

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«Тепловиділення цементу при твердненні у
важких бетонах»**

КРМ.192 БЦмд_21 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Технології будівельних конструкцій,
виробів і матеріалів» спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ступеня вищої освіти магістр групи
192БЦмд_21
Бублик Дмитро Олександрович
Керівник: Шульгін В.В.

Полтава 2024 року

Зміст

	С
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1.....	5
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	5
1.1 Історична довідка.....	5
1.2 Дослідження гідратації цементу.....	7
1.3 Гідратація клінкерних мінералів і портландцементу.....	11
1.4 Тепловиділення при гідратації тампонажного цементу.....	15
1.5 Тепловиділення бетону.....	17
1.6 Висновки до літературного огляду.....	20
РОЗДІЛ 2.....	22
МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
РОЗДІЛ 3.....	23
МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
3.1 Планування експерименту.....	23
3.2 Підбір складу важкого бетону.....	24
3.3 Визначення інтенсивності виділення теплоти цементом при його гідратації в теплоізованих зразках.....	24
3.4 Визначення нормальної густини цементного тіста.....	27
3.5 Визначення термінів тужавлення.....	28
РОЗДІЛ 4.....	29
ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	29
4.1 Портландцемент.....	29
4.2 Вода.....	29
4.3 Пісок.....	30
4.4 Щебінь.....	33
4.5 Суперпластифікатор Coral MasterSilk.....	34
РОЗДІЛ 5.....	36
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	36
5.2 Визначення температури твердіння бетону без добавки.....	39
5.3 Визначення температури твердіння бетону з використанням суперпластифікатора Coral MasterSilk.....	53
РОЗДІЛ 7.....	78
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

ВСТУП

У сучасному будівництві неможливо обійтися без такого важливого будівельного матеріалу, як цемент.

Цемент належить до гідравлічних в'язучих і є найважливішим з них. Одним із найпоширеніших цементів є портландцемент. Сировиною для цементів є клінкер. Його отримують випалюванням аж до спеченого стану суміші вапняку (70—78 %) і глини (2—25%). Основні мінерали клінкеру: трикальцієвий силікат (аліт) — $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (скорочений запис C_3S), двокальцієвий силікат (беліт) — $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, трикальцієвий алюмінат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) та алюмоферити кальцію змінного складу, з яких найчастіше до складу клінкеру входить чотирикальцієвий алюмоферит. Тепловиділення при твердінні цементу має велике практичне значення. Зокрема, в процесі бетонування звичайних конструкцій при знижених температурах підвищення тепловиділення грає позитивну роль. Навпаки, зведення масивних конструкцій, наприклад, гідротехнічних (особливо влітку) з бетонів на цементах з підвищеним тепловиділенням призводить до їх нагрівання до 50°C і більше. Подальше охолодження бетонних масивів у зовнішніх поверхнях викликає значні перепади температур зовнішніх і внутрішніх зонах, виникнення напруг розтягування в поверхневих шарах і утворення в них тріщин. Це зменшує несучувдатність і довговічність споруд, тому при зведенні масивних бетонних конструкцій застосовують низькотермічні цементы, наприклад з тепловиділенням через 3 добу не більше 163-188 і через 7 діб 210-230 Дж/кг.

На підставі даних С. Лерча, Т. Пауерса та інших, по інтенсивності тепловиділення час початкового твердіння цементного тіста можна розділити на чотири періоди. До першого періоду взаємодії цементу з водою можна віднести перший проміжок в 30-40 хв, коли спостерігається сильне виділення теплоти в тесті (особливо протягом перших 5 - 8 хв) з наступним його зменшенням до малих значень.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Історична довідка

Приблизно 3000-4000 років до н.е. були знайдені способи отримання штучних в'язучих речовин шляхом випалення деяких гірських порід і тонкого подрібнення продуктів цього випалення. Перші штучні в'язучі речовини - будівельний гіпс, а потім і вапно - були застосовані при будівництві унікальних споруд: бетонної галереї легендарного лабіринту в давньому Єгипті (3600 р. до н.е.), фундаментів якнайдавніших споруд в Мексиці, Великій Китайській стіні, римського Пантеону.

Глина, гіпс і вапно здатні тверднути і служити тільки на повітрі, тому ці в'язучі матеріали отримали назву повітря. Всі повітряні в'язучі речовини характеризуються щодо невисокою міцністю. З часом навчилися підвищувати водостійкість вапняних розчинів, вводячи в них тонкомолоту обпалену глину, бій цеглини або вулканічні породи, відомі під назвою "пуццолани". Так їх називали древні римляни по місцю покладів поблизу міста Поццуоллі.

На території Русі, розвиток виробництва в'язучих матеріалів пов'язаний з виникненням древніх міст - Києва, Новгород, Москва та ін. В'язучі матеріали використовували при зведенні цегляних башт, соборів. У 1584 р. в Москві був установлений «Кам'яний наказ», який разом із заготовкою будівельного каменя і випуском цеглини відав також виробництвом вилити.

Декілька тисяч років гіпс і повітряне вапно були єдиними в'язучими матеріалами. Проте вони відрізнялися недостатньою водостійкістю. Розвиток мореплавання в XVII-XVIII ст. зажадало для будівництва торгових споруд створення нових в'язучих, стійких до дії води.

У 1750 році англієць Д. Сміт вигаленням вапняку з глинистими домішками отримав водостійке терпке, назване гідравлічним вапном.

У 1796 році англійцем Д. Паркером був запатентований романцемент, здатний тверднути як на повітрі, так і у воді. У наш час ці в'язучі втратили практичне значення, але до другої половини XIX ст. вони були основними

матеріалами для будівництва гідротехнічних споруд. Інтенсивний розвиток промисловості в Росії в XVIII ст, коли було побудовано 3 тисячі промислових підприємств, не рахуючи гірських заводів, зажадало систематизації накопиченого досвіду виробництва і застосування в'язучих, створення ефективніших їх видів. У 1807 році академік В.М. Севергин дав опис в'язулої речовини, отриманого випаленням мергеля з подальшим помелом. Отриманий продукт за якістю був кращий романцементу.

У Росії цемент почали проводити з минулому столітті. На початку 20-х років XIX ст. Е. Делєз отримав обпалювальне в'язуче з суміші випалити з глиною і опублікував результати своєї роботи в книзі, виданій в Москві в 1825 р. У 1856 р. був пущений перший в Росії завод портландцементу, який розташувався в м. Гроздєне, потім були побудовані заводи в Ризі (1868), Щурове (1870), Пулянекунде (1871), Подольське (1874), Новоросійську (1882), і так далі.

На початку 20 століття, в Україні працювало 60 цементних заводів загальною продуктивністю близько 1,6 млн. тонн цементу. Проте після Першої світової війни більшість цементних заводів були зруйновані. З приходом радянської влади цементну промисловість України прийшлося створювати практично з нуля.

Сьогодні, Україна займає п'яте місце в світі по обсягах виробництва цементу, поступаючи Китаю, Індії, США і Японії.

Українська цементна промисловість знаходиться в числі самих швидкозрослих світових індустрій з темпами близько 9%, при цьому найбільшчими ризиками можна прогнозувати збільшення темпів зростання.

Сьогодні, головним недоліком російських цементних заводів є те, що вони використовують мокрий спосіб виробництва цементу, який набагато енергоємніший ніж використовуваний в розвинених країнах світу сухий спосіб. Тому для компаній поважно поступово переходити на прогресивніші енергозберіжні технології.

Горіш ніж розглядати промисловість з виробництва цементу бажано розкрити загальну структуру будівельного комплексу України, оскільки розуміння

комплексу в цілому дасть змогу краще зрозуміти особливості розміщення та розвитку цементної промисловості в Україні.

Цементна промисловість. Це матеріаломістка галузь, тому цементні заводи розміщуються в районах видобутку сировини. Найбільші центри цементного виробництва України - Амвросіївка, Краматорськ, Єнакієво (Донецька обл.), Кривий Ріг, Дніпродзержинськ, Дніпропетровськ (Дніпропетровська обл.), Балаклея (Харківська обл.), Миколаїв (Львівська обл.), Здолбунів (Рівненська обл.), Ямниця (Івано-Франківська обл.), Кам'янець-Подільський (Умельницька обл.), Бахчисарай (Автономна Республіка Крим), Ольшанка (Миколаївська обл.), Одеса.

Виробництво збірного залізобетону і залізобетонних конструкцій. Виробничі потужності галузі тяжіють до великих промислових центрів і вузлів, а також до населених пунктів зі значним обсягом житлового і цивільного будівництва.

