагрівання (наприклад, переривчастий або регульований прогрів).

Більшість методів базується на середній температурі бетону, не враховуючи променевого теплообміну між конструкцією та середовищем. Теплоопір поверхні $1/\alpha$ (де α — коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$) враховується лише залежно від швидкості вітру та форми опалубки, що також впливає на точність.

Для врахування всіх теплових втрат використовується метод еквівалентної температури повітря θ_e . Оскільки до поверхні конструкції постійно надходить тепло з внутрішніх шарів бетону, граничні умови II та III роду на поверхні охолодження об'єднують, замінюючи фактичну температуру середовища θ еквівалентною θ_e . Тобто:

$$-\lambda \partial n / \partial t = \sum S + \alpha(\theta - t_{\text{п}}) = \alpha(\theta \Sigma - t_{\text{п}}),$$

де

$$\theta_e = \theta + \sum S / \alpha$$

Де:

- Σq — сумарні тепловтрати через поверхню конструкції, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $t_{\text{п}}$ — температура поверхні конструкції, $^\circ\text{C}$.

До основних складових тепловтрат входять:

- q_R — втрати тепла через випромінювання, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- q_K — втрати тепла через конвекцію, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

- **qB** — втрати тепла через випаровування, Вт/м².

Згідно з дослідженнями, радіаційну складову теплообміну (**qR**) можна розрахувати за спеціальною формулою:

$$S_R = (Q + q) \cdot 0 \cdot [1 - (1 - \kappa)\eta] \cdot (1 - A)^{(-1)} \cdot (1 - \zeta^{\eta^{\wedge}}) \cdot 3.6\alpha \cdot T_e^4 \cdot (T_p - T_e)$$

Де:

- η — хмарність, виражена в частках від одиниці (0 — безхмарно, 1 — повністю хмарно);
- $(P + q)_0$ — сумарна сонячна радіація на рівні моря при хмарності $\eta = 0$, Вт/м²;
- k і C_ϕ — безрозмірні коефіцієнти, які залежать від широти місцевості (ϕ);
- A — коефіцієнт відбиття (альбедо) поверхні конструкції (для більшості будівельних конструкцій $A = 0.1$);
- I — ефективне випромінювання при безхмарному небі, Вт/м²;
- T_e і T_p — абсолютні температури повітря та поверхні конструкції відповідно, у К (де $T = 273.16 + t$, t — температура в °С);
- α — стала Стефана-Больцмана, що дорівнює 5.67×10^{-8} Вт/(м²·К⁴).

Ці параметри враховують різні фактори, які впливають на радіаційний теплообмін, такі як погодні умови, розташування конструкції, властивості її поверхні та температури.

Конвективна складова теплообміну (**qK**) визначається за спеціальною формулою, яка враховує швидкість вітру та температурну різницю між поверхнею конструкції та повітрям.

$$S_K = \alpha (\theta - t_p)$$

Оскільки втрати тепла на випаровування вважаються нульовими через захист конструкції від втрати вологи (застосування плівкоутворюючих матеріалів або водовідштовхувальної опалубки), формула для визначення еквівалентної температури включає тільки складову радіаційних тепловтрат (**qR**).

Конвективні тепловтрати автоматично враховуються через коефіцієнт тепловіддачі (α) у граничних умовах, що розраховуються за відповідною формулою.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі α використовується наступна формула:

$$\alpha = \frac{Nu_{f,L} \lambda_f}{L},$$

Де:

- λ_f — коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·°C);
- L — довжина пластини або конструкції, м;
- $Nu_{f,L}$ — критерій Нуссельта, який враховує співвідношення конвективного і провідного теплообміну.

$$Nu_{f,L} = 0.037 Re_{f,L}^{0.8} Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.25},$$

де $Re_{f,L}$ - критерій Рейнольдса:

$$Re_{f,L} = wL / \nu_f;$$

Де:

- w — швидкість руху рідини (або швидкість вітру), м/с;
- ν_f — кінематична в'язкість рідини (або повітря), м²/с;
- Pr_f — критерій Прандтля за температурою рідини (або повітря) t_f ;
- Pr_w — критерій Прандтля за температурою стінки t_w .

$$Pr_f = \frac{\nu_f}{a_f}, \quad Pr_w = \frac{\nu_w}{a_w},$$

де a - коефіцієнт температуропровідності рідини (повітря), м²/год:

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma};$$

c - теплоємність рідини (повітря), Вт-год/(кг·°C); γ - питома вага рідини (повітря), кг/м³.

Для врахування втрат тепла конструкцією через конвекцію в розрахунках слід використовувати коефіцієнт тепловіддачі α , який залежить від швидкості вітру w . Для оцінки тепловтрат через радіацію застосовують еквівалентну температуру θ_e , що враховує фактичну температуру повітря θ , коефіцієнт тепловіддачі α та радіаційну складову втрат тепла δ_k .

Інший підхід до обліку радіаційних та конвективних втрат тепла наведено в ДБН "Будівельна теплотехніка". У ньому, залежно від пори року та типу конструкції, вказано значення коефіцієнта тепловіддачі поверхні при швидкості вітру 5 м/с.

На рис. 1.3 представлені температурні графіки для точки на поверхні конструкції, отримані за однакових зовнішніх умов:

пунктирна лінія відповідає даним за ДБН;

суцільна лінія відображає результати розрахунків із використанням еквівалентної температури θ_e .