В країні діє 25 виробничих об'єднань по виготовленню комплектів збірних залізобетонних конструкцій і деталей, основними з яких є Харківське,

Львівське, Криворізьке, Луганське, Сумське. Домобудівні комбінати розміщені в усіх областях країни (найбільш потужні комбінати зосереджені в Києві, Донецьку, Луганську, Запоріжжі, Одесі).

Цемент (нем. Zement), збірна назва порошкоподібних в'язучих речовин, здатних при змішуванні з водою утворювати пластичну масу, яка одержує потім кам'яноподібний стан. Основні види: портландцемент, шлакові і пуццоланові цементи, глиноземистий цемент, спеціальні види цементу.

Сировиною для нього служать вапняні, маргелісті, глинисті породи і різні добавки-шлак, боксити тощо.

Цемент володіє важливою властивістю тверднути у воді [2].

1.2 Дослідження гідратації цементу

Від виду зерен і мінералогічного складу цементу залежить швидкість і глибина гідратації його зерен і, отже інтенсивність твердіння і кінцева міцність цементного каменя. Ці залежності будуть особливо великими за різних температурних умов.

Гідратація цементу належить до екзотермічних, тобто супроводжується виділенням тепла, що при бетонуванні має велике практичне значення. Чим вище активність цементу, його питома витрата і початкова температура бетону, тим при твердінні більше виділяється тепло. Чим конструкція масивніше, тим відносно менше буде втрата тепла через поверхню, вище температура і тривалість охолодження. У масивних конструкціях тепловиділення дуже тривале, а кількість виділеного тепла настільки велика, що обігрівати бетон не потрібно.

При збільшенні тривалості перемішування суміші відбувається повніша взаємодія між водою і зернами цементу, унаслідок чого прискорюється твердіння, дещо збільшується кількість того, що виділяється цементом тепла, підвищується міцність бетону, його однорідність, легкоукладальність і водонепроникність.

Зібрація дає можливість укласти жорсткішу суміш і при збереженні прийнятого В/Ц зменшити витрату цементу.

Прискорення твердіння найефективніше досягається введенням в бетони і розчини прискорювачів: хлористого кальцію, а також соляної кислоти.

Прискорююча дія цих добавок полягає в підвищенні розчинності вапна, портландцементу і прискоренні розкладання мінералів клінкеру.

Реакції гідратації цементних мінералів є екзотермічними, і взаємодія цементу з водою супроводжується виділенням теплоти. Тепловиділення різних портландцементів коливається в значних межах залежно від їх мінералогічного складу і тонкості помелу.

Згідно з даними С. Д. Огорокова та інших дослідників, мінерали характеризуються показниками тепловиділення в різні строки тверднення, представленими в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Теплота гідратації чистих клінкерних мінералів, Дж/г.

Мінерал	Термін тверднення, год				Теплота гідратації, Дж/г
	1	3	7	28	
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат цинку					
Сілікат нікелю					
Сілікат міді					
Сілікат кобальту					
Сілікат ніобію					
Сілікат танталу					
Сілікат титану					
Сілікат цирконію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію					
Сілікат барію					
Сілікат стронцію					
Сілікат кальцію					
Сілікат алюмінію					
Сілікат заліза					
Сілікат магнію</					

Згідно з даними Д. Вербека і Г. Фостера тепловиділення C_3S та $\beta-C_2S$ значно нижче (через 3 доби та 7 діб – в $1,5 \div 2$ рази), а C_3A та C_4AF – більше значень, наведених у таблиці 1.1 (особливо через 3 доби та 7 діб).

Також підкреслюється, що при повній гідратації C_3A виділяється 1032 Дж/г теплоти, а в перерахунку на C_3AH_6 – 600 Дж/г. Якщо допустити можливість достатньо швидкої взаємодії цієї речовини з водою навіть в „половинній” кількості, то при відсутності тепловтрат температура продукту реакції може досягнути орієнтовно $300:1,26 = 237$ °С. Присутність $3CaO \cdot Al_2O_3$ в клінкерах у кількості $5 \div 10\%$ – корисно, а більший вміст призводить до тимчасового зниження міцності. Це явище частково можна пояснити своєрідністю гідратації C_3A .

З інших клінкерних мінералів високим тепловиділенням при повній гідратації вирізняється C_3S (по Лерчу і Ботгу). Але цей процес відбувається відносно повільно, і навіть в благоприємних умовах при звичайній температурі впродовж перших 12 годин ступінь гідратації ледве перевищує $15 \div 20\%$.

При цьому тепловиділення може сягнути $100 \div 126$ Дж на 1 г вихідної речовини, а в перерахунку на 1 г новоутворень – ще менше. Таким чином, можна не побоюватися значного перегріву продуктів гідратації трьох кальцієвого силікату та деформацій, притаманних C_3A .

Головною причиною наявності у складі цементів збільшеної кількості C_3S , скла, а особливо C_3A є передумовою інтенсивного тепловиділення при твердненні таких

цементів, переважно в перші строки, внаслідок швидкої взаємодії цих мінералів з водою.

Двохкальцієвий силікат, а також чотирьохкальцієвий алюмоферит по тепловиділенню в початкові строки гідратації не можуть здійснювати суттєвий вплив на нагрівання системи, при якому можуть утворитися небезпечні деформації. Тобто цементи, які характеризуються підвищеним вмістом C_4AF , а особливо – $\beta-C_2S$, відрізняються зменшеним тепловиділенням. Зменшенню тепловиділення портландцементів сприяє введення в їх склад активних мінеральних домішок, в тому числі – основаних доменних грачульованих шлаків

Дослідження С.Д. О कोरोко за показали, що різні види портландцементів при твердненні характеризуються тепловиділенням в

наступних межах:

- через 3 доби : $113 \div 576$ Дж/г цементу;
- через 7 діб : $130 \div 418$ Дж/г цементу;
- через 28 діб : $176 \div 553$ Дж/г цементу;
- через 3 місяці : $192 \div 570$ Дж/г цементу.

Експерименти багатьох дослідників показали, що теплота при взаємодії цементу з водою на протязі перших діб виділяється „ступінчасто”. Основуючись на цих даних, а також – враховуючи дані В.Ларча, Г. Пауерса та інших по інтенсивності тепловиділення час початкового тверднення цементного тіста можна розділити на чотири періоди.

Перший період взаємодії цементу з водою – це перший проміжок часу тривалістю $30 \div 40$ хр., коли спостерігається значне виділення теплоти з цементному тісті (особливо впродовж перших $5 \div 6$ хв) з наступним зменшенням цього показника до невеликих значень.

Другий період – це період чоту великого тепловиділення, який називають індукційним періодом, який має місце впродовж другої четвертої години від початку взаємодії цементу з водою. Його тривалість залежить від властивостей цементу і вмісту гіпсу. Начвність цього періоду пояснюється утворенням на глі черних частках гелевих оболонки з гідратних з'єднань, які майже припиняють

надходження води до непрореагованих внутрішніх зон зерен в'язучого. Але наявність насиченого розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та інших з'єднань в гелі, який утворився, та біля непрореагованих поверхонь цементних часточок, створює умови для дифузійного притоку води з міжзернового простору зі зниженою концентрацією розчину. Унаслідок цього в гелевих оболонках поступово збільшується осмотичний тиск, який при певних значеннях призводить до їх розривання. При цьому виникає можливість прямого доступу води до поверхонь, які відкрилися. Цей момент

є кінцем індукційного періоду малої активності і початком третього періоду.

Третій період починається через $3 \div 5$ годин після початку взаємодії цементу з водою. Цей період характеризується початком тужавіння та поступовим збільшенням тепловиділення, яке досягає максимуму через $5 \div 10$ годин. У цей момент зазвичай має місце кінець тужавіння цементу.

Четвертий період відбувається після переходу показника тепловиділення через максимум. Характеризується цей період зменшенням кількості теплоти, що виділяється наприкінці добового строку, до $4,19$ Дж/год на 1 г цементу. У цей час спостерігається найбільш інтенсивне зростання міцності системи, а тепловиділення у звичайних цементах сягає $15 \div 20$ % загального. Таким чином, оцінювати істинні в'язучі властивості тих чи інших речовин необхідно з врахуванням фактору інтенсивності тепловиділення [3].

1.3 Гідратація клінкерних мінералів і портландцементу

В основі цементуючої речовини портландцементу лежать гідратовані з'єднання вихідних матеріалів. Однак гідратованих з'єднань значно більше, ніж тих, що забезпечують твердіння неорганічними матеріалами.