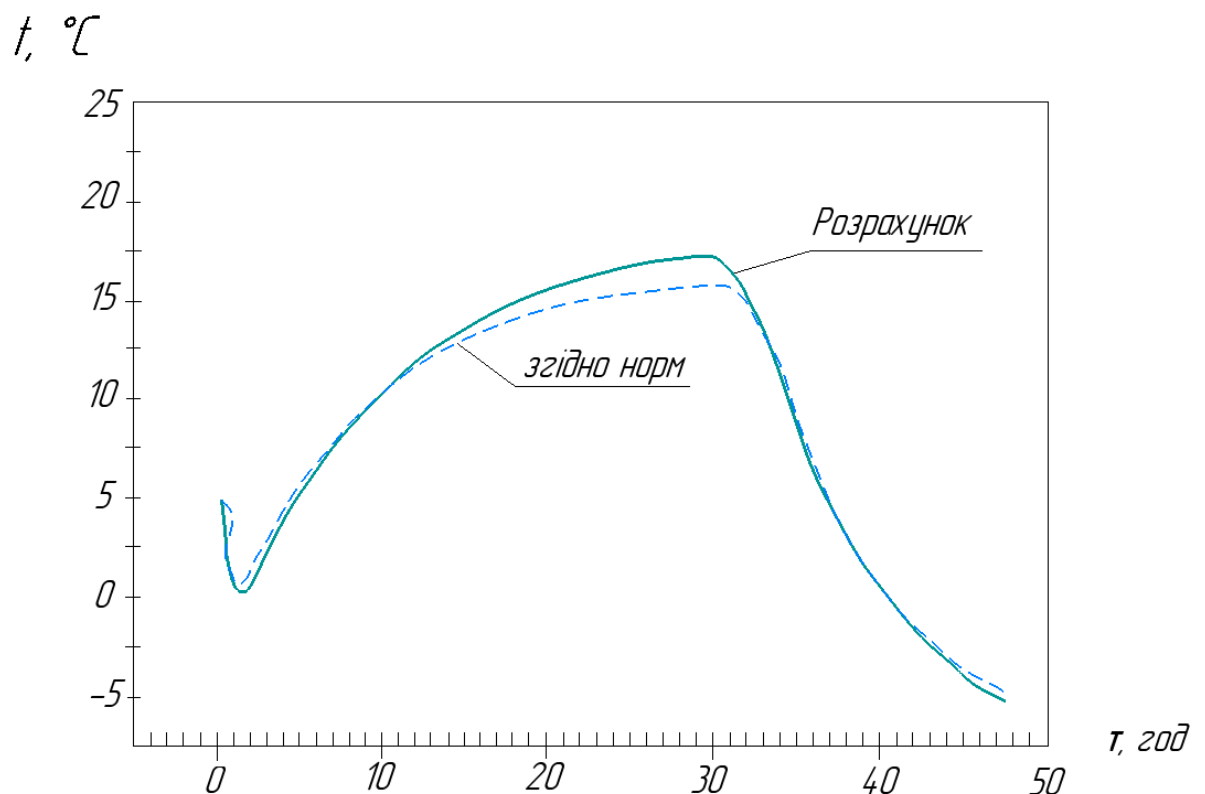


Рис. 2.3. Температура на поверхні конструкції на основі даних ДБН і під час розрахунку з використанням еквівалентної температури

Як показують діаграми, різниця між температурними показниками, отриманими за старими нормами СНіП і методом розрахунку коефіцієнта тепловіддачі та еквівалентної температури, становить приблизно 3-4%. Це підтверджує, що розрахунки є досить точними. Проте через те, що дані СНіП орієнтовані на конкретну швидкість вітру, яка часто не збігається з реальними умовами, більш надійним способом є використання еквівалентної температури та розрахованого коефіцієнта тепловіддачі.

Варто відзначити, що при розрахунку температурного поля всієї конструкції немає необхідності визначати коефіцієнт тепловіддачі для кожної точки. Замість цього можна застосувати середню температуру поверхні конструкції, щоб обчислити новий коефіцієнт тепловіддачі на кожному етапі.

Для оцінки міцності бетону можна користуватися таблицями або графіками, які показують, як зростає міцність для різних марок бетону, а також спеціальними формулами. Наприклад, Арбен'єв А.С. пропонує формулу для розрахунку відносної міцності бетонної конструкції.

$$R = R_{20} \cdot \sqrt[3]{\tau_{\text{ТВ}}} + \frac{\Delta t \cdot \Delta R_t}{\tau_{\text{ТВ}}} + \Delta R_{\text{об}} - 3M_{\text{п}},$$

де:

- R — процентне значення міцності бетону відносно проектного показника;
- R₂₀ — міцність бетону після доби твердіння за температури +20°C;
- τ_{ТВ} — час твердіння до моменту замерзання (у днях);
- Δt — різниця між фактичною температурою бетону та +20°C (у градусах);
- ΔR_t — приріст міцності бетону за кожен градус підвищення температури (у % за добу на градус);
- ΔR_{об} — приріст міцності бетону через спеціальну обробку чи використання хімічних добавок (у %).

Деякі вчені [15] вважають, що залежність між відносною міцністю бетону, часом твердіння (τ) і середньою температурою бетону можна добре описати наступною формулою:

$$R = 100 \cdot \left[1 - \exp \left(-k_{20} \left(\frac{t_{\tau} - t_n}{20 - t_n} \right)^n \cdot \tau \right) \right],$$

У цьому рівнянні використовуються такі позначення:

- k_{20} — коефіцієнт, що визначає швидкість твердіння бетону за умови середньої температури $+20^{\circ}\text{C}$;
- t_{τ} — фактична температура бетонної суміші (у градусах);
- t_n — базова температура (-11°C), при якій, за даними [15], твердіння бетону повністю зупиняється;
- n — параметр, який показує, наскільки активно відбувається твердіння бетонної суміші;
- τ — час витримування бетону (у годинах).