Портландцемент включає, з одного боку C_3S , C_3A , C_2S , C_4AF і $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, з іншого – кристалічну й скловидну фазу. При помелі в цемент вводять мінеральні добавки. Сам клінкер вміщує різні домішки. Тому процеси твердіння досить складні.

Внаслідок змішування цементу з водою відбувається його гідратація, яка призводить до тужавлення та твердіння цементного тіста з утворенням штучного (цементного) каменю.

Тужавлення портландцементного тіста – це втрата його пластичності без значного розвитку міцності штучного каменю, що утворюється.

Твердіння обумовлене комплексом хімічних, фізико-хімічних та фізичних процесів, які мають місце при взаємодії клінкерних мінералів з водою, і пов'язані із структуроутворенням та нарощуванням міцності штучного каменю у часі.

При взаємодії цементу з водою слід розрізняти первинні і вторинні реакції. Первинні хімічні процеси – це взаємодія вихідних клінкерних мінералів з водою, вторинні – хімічні реакції гідратованих новоутворень один із одним, з гіпсом, неорганічними солями тощо.

На сьогодні отримані фундаментальні дані щодо механізму твердіння цементу. На їхній основі розроблені й використовуються в технології отримання бетону методи, які дозволяють впливати на процес твердіння цементу й властивості бетону.

Гідратація C_3S . Трикальцієвий силікат – найважливіший компонент портландцементного клінкеру, з ним пов'язана більшість технічних властивостей затверділого цементного каменю, тому вивченню процесів його гідратації присвячено дуже багато літератури. Однак, не дивлячись на різноманітність методів дослідження (електронна растрова мікроскопія, калориметрія, акаліз рідкої фази, ІЧ-спектроскопія, термолюмінесценція), механізм реакції C_3S з водою остаточно ще не встановлений.

Аліт піддається гідратації з утворенням гідросилікатів кальцію та портландиту:



На гідратацію C_3S , як і інших клінкерних мінералів, впливає температура (із зміною температури змінюється ступінь гідратації), розмір кристалів, а в деяких випадках і склад новоутворень. Так, при нормальному В/Т ступінь гідратації C_3S через 12 год при $5^\circ C$ становить 0, при $20^\circ C$ – 30%, при $50^\circ C$ – 60%. Під час гідратації

C_3S за гідротермальних умов склад продуктів реакції змінюється. При температурі 80-120°C кінцевим продуктом гідратації C_3S є C_2SH (Б), в інтервалі 120-175°C – C_2SH (А) і $Ca(OH)_2$, в інтервалі 175-200°C – суміш C_2SH_2 , C_2SH (А), C_2SH (С) і $Ca(OH)_2$. При температурах понад 200°C C_2SH (С) і $Ca(OH)_2$, що утворились спочатку, переходять у стабільний за цих умов C_3SH_2 .

На швидкість гідратації C_3S впливають електроліти та органічні добавки. Значно прискорюють гідратацію хлориди, броміди, сульфати, нітрати, хромати лужних і лужноземельних металів. Сповільнюють гідратацію $Ca(OH)_2$, а також фториди, фосфати й солі, катіони яких утворюють нерозчинні гідроксиди. Більшість органічних добавок сповільнює гідратацію. Прискорення гідратації при наявності домішок пояснюється зменшенням тривалості індукційного періоду через інтенсивніший процес утворення зародків, сповільнення гідратації викликається гальмуванням процесу утворення зародків.

Введення затравок прискорює гідратацію, але не впливає на міцність C_3S .

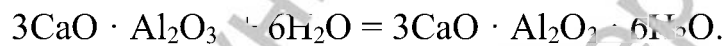
Гідратація C_2S . Двокальцієвий силікат міститься у клінкері в метастабільній β -формі, стабілізованій добавками. Порівняно з C_2S швидкість гідратації β - C_2S невелика.

Беліт гідратується з утворенням таких самих продуктів як і аліт, але в іншому співвідношенні:

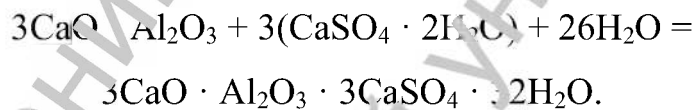


Під час гідратації C_2S в інтервалі температур 80-120°C утворюються такі самі продукти, що й при кімнатній температурі, в інтервалі 120-180°C – C_2SH_2 , що виникає спочатку і перетворюється на C_2SH (А), який при тривалій витримці або підвищенні температури переходить у C_2SH (С).

Гідратація алюмінієвих. Гідратувальна активність алюмінієвих кальцію зумовлена тим, що іони Al^{3+} у них перебувають у нестійкій для них четвертій координації. Можливість утворення гідроксильних груп у алюмінієвих алюмофератах виражена більше, ніж у силікатів, що пов'язано з нижчою міцністю зв'язків у тетраедрах $[AlO_4]^{5-}$ порівняно з тетраедрами $[SiO_4]^{4-}$. Трикальцієвий алюмінієвий гідратується з утворенням гідроалюмінату кальцію:



В разі використання гіпсу (як добавки) при гідратації алюмінату кальцію також можливе утворення етричугу:



Гідратація цементу. Після замішування цементу з водою спочатку утворюється рихла коагуляційна структура, що володіє тиксотропністю.

Під час перемішування тіста контакти, що виникають між гідратними новоутвореннями та колоїдних фракцій цементу, руйнуються і тісто зберігає рухливість.

Чим довше триває гідратація, тим більше стає гідратних новоутворень й більше щільність структури. Час, протягом якого утворюється безперервно ущільнююча коагуляційна структура, є періодом тужавіння, тобто формуванням структури. Тужавіння цементу слід розглядати як первинну стадію загального процесу твердіння.

Реакції гідратації розпочинаються відразу ж після замішування цементу з водою. Вже через кілька хвилин розчин, що заповнює простір між зернами цементу, стає перенасиченим відносно сульфату й гідроксиду кальцію, що виділяються під час гідролізу аліту. Висока концентрація іонів кальцію та сульфат-іонів утримується в тісті протягом певного часу, що залежить від вмісту в цементі лугів: чим більше в цементі лугів і чим раніше вони починають розчинятися, тим швидше зменшується перенасичення розчину відносно іонів кальцію.

Крім іонів кальцію й сульфат-іонів у поровому просторі містяться також деяка кількість іонів алюмінію, заліза та кремнію. Концентрація зоремих іонів у поровому просторі не залишається сталою, а змінюється із збільшенням ступеня гідратації цементного тіста.

Оскільки основним мінералом портландцементного клінкеру є аліт, то в процесі гідратації цементу, як і при гідратації аліту можна виділити доіндукційний, індукційний та постіндукційний періоди, які виявляються менш чітко, ніж під час гідратації аліту [4].

Період кристалізації, під час якої концентрація іонного розчину не змінюється, називається індукційним (латентним або прихованим).

Тривалість періоду індукції можливо змінити фізичним впливом на розчин, наприклад шляхом механічних (вібраційних) коливань, інтенсивного перемішування, а також використання різноманітних силових полів та випромінювання. Ряд дослідів показав, що фізичний вплив на іонні речовини сприяють виникненню центрів кристалізації і залежно від ступеню насичення інтенсивність такого впливу має бути різною. Цей процес суттєво залежить також від концентрації розчину, наявності в ньому домішок та інше [5].

На гідратацію як цементу, так і окремих мінералів великий вплив чинить температура навколишнього середовища. При низьких температурах вона рясно гальмується, а при температурах, нижчих за -10°C , - припиняється. Механізм гідратації практично не змінюється, але значно тривалішим стає індукційний період. При температурах вищих за нормальну, гідратація значно прискорюється, причому гідратація C_2S прискорюється більшою мірою, ніж C_3S .