Це рівняння допомагає оцінити, як змінюється міцність бетону залежно від часу та температури, за якої він витримується. Формула створена для розрахунку міцності бетону, орієнтуючись на середню температуру та час його твердіння. Але для точного визначення температури і міцності в кожній точці конструкції потрібно знайти зв'язок між температурним полем і процесом набору міцності бетоном.

Для цього були запропоновані такі підходи:

1. Замість середньої температури бетону (t_b) використовувати середньозважену температуру за часом прогріву в кожному вузлі просторової сітки конструкції ($t_{\tau [i,j,k]}$).

2. Замість часу твердіння (τ) враховувати поточний час теплової обробки (T).

З урахуванням цих змін формула (1.26) набуває такого вигляду:

$$R[i, j, k] = 100 \cdot \left[1 - \exp \left(-k_{20} \left(\frac{t_{\tau [i, j, k]} - t_n}{20 - t_n} \right)^n \cdot T \right) \right],$$

Цей підхід дає змогу точніше моделювати процес твердіння бетону, враховуючи локальні температурні умови в різних ділянках конструкції.

У цьому рівнянні $t_{\tau}[i,j,k]$ — це середньозважена температура бетону за час теплової обробки, яка виражається в градусах Цельсія. Її значення розраховується за такою формулою:

$$t_{\tau}[i,j,k] = \frac{\int_0^T t[i,j,k] d\tau}{T},$$

де T - поточний час теплової обробки, год.

2.3.3 Попередній електророзігрів бетонної суміші

Електротермосне бетонування

Дослідники [7, 15, 21 та ін.] описують метод зимового бетонування, який полягає в нагріванні охолодженої бетонної суміші занурюваними електродами. Процес триває 10-15 хвилин, під час якого бетон нагрівають до 50-80°C у спеціальних бункерах чи кузовах самоскидів, використовуючи електромережу з напругою 220 або 380 В. Потім суміш швидко укладають в утеплену опалубку, ущільнюючи її до початку тужавіння. Верх конструкції також утеплюють.

Щоб уникнути втрати вологи з поверхні нагрітого бетону, застосовують два способи: покривають поверхню плівковими гідроізоляційними матеріалами або наносять спеціальні суміші, що утворюють плівку. Для зменшення тепловтрат при охолодженні бетону використовують теплоізоляційні матеріали, схожі до тих, що застосовують у методі термоса.

У середньомасивних конструкціях необхідну міцність бетону до замерзання досягають завдяки підтриманню високої температури у перші години тверднення через інтенсивне тепло, яке виділяє цемент. Вчасний термічний імпульс (до початку тужавіння) суттєво підвищує температуру і сприяє утворенню пари. Ця пара глибоко проникає в цементні зерна,

пришвидшуючи реакції і зменшуючи час термообробки в десятки чи сотні разів.

Температура нагрівання бетонної суміші визначається за теплотехнічними розрахунками. Її максимальні значення залежать від типу цементу: для бетонів на портландцементі не більше 80°C , а на шлакопортландцементі — до 90°C [1, 15, 21 тощо].

За інформацією [15], температурний режим бетонної суміші, починаючи від її приготування до укладання розігрітого бетону в опалубку, можна зобразити графіками, наведеними на рис. 1.4.

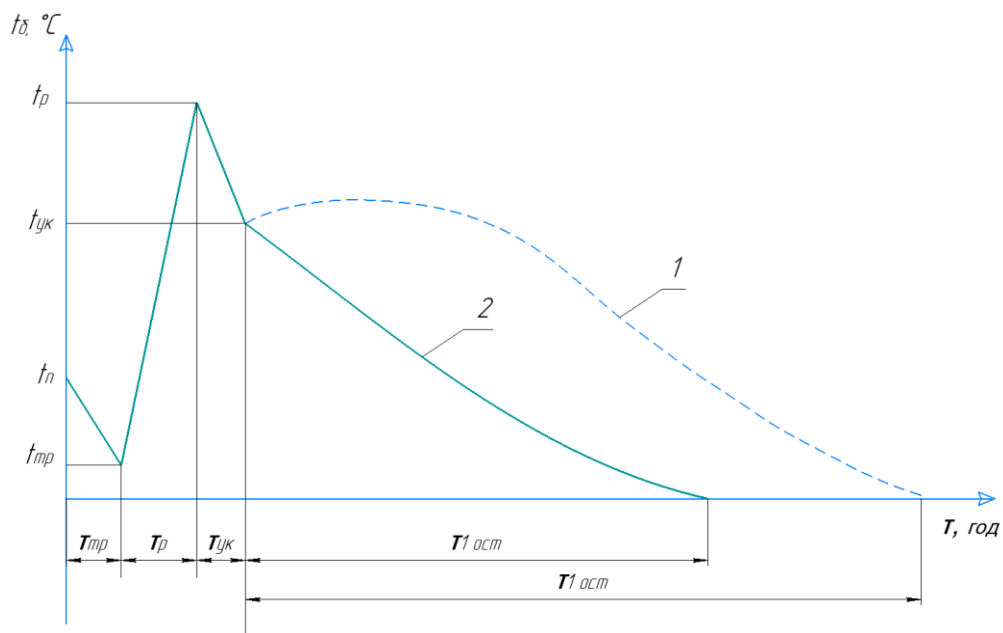


Рис. 2.4. Формування температурного режиму під час попереднього електричного нагрівання бетонної суміші:

- 1 — температура в центрі конструкції;
- 2 — температура на периферії конструкції.