1.4 Тепловиділення при гідратації тампонажного цементу

Певну роль у зміні теплового режиму свердловини в період ОЗЦ грають величина тепловиділення тампонажного матеріалу та його теплофізичні властивості. Коливання температури в гідратуючому цементі обумовлені фізико-хімічними перетвореннями, які характеризують інтенсивність реакцій, їх глибину і фізичний стан системи. Кількість тепла, що виділяється 1 кг цементу при схплюванні і твердінні при температурі 18°C , становить від 1,5 до 5 ккал / год. Максимум температури спостерігається через 10-13 год. після змішування. В умовах теплообміну з навколишнім середовищем абсолютна величина коливань температури в період ОЗЦ в реальній свердловині буде залежати не тільки від тепловиділення і теплофізичних властивостей тампонажного матеріалу, але й від його кількості на одиницю довжини стовбура (з урахуванням заміщення бурового розчину), розподілу його по кільцевому простору, умов взаємодії з пластами. Висока швидкість тепловиділення при гідратації цементу в розчинах, закачаних в

заколонного простору, може призвести до виникнення тріщин в цементному камені і сприяти порушенню нормальної роботи обсадної колони. Позитивна роль тепловиділення

проявляється при цементуванні свердловин в районах вічної мерзлоти і зонах, до них примикають. Тут тепловиділення перевищує передчасному промерзання тверднучого розчину. Залежно від різниці температур і умов навколишнього середовища може спостерігатися нерівномірний розподіл температури в масиві твердіючого теплоізоляційного каменя, наслідком чого є термічні напруження каменя і його руйнування. Термохімічні властивості теплоізоляційних цементів істотно залежать від складу і тонкості помелу цементу, змісту і хіміко-мінералогічного складу теплоізолювачів, хімічних реагентів і їх кількості, водоцементного відношення і умов твердіння теплоізоляційного розчину та інші. З достатньою для практики точністю приймається, що кількість тепла, що виділяється при твердінні теплоізоляційного розчину, пропорційно масі утворених в результаті гідратації продуктів. За величиною і характером тепловиділення в часі клінкерні мінерали розташовуються в наступному порядку: трьохкальцієвого алюмінату, трьохкальцієвого силікату, чотирьохкальцієвого алюмофериту, двохкальцієвий алюмінат (у порядку зменшення). Теплота повної гідратації окремих клінкерних мінералів (Перч, Бог), визначена методом розчинення, виявилася рівною (кал/г): для C_2S - 120; для C_3A - 201; для C_2S - 62; для C_4AF - 100.

Експерименти з портландцементами різного мінералогічного складу показують, що їх тепловиділення протікає таким чином, що найбільша кількість тепла при кімнатних умовах виділяється в перші 3-5 днів. Надалі процес тепловиділення триває повільніше. Велими зниженим тепловиділенням відрізняються шлакопортландцемент, причому швидкість тепловиділення визначається властивостями (активністю, тонкістю помелу і т. д.) як портландцементу, так і шлаку, а також спільним їх впливом на ефект тепловиділення (Ф. М. Лі). Чим активніше добавка, тим менше знижується екзотермічний ефект. З підвищенням тонкості помелу зростає і швидкість

тепловиділення (М. Ф. Лі, І. Іванов-Городнов). Андерберг і Чубель показали, що у портландцементу через 9 міс виявляються гідратовані тільки ті частинки, які мають розміри не більше 5 мкм. М. Ф. Лі вважає, що вплив товкості помелу на тепловиділення з'являється істотним лише в ранні терміни твердіння. При тривалих термінах цей фактор вже не відіграє помітної ролі. Пластифікуючі добавки створюють перешкоди для проникнення води до цементних часткам на початку процесу, тим самим сповільнюють процес гідратації цементу. Вельми істотний вплив на швидкість тепловиділення надають температурні умови твердіння цементного розчину. Дослідження кінетики тепловиділення при гідратації тампонажних цементів в умовах підвищення температур і тисків може здійснюватися прямим і непрямым методами. Прямі методи дозволяють безпосередньо вимірювати тепло, що виділяється при гідратації цементів. Непрямі методи засновані на законі Гесса, вони дають точні дані, але більш трудомісткі порівнянню з прямими методами [2].

1.5 Тепловиділення бетону

Тепловиділення бетону є результатом екзотермічних реакцій твердіння цементу. На практиці ефект тепловиділення бетону може мати як позитивний так і негативний вплив на довговічність конструкцій та виробів. Позитивно впливає тепловиділення бетону на конструкції та споруди, що бетонуються в зимових умовах, при від'ємних температурах навколишнього середовища, а негативний вплив тепловиділення можливий для масивних бетонних споруд, в тих випадках коли виникають значні температурні напруження в бетоні.

Для масивних бетонних споруд знаходять допустиме тепловиділення виходячи з умов обмеження температури, за наступною формулою:

$$Q = \frac{c\rho_0}{k} (t_{кр} - t_{0н})$$

де Q - тепловиділення, кДж/м³;

c - питома теплоємність бетону, кДж/(кг град);

ρ_0 - середня густина бетону, кг/м³; k - коефіцієнт, який залежить від умов

твердіння бетону і в середньому становить 0,8.. 0,9,

$t_{кр}$ - критична температура бетону (максимальна допустима температура розігріву бетону), визначається проектом;

$t_{бп}$ - початкова температура бетону (температура укладання бетонної суміші).

Критичну температуру бетону визначають в залежності від середньої температури навколишнього середовища:

$$t_{кр} = t_{ср} + \Delta t$$

де Δt - відхилення від середньої температури за рік.

Якщо бетонні роботи проводяться в зимових умовах із застосуванням методу "термоса", то величина тепловиділення, а також теплота яка іде на нагрів компонентів бетону повинна бути не менше ніж теплові втрати бетону через опалубку. Допустима величина тепловиділення бетону при цьому знаходиться в залежності від модуля поверхні конструкції та необхідної тривалості охолодження бетонної конструкції для досягнення необхідної міцності:

$$Q = K_T M_{П} (t_{бс} - t_{зн}) \tau - c \rho_0 (t_{бп} - t_{бк})$$

де K_T - коефіцієнт теплопередачі опалубки, кДж/(м² год град),

$M_{П}$ – модуль поверхні конструкції (відношення площі поверхні до об'єму конструкції),

$t_{бс}$ - середня температура за період твердіння бетону; $t_{зн}$ -температура зовнішнього середовища;

τ - тривалість охолодження, діб;

c -питома теплоємність бетону;

$t_{бп}$ - початкова температура бетону;

$t_{бк}$ - кінцева температура бетону.

Середню температуру бетону за час охолодження, 0С рекомендується визначати за формулою:

$$t_{бс} = t_{бк} + \frac{t_{бп} - t_{бк}}{1,03 + 0,18M_n + 0,01(t_{бп} - t_{бк})}$$

Час охолодження τ вибирається з умови досягнення бетоном міцності, передбаченої проектом виконання робіт. До моменту можливого замерзання

рекомендується досягнення міцності бетону на стиск для класів: В7,5 і В10 - 50%; В15 і В25 - 40%; В30 і В40 - 30%.

Незалежно від класу бетону рекомендується досягнення 70% проектної міцності для пролітних будівель мостів, попередньо напружених і особливо відповідальних залізобетонних конструкцій. 100% проектної міцності для конструкцій, які підлягають відразу після затвердіння багаторазовому поперемінному заморожуванню і відтаюванню або дії розрахункового тиску води і конструкцій, до яких ставляться спеціальні вимоги за морозостійкістю і водонепроникністю. Для бетонів із протиморозними добавками до моменту можливого замерзання міцність на стиск звичайно повинна бути не меншою 5 МПа. Значення допустимого тепловиділення може застосовуватися для знаходження відповідної витрати цементу, виходячи з умови:

$$Q = qU$$

де q - питоме тепловиділення застосовуваного цементу, кДж/кг [6].

Питоме тепловиділення цементу різних видів і марок у залежності від температури і часу твердіння бетону наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Питоме тепловиділення цементу різних видів і марок у залежності від температури і часу твердіння бетону

Вид цементу	Марка	Температура, °С				Час твердіння, год
		10	15	20	25	
Портландцемент	400	1	1	1	1	1
		2	2	2	2	
		3	3	3	3	
		4	4	4	4	
Портландцемент	300	1	1	1	1	1
		2	2	2	2	
		3	3	3	3	
		4	4	4	4	
Портландцемент	200	1	1	1	1	1
		2	2	2	2	
		3	3	3	3	
		4	4	4	4	
Портландцемент	100	1	1	1	1	1
		2	2	2	2	
		3	3	3	3	
		4	4	4	4	

залізобетону). Цементні заводи, як правило, знаходяться одразу ж на місці видобутку сировинних матеріалів для виробництва цементу.

Вартість цементу в умовах нормального приготування суміші складає близько 2 / 3 загальної вартості необхідних матеріалів, тому організації зберігання приділяють велику увагу, тому що активність цементу з часом зменшується і тим значніше, чим більше умови зберігання і внутрішньозаводських переміщення не відповідають висунутим вимогам.

На кожну партию цементу споживачу направляють заводський паспорт.