Процес зміни температури бетонної суміші можна поділити на такі етапи:

1. Охолодження: температура свіжоприготованої суміші знижується до рівня t_{tr} за час t_{tr} .

2. Нагрівання: у спеціальній установці суміш нагрівається з t_{tr} до необхідної температури t_r за час t_r .

3. Втрата тепла при укладанні: під час укладання суміші в опалубку температура падає з t_p до $t_{ук}$. Цей процес триває протягом часу $t_{ук}$.

4. Охолодження в конструкції: температура бетону поступово знижується з $t_{ук}$ до кінцевого значення. Цей етап триває час $t_{ост}$.

Такий детальний розбір температурних змін допомагає краще зрозуміти, як змінюється тепло у бетоні від моменту його приготування до завершення твердіння в конструкції. Це знання важливе для вдосконалення процесу бетонування та забезпечення потрібних властивостей готового бетону.

2.3.4 Електроімпульсне бетонування

Ця технологія базується на введенні потужного електротеплового імпульсу в бетонну суміш. Такий імпульс створюється спеціальними установками із занурюваними електродами, які розміщують у кузові автосамоскида або іншій ємності. Завдяки цьому методу бетон можна витримувати навіть у неутепленій сталевій або дерев'яній опалубці в зимовий період.

Короткочасний електроімпульс, який у тисячі разів потужніший за звичайний електропрогрів, ефективно долає енергетичний бар'єр, викликаючи електрогідралічні удари, іонізацію та магнетизацію суміші. Такий підхід дозволяє максимально ефективно передати тепло всередину цементу, наближаючи коефіцієнт використання енергії до 100% [7, 21].

2.3.5 Віброелектробетонування

Третя технологія попереднього електророзігріву суміші полягає у використанні вібророзігріву всередині труби, без подальших вібрацій, додаткового прогріву чи перевантажень. Кінетичний віброімпульс із постійними різноамплітудними та різночастотними коливаннями покращує процеси тепло- та масообміну, а також сприяє щільному упакуванню складових суміші завдяки оголенню їхніх поверхонь. Окрім цього, суміш

додатково деаерується, стає більш однорідною та пластичною, навіть краще, ніж при використанні хімічних добавок.

Цей метод розробили для безперервного потокового бетонування, що забезпечує рівномірне споживання енергії. Він дозволяє зменшити витрати праці, об'єднуючи кілька технологічних операцій і усуваючи простой. Віброврозігрів у гарячому русі створює високу однорідність бетону і відкриває можливості для потокового виробництва.

Завдяки цій технології можна використовувати стендову опалубку з високою швидкістю обертання, заповнювачі середньої якості, а також скоротити споживання електроенергії у 2-3 рази. Крім того, відпадає потреба у вібромайданчиках та інших вібраційних пристроях, що дозволяє організувати потокове виробництво з мінімальною кількістю операцій [7, 2 Г.].

2.3.6 Синергобетонування

Термін "синергетика" має грецьке походження, утворене від слів "syn" (разом) та "ergon" (робота, енергія), і позначає гармонійне поєднання енергій, що діють на матеріал. Головною особливістю цього методу є додаткове барботування суміші в магнітному пароіонному середовищі, яке дає змогу обійтися без застосування традиційних бетонозмішувачів.

Синергетичний ефект виникає завдяки інтенсивному одночасному впливу різних видів енергії в поєднанні з дією сил Лоренца та Ампера. Це спричиняє ланцюгові реакції й забезпечує високий рівень впорядкованості системи. Барботування в магнітному пароіонному середовищі сприяє розщепленню частинок цементу завдяки термічній, фотонній і ударній іонізації. Це підтверджується п'ятикратним зниженням електричного опору суміші та високими показниками міцності готового бетону.

Використання такої технології дозволяє застосовувати групову опалубку без необхідності створення окремих виробничих потужностей для виготовлення бетонних сумішей. Це відкриває можливість організації

високоомеханізованого та ресурсозберігаючого виробництва безпосередньо на будівельному майданчику.

Такий новаторський метод приготування бетонної суміші створює нові перспективи в будівельній галузі, зокрема, підвищуючи ефективність технологічних процесів і покращуючи якість кінцевого продукту.

2.3.7 Витримування бетону в тепляках

Робочі тепляки використовуються для створення закритого середовища з рівномірною позитивною температурою повітря та підвищеною вологістю. Це забезпечує оптимальні умови для тверднення бетону, відповідно до сучасних будівельних норм.

При проектуванні тепляків рекомендується зменшувати об'єм опалюваного простору. Найефективнішими є компактні мобільні конструкції, які встановлюються безпосередньо над робочими зонами. Зазвичай тепляки виготовляють на основі збірно-розбірних металевих або дерев'яних каркасів, що накривають брезентом, полімерною плівкою, фанерою чи дерев'яними щитами. Для додаткової ізоляції використовують теплоізоляційні матеріали. Також поширені намети або надувні конструкції. Важливо, щоб огороження забезпечувало належний рівень тепло- та вологоізоляції.

Для підтримання вологості всередині тепляка використовують ємності з водою або здійснюють зволоження бетонної поверхні. Як джерела тепла застосовують переносні печі, калорифери чи системи подачі пари. Щоб забезпечити рівномірне тверднення бетону, важливо підтримувати постійну температуру в межах від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$. Перед укладанням бетонна суміш має бути прогрітою до температури не менше $+10^{\circ}\text{C}$. Цей метод широко використовується для масивних конструкцій, особливо у гідротехнічному будівництві.

Сучасні тенденції влаштування тепляків зосереджені на використанні повітрянадувних конструкцій з пластмасових плівок або прогумованих

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		59

тканин. Їх форму і стабільність забезпечують за рахунок внутрішнього тиску газу. Такі тепляки відрізняються простотою монтажу і меншими трудовими витратами, замінюючи традиційні дерев'яні та металеві конструкції.

Цей підхід дозволяє створювати контрольовані умови для тверднення бетону навіть у складних кліматичних умовах, що гарантує високу якість будівельних робіт.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення організації будівельного виробництва

Під час будівельних і монтажних робіт, особливо при реконструкції будівель, потрібно дотримуватись актуальних норм і правил, таких як діючі ДБН і ДСТУ. Якщо якісь методи, матеріали, обладнання чи техніка, які використовуються, не прописані в цих документах, то слід орієнтуватися на інші державні стандарти або затверджені інструкції. Все це робиться для того, щоб роботи виконувались безпечно.

Перед початком робіт у місцях, де є ризик небезпеки, навіть якщо це не пов'язано з конкретною роботою, працівники повинні отримати наряд-допуск. Це такий спеціальний дозвіл, який видається на певний час, необхідний для виконання задачі. Якщо умови роботи змінюються, наряд анулюється, і новий дозвіл потрібно отримати заново. Той, хто видав цей наряд, має слідкувати, щоб всі заходи з безпеки були виконані.

Ще один важливий момент – безпека на майданчику. Всі працівники зобов'язані носити захисні каски. Замість старих ГОСТів тепер використовуються сучасні стандарти ДСТУ. Каски розрізняються за кольорами: білі – для керівників, начальників і тих, хто відповідає за техніку безпеки; червоні – для майстрів, прорабів та інженерів; жовті й оранжеві – для робітників. Якщо хтось прийшов без каски чи інших засобів захисту, його просто не допускають до роботи. Це важливо, бо на будівництві ніхто не застрахований від нещасних випадків, а захист – це не просто формальність, а реально рятує життя.

Отже, головне – дотримуватись правил і думати про безпеку, бо це відповідальність як працівника, так і керівника.

Перед тим як допустити працівників до роботи, адміністрація має обов'язково провести навчання та інструктажі з безпеки праці відповідно до діючих норм. Наприклад, тепер орієнтуємося на актуальні вимоги ДСТУ. Ввідний інструктаж зазвичай проводить спеціаліст із охорони праці, а

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						61
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

інструктажі на робочому місці – первинні, повторні чи позапланові – має проводити безпосередній керівник.

Під час будівельно-монтажних робіт дуже важливо дотримуватись технологічної послідовності. Це означає, що кожен етап робіт повинен бути організований так, щоб попередні дії не створювали небезпеки для наступних. Наприклад, якщо на одній ділянці проводяться земляні роботи, то потрібно врахувати, щоб вони не загрожували працівникам, які працюють поруч.

Головна мета таких вимог – забезпечити безпеку всіх на будмайданчику і мінімізувати ризики. Адже правильна організація робіт і навчання працівників – це основа безпечної праці.

3.2 Організація будівельного майданчика, робочих місць

Організація будівельного майданчика має гарантувати безпеку працівників на всіх етапах виконання робіт. Якщо реконструкція проходить у центрі міста, будмайданчик обов'язково потрібно огородити, щоб сторонні люди не могли туди потрапити. Особливо там, де поруч ходять люди, слід встановити суцільні захисні козирки. Сучасні норми ДСТУ передбачають, що таке огороження має бути збірно-розбірним і зробленим із уніфікованих елементів. Захисні панелі з козирком повинні мати висоту 2 метри, а якщо панелі не суцільні, то проміжки між деталями мають бути в межах 80-100 мм. Козирок встановлюють під нахилом до тротуару, і він має заходити за його край на 50-100 мм, щоб перекривати зону руху людей і транспорту.

Зони, де є ризик небезпеки, необхідно огорожувати сигнальними бар'єрами. Вони мають висоту 0,8 м, а відстань між стійками не повинна перевищувати 6 метрів.

Щодо транспорту, на майданчику потрібно зробити два в'їзди, щоб уникнути зустрічного руху. Тимчасові дороги шириною 3,5 м дозволяють

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						62
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

рух лише в одному напрямку. Біля в'їздів слід встановити схему руху для машин, а вздовж доріг – добре помітні знаки, які пояснюють, як рухатися територією відповідно до правил дорожнього руху.

Це не лише забезпечує порядок, а й значно підвищує рівень безпеки для працівників і людей, які перебувають поруч із будівництвом.

На будівельному майданчику важливо дотримуватись правил безпеки, особливо щодо організації руху транспорту. Швидкість автомобілів поблизу місць проведення робіт має бути максимально обмеженою: до 10 км/год на прямих ділянках і до 5 км/год на поворотах. Це знижує ризик аварій і забезпечує безпеку працівників.

Тимчасові споруди на майданчику не зводяться через обмеженість території. Для побутових потреб працівників використовуються приміщення готелю, а для інженерно-технічного персоналу — існуючі контори. Це зручне рішення, яке зменшує навантаження на територію майданчика.

Отвори в перекриттях, наприклад, для ліфтів або сходів, мають бути закриті суцільним настилом або огорожені, щоб унеможливити випадкове падіння людей.

Будівельне сміття слід утилізувати за правилами. Його опускають через закриті жолоби, у спеціальних контейнерах або ящиках. Нижній кінець жолоба повинен бути не вище 1 м від землі або входити в бункер. Якщо сміття скидається без жолоба, це можна робити лише з висоти до 3 м, при цьому місця скидання потрібно огородити або забезпечити нагляд.

Риштування мають бути облаштовані безпечно. Настили повинні бути рівними, із зазорами не більше 5 мм. На висоті 1,3 м і більше риштування мають мати огороження та бортові елементи. Кріплення до стін повинно виконуватись через кожен ярус або відповідно до інструкцій заводу-виробника, щоб конструкція залишалась стійкою.