Зберігання за сортами дає значний економічний ефект, тому що при змішуванні сортів доводиться вести розрахунок на нижчий сорт. Доцільно кожен сорт і марку цементу із зазначенням заводу-виробника зберігати в окремих бункерах або склади.

Добовий запас зберігання на складі цементу визначається потребою у бетонній суміші, віддаленістю заводу-постачальника, способами доставки, оборотністю складу, і тому коливається в значних межах.

РОЗДІЛ 2

МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи-дослідити тепловиділення цементу в тверднучих теплоізолюючих бетонних зразках з урахуванням теплотехнічних аспектів досліджень. Бетонні зразки виготовлено з важкого бетону без добавок та із суперпластифікатором Coral MasterSilk.

Задачі дослідження

- визначити зміну температури упродовж 2-х діб тверднучих теплоізолюючих зразків з важкого бетону без добавок та із суперпластифікатором Coral MasterSilk;
- визначити питомі та сумарні виділення теплоти цементом для перших годин твердіння бетону;
- визначити термін упродовж якого збільшується температура тверднучого теплоізолюючого важкого бетону;
- визначити різницю витрати цементу $\text{Ц}_{\text{в}}/\text{м}^3$ та значення В/Ц на тепловиділення цементу при гідратації в тверднучих бетонних зразках;
- вплив кількості суперпластифікатора на тепловиділення цементу при гідратації в тверднучих бетонних зразках.

Об'єкт дослідження

Зразки з важкого бетону без добавок і з суперпластифікатором Coral MasterSilk

Предмет досліджень

Тепловиділення цементу в тверднучих теплоізолюючих зразках з важкого бетону, міцність зразків з важкого бетону.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Планування експерименту

Планування експериментів та підбір складу важкого бетону з використанням математико-статистичних методів рекомендується проводити при використанні кількох складів важкого бетону з різною витратою цементу і В/Ц; при побудові залежностей, необхідних для корегування складу бетону в процесі його виготовлення при організації виробництва виробів по новій технології, а також у випадку використання автоматичних систем керування технологічним процесом.

Планування дослідів та підбір складу важкого бетону з використанням математико-статистичних методів заключається у виборі математичної залежності між заданими властивостями розчину, витратою використовуваних матеріалів. Математична залежність використовується для пошуку та призначення оптимальних складів бетону.

Вибрана двохфакторна матриця наведена в табл. 3.1, де змінними факторами є витрата цементу і В/Ц.

Використана добавка: Coral MasterSilk

Планування експерименту:

Змінні фактори:

X_1 – витрата цементу Ц: 450; 400; 350 кг/м³;

X_2 – В/Ц: 0,65; 0,55; 0,44.

Таблиця 3.1 Двохфакторна матриця експерименту

3.2 Підбір складу важкого бетону

Склад важкого бетону підбирається у лабораторії таким чином, щоб забезпечити отримання важкого бетону з заданими міцностними характеристиками при мінімальній витраті цементу.

Склад важкого бетону визначається співвідношенням цементу, дрібного заповнювача, крупного заповнювача, добавки і води.

1. Величину витрати заповнювачів підбирали розраховуючи на 1 м^3 важкого бетону.
2. Витрату цементу підбирали експериментально в співвідношенні з водоцементним відношенням.
3. Витрату добавки підбирали у співвідношенні до маси цементу.

Підбір складу важкого бетону виконувався за матрицею.

Для двофакторної матриці по підбору складу важкого бетону та його оптимізації у якості першого фактору приймається витрата цементу (у кількості 450, 400, 350 $\text{кг}/\text{м}^3$), у якості другого фактору – водоцементне відношення В/Ц (у співвідношенні 0,65, 0,55, 0,45). Усі витрати компонентів перераховувалися на 3 л замісу.

Експериментальні зразки виготовлялися розмірами $15 \times 15 \times 15$ см і випробовувалися за стандартними методами.

3.3 Визначення інтенсивності виділення теплоти цементом при його гідратації в теплоізолюваних зразках

Для визначення виділення теплоти цементом при його гідратації в теплоізолюваних зразках використовували прилад із термодатчиками які вимірювали зміну температури бетону (рис.3.3.1).



Рис. 3.3.1 - Прилад для вимірювання температури .

Розроблено метод для визначення інтенсивності виділення теплоти при гідратації цементу.

Основні положення методу:

- зразки виготовляються з бетонної суміші;
- зразки після їх виготовлення теплоізолюються;
- за необхідності біля «відкритої» поверхні зразка розташовується спочатку шар гідроізоляції, а потім – шар теплоізоляції;
- початкова температура матеріалів, форм та обладнання, які використовуються при дослідженнях, повинна бути однаковою;
- процес твердіння бетону (чи цементно-піщаного розчину, чи цементного тіста) ділиться на певні проміжки часу; для цих проміжків часу складаються теплові баланси систем (кожна система включає зразок, форму, теплоізоляційний матеріал, гідроізоляційний матеріал (якщо останній використовується) та засоби контролю температури); за допомогою теплових балансів визначається тепловиділення цементу, Дж, і питомі тепловиділення цементу, Дж/кг, при його гідратації за вибрані проміжки часу;
- наприкінці досліджу визначається міцність зразків.

– якщо температура зовнішньої поверхні шару теплоізоляції більша, ніж температура повітря приміщення, то впродовж досліду визначаються такі температури:

а) температура в середині кожного зразка; для цього в центрі зразка розташовується металеві капсула, заповнена технічним маслом, в якій розміщується термометр;

б) температура зовнішньої поверхні шару теплоізоляції кожного зразка та температура поверхні форм;

– якщо температура зовнішньої поверхні шару теплоізоляції дорівнює температурі повітря приміщення, то *содатково* визначається ступінь прогрівання шару теплоізоляції.

Якщо температура зовнішньої поверхні шару теплоізоляції більша, ніж температура повітря приміщення, то кількість теплоти $Q_{ЕК}$, Дж, що виділяється при взаємодії цементу з водою за вибраний проміжок часу, дорівнює:

$$Q_{ЕК} = Q_{ЗР} + Q_{Ф} + Q_{Т} + Q_{К} + Q_{М} + Q_{ТП} + Q_{НС}, \quad (1)$$

де $Q_{ЗР}$ – кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання зразка за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{Ф}$ – кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання форми за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{Т}$ – кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання теплоізоляційного матеріалу за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{К}$ – кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання металевих капсули за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{М}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання технічного масла за вибраний інтервал часу, Дж;

$Q_{ТП}$ – кількість теплоти, яка витрачається за вибраний інтервал часу на нагрівання частини термометра, яка розміщується в капсулі з маслом, Дж (цією величиною в розрахунках нехтуємо);

$Q_{НС}$ – втрати теплоти зразком у навколишнє середовище за вибраний інтервал часу, Дж; величина

Над «відкритою» поверхнею зразка може розташовуватися спочатку шар гідроізоляційного матеріалу, потім шар теплоізоляційного матеріалу, а зовнішній шару теплоізоляції може розташовуватися захисний шар. Наявність цих шарів необхідно враховувати при складанні теплових балансів.

Якщо температура зовнішньої поверхні шару теплоізоляції дорівнює температурі повітря приміщення, то кількість теплоти $Q_{ЕК}$, Дж, яка виділяється при взаємодії цементу з водою за вибраний проміжок часу, обчислюється за залежністю:

$$Q_{ЕК} = Q_{зв} + Q_{Ф} + Q_{ЧТ} + Q_{К} + Q_{С} \quad (2)$$

де $Q_{ЧТ}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання частинки теплоізоляційного матеріалу за вибраний інтервал часу γ , Дж; пояснення до

інших складових цієї залежності наведено вище.

Кількість теплоти, Дж, що витрачається за певний проміжок часу на нагрівання кожного компонента досліджуваної системи, обчислюється за загальною формулою:

$$Q_i = c_i \cdot m_i \cdot (t_{ki} - t_{pi}), \quad (3)$$

де c_i – питомі масова теплоємність матеріалу i -го компонента досліджуваної системи, Дж/(кг · °С);

m_i – маса i -го компонента досліджуваної системи, кг;

t_{pi}, t_{ki} – відповідно початкова та кінцева для вибраного проміжку часу температура i -го компонента системи, °С.

Запропоновано метод, який призначено для визначення інтенсивності виділення теплоти цементом при його гідратації в теплоізольованих зразках.

3.4 Визначення нормальної густини цементного тіста

Нормальна густина цементного тіста визначались за стандартною методикою, що викладена в ДСТУ Б.В.2.7-185:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, ступеня тужавлення та рівномірності зміни об'єму» [7].

Нормальна густина цементного тіста виражають у відсотках маси води від маси цементу і визначають з точністю до 0,25 %.

3.5 Визначення термінів тужавлення

Терміни тужавлення цементу визначались за стандартною методикою, що викладена в ДСТУ Б.В.2.7-185:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму» [7].

Строки тужавлення про випробування наведені на графіку (рис.3.4.1).



Рис.3.4.1 – Терміни тужавлення цементного тіста

РОЗДІЛ 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Портландцемент

Для проведення експериментів застосовувався портландцемент марки ПЦ І-500-Н, згідно ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови [14].

Результати виробувань порівнювалися з вимогами ДСТУ Б В.2.7-112-2002 Цементи. Загальні технічні умови [29] і наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати випробувань портландцементу

4.2 Вода

Вода для проведення випробувань повинна відповідати вимогам ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевірки (ISO 3696:1987, ІДТ) [15].

Вода для зразків використовувалась водопровідна

4.3 Пісок

Для проведення експериментів застосовувався пісок згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови»[16]. Результати випробувань піску наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Результати випробувань піску

--	--	--	--	--	--	--

4.4 Щебінь

Випробування щебню проводилося на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкції та робіт. Технічні умови [11]. Результати випробувань щебню наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Результати випробувань щебню

- підвищити активність в'язучого та повноту гідратації внаслідок пептизуючої дії добавки. [2].

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Дослідження впливу витрат цементу і величини В/Ц на властивості важкого бетону

Проведення дослідів проводилося з використанням математико-статистичних методів планування експериментів у відповідності з розділом 3. В якості факторів були зібрані витрати цементу і величину В/Ц. Значення інтервалів варіювання факторів наведені у таблиці 5.1.

Згідно матриці математичного планування двофакторного експерименту виготовлялися зразки-кубики розміром 15*15*15 см із важкого бетону. Складові комплексні добавки вводилися у воду замішування.

Таблиця 5.1 Значення інтервалів варіювання.

Усі значення факторів у таблиці наведені на 1 м³ важкого бетону.

Досліди проводилися у відповідності з прийнятим планом експерименту.

План експериментів та результати дослідів двофакторної матриці наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. План експериментів та результати дослідів



Рисунок 5.2 Ціверан вивчення впливу температури та Водонасиченості на границю міцності бетону в стиску у віці 7 діб



Рисунок 5.3 Ізолінії поверхні функції відгуку границі міцності бетону при стиску у віці 7 днів залежності від витрати цементу та В/Ц

5.2 Визначення температури твердіння бетону без добавки

Склад бетону №1 без добавки

Результати визначення температури бетону наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 Результати визначення температури бетону

За результатами наведеними в таблиці 5.4 побудовано графік рис. 5.5.



Рис. 5.5. Зміна температури тверднучого теплоізованого важкого бетону

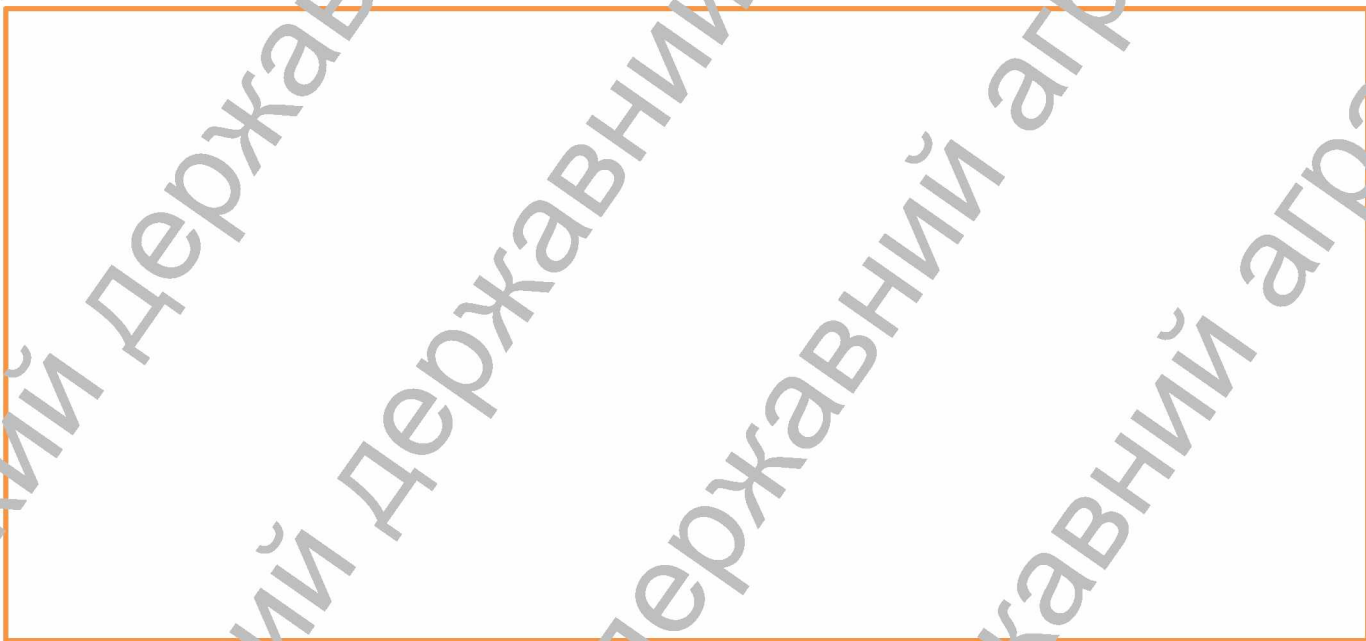


Рис 5.5– Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг

Сумарні питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг, за проміжки часу



Рис 5.6 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг





Склад бетону №2 без добавки



Рис. 5.2.4 – Зміна температури тверднучого теплоізолюваного важкого бетону



Рис 5.2.6 – Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис 5.2.7 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг

Склад бетону № 5 без добавки

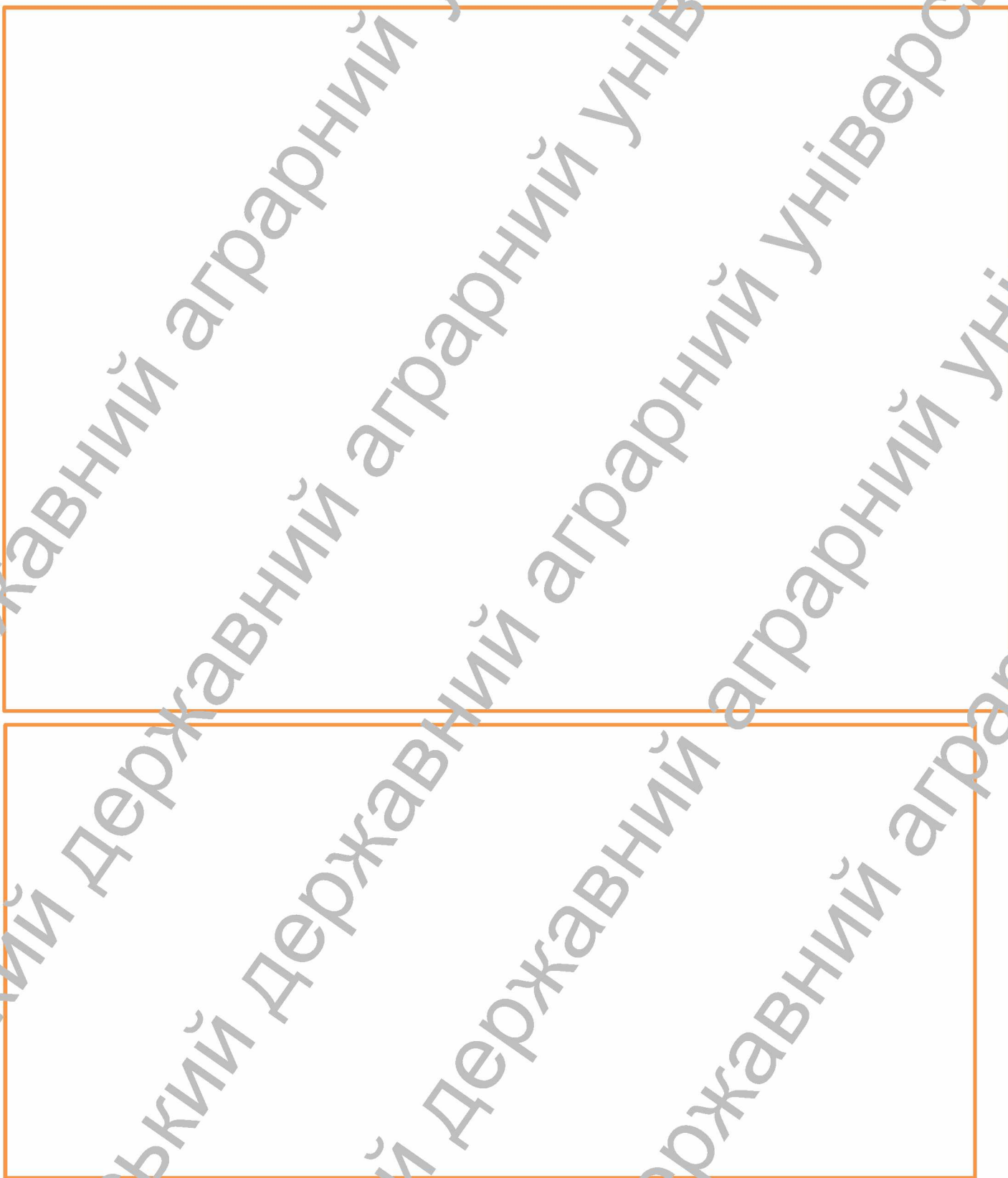


Рис. 5.2.8. – Зміна температури твердну чого теплоізоляованого важкого бетону



Рис 5.2. 9 – Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис 5.2.10 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг

Склад бетону № 3 без добавки



Рис. 5.2.11 – Зміна температури твердну чого теплоізоляованого важкого бетону



Рис. 5.2.12 – Питомі виділення теплоти цементом, q_s , кДж/кг



Рис.5.2.13 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq_s , кДж/кг

Склад бетону № 4 без добавки



Рис. 5.2.14 – Зміна температури твердну чого теплоізолюваного важкого бетону

Рис 5.2.15 – Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.2.15 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг





Рис. 5.2.16 – Зміна температури тверднучого теплоізоляованого важкого бетону



Рис.5.2.17 – Питоме виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.2.18 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, ΣQ , кДж/кг

Висновки: для складу бетону з витратою цементу $\rho = 450$ без добавки.

Впродовж перших трьох годин при $V/C = 0,45$ і $0,55$, і чотирьох годин для $V/C = 0,65$ тепловиділення цементу незначно змінюється.

Далі здійснюється інтенсифікація процесів тепловиділення цементу, що пояснюється інтенсифікацією гідротації цементу.

Інтенсивність виділення теплоти при $V/C = 0,65$ більша у 2 і 3 годину, при $V/C = 0,45$ в 1-у; 4-ту, 6-у години, $V/C = 0,55$ в 1-у, 5-у.

При $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$ найбільші сумарні тепловиділення цементу якщо $V/C = 0,55$.

Висновки: для складу бетону з витратою цементу $\rho = 400$ без добавки.

При $V/C = 0,65$ впродовж 4 годин температура тверднучого бетону збільшується з $19,5^\circ\text{C}$ до $22,2^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 2,7^\circ\text{C}$), за 22 години до $33,3^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 13,8^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,55 впродовж 6 годин збільшується з 15,4 °С до 18 °С годин ($\Delta t = 2,6^\circ\text{C}$), за 23 години - до 27,8 °С ($\Delta t = 12,4^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,45 впродовж 7 годин збільшується з 17,1 °С до 20 °С годин ($\Delta t = 2,9^\circ\text{C}$), за 24 години - до 28,4 °С ($\Delta t = 11,3^\circ\text{C}$).

З дослідів видно, що впродовж приблизно доби температура тверднучого бетону збільшується. Після доби твердіння температура бетону поступово зменшується.

Впродовж першої години максимальне питоме тепловиділення при В/Ц = 0,45, друга година – при В/Ц = 0,55, а далі 3-я і 4-а години максимальні при В/Ц = 0,65.

Сумарні питомі виділення теплоти цементу в перші дві години та впродовж 5-ї і 6-ї годин більше при В/Ц = 0,45, впродовж 3-ї і 4-ї години – при В/Ц = 0,55.

5.3 Визначення температури твердіння бетону з використанням суперпластифікатора Coral MasterSilk

Склад бетону №7 з пластифікатором



Рис. 5.3.1 – Зміна температури тверднущого теплоізоляованого важкого бетону





Рис 5.3.2 – Питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг



Рис.5.3.3 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг



Склад бетону №8 з пластифікатором





Рис. 5.3.4 - Зміна температури твердну чою теплоізоляованого важкого бетону



Рис.5.3.5 – Питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг

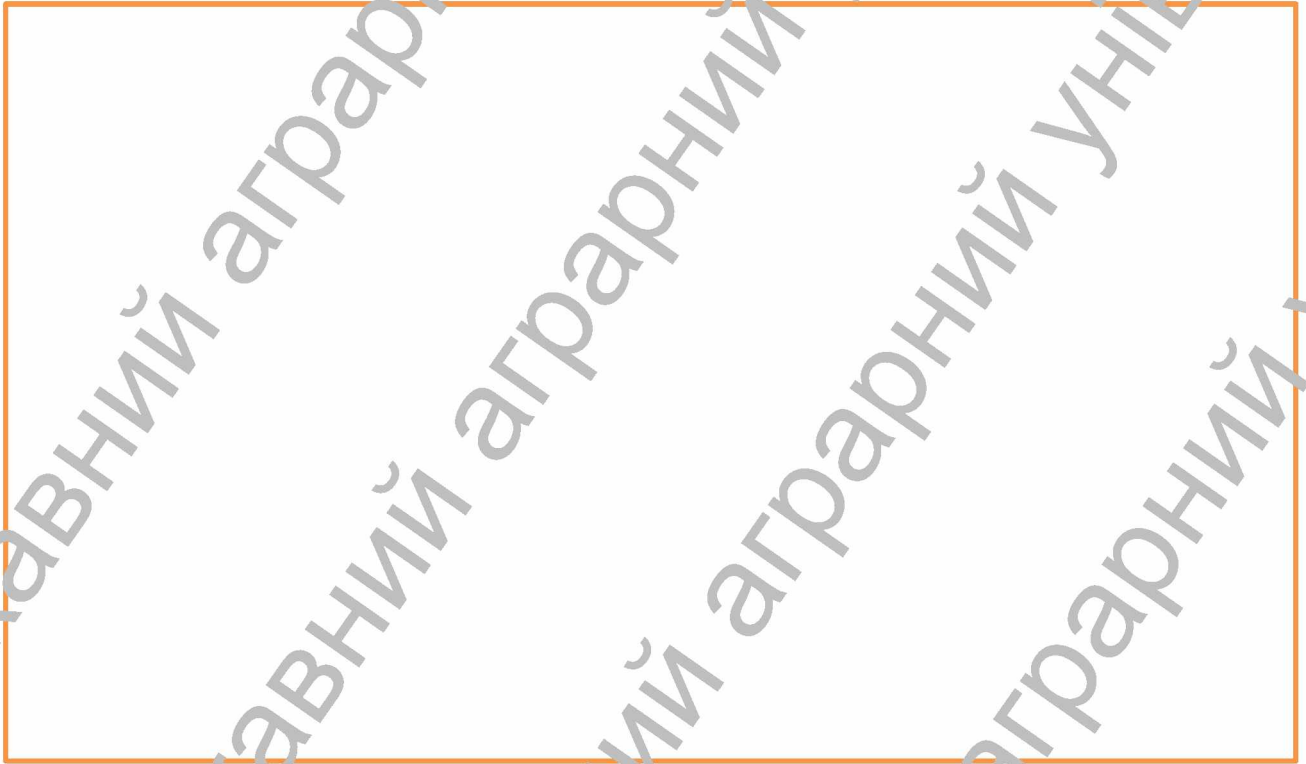


Рис.5.3 б – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Σq , кДж/кг

Склад бетону №9 з пластифікатором





Рис. 5.3.7 – Зміна температури тверднучого теплоізованого важкого бетону



Рис.5.3.8 – Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.3.0 - Сумарні питомі виділення теплоти цементом, Q_c , кДж/кг

Склад бетону № 3 з пластифікатором



Рис. 5.3.10 – Зміна температури твердого теплоізоляційного важкого бетону



Рис.5.3.11 – Питоме виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.3.12 – Сумарні питомі виділення теплоти цементом, ΣQ , кДж/кг

Склад бетону № 4 з пластифікатором



Рис. 5.3.13 – Зміна температури твердну чого теплоізоляованого важкого бетону



Рис.5.3.14 – Питомі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.3.15 - Сумари лисомі виділення теплои цементом, Σq , кДж/к³

Склад бетону № 6 з пластифікатором



Рис. 5.3.16 – Зміна температури твердну чого теплоізолюваного важкого бетону



Рис.5.3.17 – Штотмі виділення теплоти цементом, q , кДж/кг



Рис.5.3.18 – Суцарні питомі виділення теплоти цементом, ΣQ , кДж/кг

Склад бетону №1 з пластифікатором

--	--	--	--	--	--	--







Склад бетону №2 з пластифікатором

--	--







Склад бетону № 5 з пластифікатором







Висновки: для складу бетону з витратою цементу $\rho = 350 \text{ кг/м}^3$ та суперпластифікатором Coral MasterSilk.