Приміщення, де працюють із пиловими матеріалами, мають бути обладнані вентиляційними системами для видалення пилу. А на робочих місцях, де використовуються клеї, фарби чи мастики, заборонено

користуватись відкритим вогнем або будь-якими пристроями, які можуть створити іскри, щоб уникнути вибухів або пожеж.

Дотримання цих правил не тільки знижує ризики нещасних випадків, але й створює комфортні та безпечні умови для працівників.

3.3 Організація виробництва окремих видів робіт

3.3.1 Експлуатація будівельних машин

Особи, відповідальні за будівельні машини, мають стежити за їх технічним станом, організовувати обслуговування і ремонт згідно з інструкціями від виробника. Це важливо для безпечної та безперебійної роботи техніки.

Місце роботи машини потрібно вибирати так, щоб забезпечити достатньо простору для маневрів і хороший огляд робочої зони. Оператор має мати повний контроль над ситуацією.

Категорично заборонено залишати машини без нагляду, якщо двигун працює. Також не допускається використання відкритого вогню для нагрівання частин машин або робота на техніці з протіканням у паливних або масляних баках. Це не тільки небезпечно, а й може призвести до серйозних аварій.

Для працівників, які працюють з машинами, що створюють вібрацію, потрібно чітко дотримуватися режиму праці. Це означає, що перерви та профілактичні заходи мають відповідати санітарним нормам. Інструменти, які створюють вібрацію, можуть негативно впливати на здоров'я, тому важливо забезпечити комфортні умови роботи.

Дотримання цих правил сприяє безпеці на майданчику та допомагає зберігати здоров'я працівників і техніку в належному стані.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		64

3.3.2 Транспортні роботи

Перевезення довгих, важких і великогабаритних вантажів потрібно виконувати на спеціально обладнаних транспортних засобах, які розраховані для таких цілей. Це дозволяє уникнути пошкоджень вантажу та забезпечує безпеку.

Якщо автомобіль потрібно подати заднім ходом у зону, де проводяться роботи, водій повинен виконувати маневр лише за вказівкою відповідальної особи, яка контролює ситуацію. Це допомагає уникнути аварій і забезпечує координацію дій на майданчику.

У транспорті, який буксирують, заборонено перебувати людям, за винятком водія. Це правило спрямоване на зниження ризиків для здоров'я та безпеки працівників під час транспортування.

3.3.3 Кам'яні роботи

Під час подачі на робоче місце цегли, керамічних блоків або інших дрібних елементів вантажопідіймальними кранами слід використовувати спеціальні піддони, контейнери або інші пристрої, які унеможливають падіння вантажу під час підйому. Це важливо для безпеки працівників і запобігання пошкодженню матеріалів.

При кладці стін, коли висота від робочого настилу до кладки досягає 0,7 м, а відстань за стіною до землі або перекриття перевищує 1,3 м, обов'язково використовуються засоби колективного захисту: огороження або запобіжні пояси. Це захищає працівників від падіння з висоти.

Тимчасові кріплення елементів, наприклад, карнизів, знімаються тільки після того, як розчин досягне необхідної міцності, яка визначена в проекті.

Причини втрати рівноваги працівниками можуть бути як особистими (погане самопочуття, перевтома), так і зовнішніми (наприклад, переміщення кранами матеріалів або конструкцій). Що стосується риштувань, їх обвал

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

зазвичай стається через перевантаження або неправильну установку. Дуже часто травми трапляються через використання випадкових опор, як-от ящиків, ненадійних драбин або інших підручних засобів.

Висновок один: дотримання правил безпеки, використання якісного обладнання та уникнення імпровізацій – це ключ до безпеки на будівельному майданчику.

3.3.4 Бетонні і залізобетонні роботи

Перш ніж починати укладання бетону, треба перевірити і скласти акт про те, що опалубка, риштування та настили міцні і готові до роботи. Також важливо глянути, чи всі інструменти та обладнання в нормальному стані.

На опалубку не можна ставити щось зайве — ні матеріали, ні обладнання, якщо це не передбачено планом робіт. Люди, які не беруть участі у процесі, також не повинні перебувати на настилах.

Арматуру слід готувати тільки на спеціально облаштованих майданчиках. Це місце має бути безпечним і зручним для роботи.

Перед початком роботи з бетоном перевіряють тару (наприклад, бадді), щоб переконатися, що замки справні, і суміш не виліється. Якщо бетон укладають із бадді, відстань між її нижнім краєм і поверхнею має бути не більш ніж 1 метр, якщо інше не вказано в проєкті.

Коли ущільнюють бетон електровібраторами, їх не можна тягати за шланги. Якщо робота зупиняється або треба перейти в інше місце, вібратори слід вимикати.

Перед тим як почати працювати з бетононасосом, систему бетонопроводів перевіряють під тиском, що у 1,5 раза перевищує робочий. Для змащення насоса пропускають через нього 300–350 літрів рідкого цементного розчину (у пропорції 1:2). Для зв'язку між місцем, де подається бетон, і мотористом насоса обов'язково встановлюють сигналізацію.

Щоб у бетонопроводі не утворилися пробки, суміш не можна залишати без руху довше 20 хвилин. Для нормальної роботи максимальний розмір щебеню або гравію має бути не більше третини діаметра труби. Якщо горловина насоса забилася, двигун потрібно вимкнути, а пробку обережно усунути ломом.

Систему бетонопроводів періодично промивають водою або прочищають стиснутим повітрям. Під час очищення працівники повинні знаходитися на відстані щонайменше 40 метрів від вихідного отвору, щоб уникнути травм.

3.3.5 Монтажні роботи

На будівельних майданчиках, де проводяться монтажні роботи, заборонено виконувати будь-які інші завдання, а також перебувати стороннім особам. Це необхідно для безпеки і уникнення зайвих ризиків.

Елементи конструкцій і обладнання потрібно стропити так, щоб їх можна було легко подати в майже проектне положення. Це спрощує подальший монтаж і зменшує ймовірність помилок.

Не можна підіймати збірні залізобетонні конструкції, якщо на них немає монтажних петель або позначок, що показують, як правильно їх стропити і встановлювати. Це правило обов'язкове для забезпечення надійності та безпеки.

Коли конструкцію або обладнання встановлено на місце, їх потрібно надійно закріпити. Це гарантує, що вони залишаться стійкими і не змінять своє положення, зберігаючи задану геометрію.

3.3.6 Покрівельні роботи

До покрівельних робіт допускаються тільки ті працівники, для яких прораб або майстер провели огляд несучих конструкцій даху і огорожень, щоб переконатися в їх надійності.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Матеріали на дах можна складати лише в спеціально визначених місцях, які зазначені в проєкті. При цьому потрібно подбати, щоб вони були добре закріплені і не могли впасти, навіть через сильний вітер.

Усі елементи для покрівлі, такі як компенсатори для швів, захисні фартухи, водостічні труби, зливи та інші деталі, мають подаватися на робоче місце вже в готовому вигляді. Підготовка цих елементів прямо на даху не дозволяється, щоб уникнути безладу і зайвих ризиків.

3.3.6 Опоряджувальні роботи

Риштування, які використовують для штукатурки чи малярних робіт, мають бути обладнані настилом без щілин, особливо якщо під ними працюють інші люди або проходить прохід. Це забезпечує безпеку для всіх, хто знаходиться під риштуваннями.

Готувати малярні суміші потрібно строго за інструкціями виробника фарби. Заборонено використовувати розчинники, якщо вони не мають сертифіката, де вказано склад і можливі шкідливі речовини. Такі правила запобігають небезпечному впливу на працівників та довкілля.

3.3.7 Влаштування штучних основ і бурові роботи

Монтаж, демонтаж і переміщення бурових установок потрібно виконувати строго за технологічними картами. Ці роботи повинні проходити під контролем спеціально призначених осіб, які відповідають за безпеку.

Якщо роботи припиняються, пробурені свердловини потрібно обов'язково закривати міцними щитами або огорожувати. На цих щитах чи огороженнях слід розмістити попереджувальні знаки, а також забезпечити сигнальне освітлення, щоб їх було добре видно в темряві.

Бурові установки, які працюють під тиском, мають регулярно проходити технічний огляд і періодично перевірятися гідравлічними

випробуваннями. Це необхідно для підтримання їх у справному стані та забезпечення безпеки.

3.4 Розрахунок прожекторного освітлення

Розрахунок прожекторного освітлення проводиться, щоб визначити тип прожекторів, їхню кількість, висоту встановлення, місця розташування і кут нахилу оптичної осі у вертикальній та горизонтальній площинах. Це дозволяє забезпечити необхідну освітленість робочих зон відповідно до норм. Зараз розрахунок здійснюється за сучасними стандартами ДСТУ.

У якості вихідних даних приймають розміри будівельного майданчика 55,5х59,2 м і нормовану її освітленість 2 лк.

Орієнтовне число прожекторів дорівнює:

$$N = m \cdot E_H \cdot k \cdot A / P_d,$$

де m – коефіцієнт, що враховує світлову віддачу джерела світла;

E_H – нормована освітленість горизонтальної поверхні, лк;

k – коефіцієнт запасу;

A – освітлювана площа, м²;

P_d – потужність лампи.

$$N = 0.13 \cdot 1.7 \cdot 2 \cdot 3285 / 400 = 3.6 (\text{шт.}).$$

Висота установки прожектора над поверхнею, що освітлюється:

$$h_{\min} = \sqrt{19000 / 328.5} = 7.6 \text{ (м)}.$$

Отже, приймаємо 4 прожектори марки ПЗР-400 з лампою ДРЛ-400, які встановлюємо на висоті не менше 8 м на щоглах, кут нахилу лампи приймаємо $\theta = 15^\circ$.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3.5 Розрахунок монтажного стропа

Для піднімання вантажу і подачі на місце влаштування використовують чотирьохвітковий строп.

Зусилля в одній вітці стропа:

$$S = \frac{k \cdot Q}{m};$$

де: S - розрахункове зусилля, кН;

Q - вага вантажу, кН;

m - загальна кількість віток стропа;

k - коефіцієнт, що залежить від кута похилу α вітки стропа до вертикалі.

$$S = \frac{1,42 \cdot 13,2}{4} = 4,69 \text{ кН}.$$

Розривне зусилля в вітці $R = 6 \cdot 4,69 = 28,1$ кН.

Приймаємо сталевий канат типу ТК 6 х 19 (ГОСТ 3070-74) Ø 11 мм.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ:

1. Найефективнішими методами зимового бетонування є метод "термоса" та електропрогрівання. Вони дозволяють зберігати тепло, що виділяється при гідратації цементу, або додатково нагрівати суміш для досягнення необхідної температури. Попередній електророзігрів бетону є корисним для швидкого досягнення початкової міцності, особливо у важких кліматичних умовах.
2. Методи без обігріву, такі як "термос", ефективні для масивних конструкцій, але залежать від погодних умов і типу цементу. Електропрогрівання забезпечує контрольований температурний режим, але потребує значних енергетичних ресурсів.
3. Важливим аспектом зимового бетонування є забезпечення рівномірного нагрівання та охолодження бетону для уникнення тріщин через температурні напруження.
4. Рекомендації для зимового бетонування: Використовувати комплексний підхід, що включає попередній підігрів компонентів суміші, утеплення опалубки та контроль температурного режиму. Впроваджувати автоматизовані системи контролю температури для підвищення точності теплотехнічних розрахунків.
5. Перспективи розвитку: Для подальшого вдосконалення технологій зимового бетонування доцільно розробляти нові матеріали з покращеними теплоізоляційними та протиморозними властивостями. Застосування математичних моделей та комп'ютерного моделювання дозволить підвищити точність розрахунків і скоротити терміни виконання робіт.

CONCLUSIONS ON THE WORK:

1. The most effective methods of winter concreting are the "thermos" method and electric heating. They allow you to store the heat generated by the hydration of the cement or to additionally heat the mixture to reach the required temperature. Pre-heating the concrete with electricity is useful for quickly achieving the initial strength, especially in harsh climates.
2. Methods without heating, such as "thermos", are effective for massive structures, but depend on weather conditions and the type of cement. Electric heating provides a controlled temperature regime, but requires significant energy resources.
3. An important aspect of winter concreting is to ensure that the concrete is heated and cooled evenly to avoid cracks due to thermal stresses.
4. Recommendations for winter concreting: Use an integrated approach, including preheating of the mix components, formwork insulation and temperature control. Implement automated temperature control systems to improve the accuracy of thermal engineering calculations.
5. Development prospects: For further improvement of winter concreting technologies, it is advisable to develop new materials with improved thermal insulation and anti-freeze properties. The use of mathematical models and computer modelling will improve the accuracy of calculations and reduce the time of work.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини: підручник. Київ: Основа, 2019. 448 с.
2. Пашинський В. А., Настоящий В. А. Технологія зимового бетонування: навч. посіб. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. 164 с.
3. Дорофєєв В. С., Суханов В. Г. Технологія будівельного виробництва. Бетонні роботи: підручник. Одеса: ОДАБА, 2019. 352 с.
4. Терновий В. І., Уманець І. М. Зимове бетонування з використанням протиморозних добавок // Будівельні матеріали та вироби. 2021. № 1. С. 28-33.
5. Саницький М. А., Позняк О. Р., Кіракевич І. І. Модифіковані бетони для зимового бетонування // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. 2020. № 2. С. 74-82.
6. Бабиченко В. Я., Кириченко В. А. Технологія зимового бетонування монолітних конструкцій. Київ: Будівельник, 2018. 256 с.
7. Ушерів-Маршак О. В. Добавки в бетон: довідник. Харків: Колорит, 2019. 280 с.
8. Руденко Д. В. Активация твердіння бетону в зимових умовах // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2020. Вип. 13. С. 111-118.
9. Марченко В. І., Петренко Л. В. Технологічні особливості бетонування при від'ємних температурах // Науковий вісник будівництва. 2021. Т. 103, № 1. С. 178-184.
10. Дудар І. Н., Коц І. В. Теплова обробка бетонних виробів в зимових умовах: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2019. 276 с.
11. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К. Довговічність бетону при зимовому бетонуванні // Будівельні матеріали і конструкції. 2020. № 3. С. 42-48.

- 12.Шевченко В. О., Андрійчук О. В. Методи прогрівання бетону в зимових умовах // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2021. Вип. 15. С. 96-103.
- 13.Старчук О. М. Особливості догляду за бетоном при від'ємних температурах // Науковий вісник будівництва. 2020. Т. 99, № 1. С. 253-258.
- 14.Мішутін А. В., Кровяков С. О. Підвищення морозостійкості бетону в умовах зимового бетонування // Вісник ОДАБА. 2019. Вип. 74. С. 64-71.
- 15.Лівінський О. М., Стоян О. В. Технологія бетонних робіт у зимовий період: навч. посіб. Київ: УАН, 2018. 192 с.
- 16.Троян В. В. Протиморозні добавки для бетонів і будівельних розчинів // Будівельні матеріали та вироби. 2020. № 4. С. 56-61.
- 17.Бондаренко В. М., Гоц В. І. Енергозберігаючі технології зимового бетонування // Енергоефективність в будівництві. 2021. № 2. С. 15-21.
- 18.Піщальніков І. М., Корх О. І. Контроль якості бетонних робіт в зимових умовах // Науковий вісник будівництва. 2019. Т. 95, № 1. С. 142-148.
- 19.Дворкін Л. Й. Проектування складів бетонів для зимового бетонування: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2018. 208 с.
- 20.Сторожук Н. А. Використання хімічних добавок при зимовому бетонуванні // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2020. Вип. 14. С. 87-94.
- 21.Парута В. А., Брикс А. Л. Особливості твердіння бетону при низьких температурах // Вісник ОДАБА. 2021. Вип. 82. С. 125-131.
- 22.Ковальчук О. Ю. Методи прискорення твердіння бетону в зимових умовах // Будівельні матеріали і конструкції. 2019. № 2. С. 33-39.
- 23.Гоц В. І., Павлюк В. В. Технологія монолітного будівництва в зимовий період: монографія. Київ: КНУБА, 2018. 324 с.

24.Савйовський В. В., Броневицький С. П. Реконструкція будівель і споруд в зимових умовах. Харків: Факт, 2020. 272 с.

25.Менейлюк О. І., Дубельт Т. М. Технологічні основи зимового бетонування: підручник. Одеса: ОДАБА, 2021. 296 с.

					ТЗБ 2319235 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		