При $В/Ц = 0,65$ впродовж 5 годин температура тверднучого бетону збільшується з $19,8^\circ\text{C}$ до $20,5^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 0,7^\circ\text{C}$), за 24 години до $31,2^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 11,4^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,55 впродовж 5 годин збільшується з 21,7 °С до 21,9 °С годин ($\Delta t = 0,2^\circ\text{C}$), за 24 години - до 34,3 °С ($\Delta t = 12,6^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,45 впродовж 5 годин збільшується з 19,5 °С до 20,2 °С годин ($\Delta t = 0,7^\circ\text{C}$), за 24 години - до 31 °С ($\Delta t = 11,5^\circ\text{C}$).

З дослідів видно, що впродовж приблизно доби температура тверднучого бетону збільшується. Після доби твердіння температура бетону поступово зменшується.

Впродовж першої години В/Ц = 0,65, з другої по 4-у годину, при В/Ц = 0,45. Сумарні впродовж з першої по третю годину В/Ц = 0,65, впродовж 4-ї години В/Ц = 0,45.

Висновок: для складу бетону з витратою цементу Ц = 400 кг/м³ та суперпластифікатором Coral MasterSilk.

При В/Ц = 0,65 впродовж 17 до 23 °С годин температура тверднучого бетону збільшується ($\Delta t = 2,4^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,45 впродовж 17 годин збільшується з 19,5 °С до 21 °С годин ($\Delta t = 0,4^\circ\text{C}$).

Сумарні при В/Ц = 0,65 поступово зростають.

При В/Ц = 0,55 впродовж 5 годин збільшується з 15 °С до 16,5 °С годин ($\Delta t = 1,5^\circ\text{C}$), за 23 години - до 25,4 °С ($\Delta t = 10,4^\circ\text{C}$).

Сумарні при В/Ц = 0,55 поступово зростають.

Висновки: для складу бетону з витратою цементу Ц = 450 кг/м³ та суперпластифікатором Coral MasterSilk.

При В/Ц = 0,55 впродовж 16 до 19 години ($\Delta t = 2,4^\circ\text{C}$) температура тверднучого бетону збільшується.

При В/Ц = 0,45 впродовж 19 годин збільшується з 18,5 °С до 31 °С годин ($\Delta t = 11,6^\circ\text{C}$).

При В/Ц = 0,55 впродовж 6 годин ($\Delta t = 1,6^\circ\text{C}$) температура тверднучого бетону збільшується, а впродовж 23 до 29,1 ($\Delta t = 13,4^\circ\text{C}$).

Сумарні при В/Ц = 0,65 менші ніж при В/Ц = 0,65.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1 Усі виробничі процеси треба проводити згідно з ДБН А.3.2-2 [7].

6.2 Виробниче обладнання повинно відповідати вимогам нормативних документів щодо безпеки електрообладнання та шумових характеристик.

6.3 Клас небезпеки, гранично допустимі концентрації шкідливих хімічних речовин, які можуть виділятися в повітря робочої зони під час виробництва бетонної суміші — відповідно до [4].

Контроль вмісту забруднювачів повітря робочої зони потрібно проводити згідно з [4].

6.4 Під час перевантаження цементу гранично допустима концентрація цементного пилу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 6 мг/м^3 , а також $0,2 \text{ мг/м}^3$ — для атмосфери населених пунктів. Цементний пил має фібригенні властивості, клас небезпеки — 4 згідно з [5].

6.5 Усі роботи, пов'язані з виробництвом, випробуванням та застосуванням бетонів і бетонних сумішей, потрібно проводити у виробничих приміщеннях згідно зі нормами [21], обладнанням припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДСТУ 5 А 3.2-12 [7] та ДБН В.2.5-67 [12], водопровідною системою та каналізацією — згідно з ДБН Е.2.5-64 [11], освітленням — згідно з ДБН В.2.5-28 [10]. Вентиляція виробничих приміщень повинна забезпечувати загальні санітарно-гігієнічні вимоги до атмосферного повітря згідно з [4].

6.6 Параметри мікроклімату виробничих приміщень — згідно з ДСТУ 3.3.6.042 [16].

6.7 Рівень шуму на робочих місцях — згідно з ДСН 3.3.6.037 [14].

6.8 Рівень вібрації на робочих місцях — згідно з ДСН 3.3.6.039 [15].

6.9 Для індивідуального захисту під час виготовлення бетонних сумішей чи бетонів працівників має бути забезпечено спеціальним одягом, спеціальним

6.18 Стічні води потрібно скидати до каналізації згідно з ДБН Б.2.5-64 [11].

6.19 Усі роботи з визначення міцності бетонів всіх видів на стиск, осьовий розтяг, розтяг при розколюванні і розтяг при згині руйнуванням короткочасними статичними випробувальними спеціально виготовлених контрольних зразків бетону слід проводити у відповідності до вимог ДБН А.3.2-2.

6.20 Випробування спеціально виготовлених контрольних зразків бетону здійснюється на випробувальних машинах, які повинні задовольняти вимоги нормативних документів щодо безпеки електрообладнання та шумових характеристик.

6.21 Рівень шуму у робочій зоні не повинен перевищувати значень, які наведені у ДСТУ.

6.22 Санітарно-гігієнічні показники повітря робочої зони нормуються згідно з ДСТУ.

6.23 Визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони і контроль за їх вмістом повинні здійснюватись згідно з ДСТУ.

6.24 Виробничі приміщення та параметри виробничого середовища повинні відповідати вимогам державних санітарних норм і норм пожежної безпеки ДСН 3.3.6.037, ДСН 3.3.6.039, ДСН 3.3.6.042, ДСТУ Б А.3.2-12, ДБН В.1.1.

6.25 Персонал має бути забезпечений засобами індивідуального захисту.

7 Контроль температури та часу тепловиділення:

Використовувати термометри або термопари для моніторингу температури цементу та бетону.

7.1 Заобігати перевищенню допустимої температури, що може призвести до термічних пошкоджень конструкції або обладнання.

7.2 Захист працівників від перегріву.

Забезпечити вентиляцію у приміщеннях, де проводиться робота з цементними сумішами, де виділяють тепло.

7.3 Забезпечити перерви в роботі у разі підвищення температури вище допустимих норм.

Особистий захист працівників:

- Носити термостійкий спецодяг, рукавички, взуття та окуляри.
- Використовувати засоби захисту органів дихання, якщо виділяється пил або газу під час реакції цементу з водою.

Безпечне змішування та заливка бетону:

- Використовувати автоматизоване обладнання для змішування компонентів, щоб мінімізувати ручний контакт.
- Забезпечити рівномірне додавання води, щоб уникнути надмірного тепловиділення через нерівномірність реакції.

Контроль обладнання:

- Перевіряти стан мірних приладів, змішувачів та іншого обладнання перед початком роботи.
- Вчасно ремонтувати або замінювати несправне обладнання, щоб уникнути аварійних ситуацій.

Евакуація працівників у разі аварійної ситуації:

- Розробити план евакуації та ознайомити працівників із ним.
- Забезпечити наявність вогнегасників та аптечок на робочому місці.

Навчання та інструктаж:

- Проводити регулярні інструктажі з охорони праці щодо роботи з цементними сумішами, що виділяють тепло.
- Забезпечити проходження працівниками медичних оглядів.

РОЗДІЛ 7

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Склад бетону з витратою цементу $\rho = 450$ без добавки.

За 24 години твердіння бетону сумарні питомі тепловиділення цементу при $V/\rho = 0,65$ становили $142,6$ кДж/кг, за 23 години при $V/\rho = 0,55$ – $121,8$ кДж/кг, а за 23 години при $V/\rho = 0,45$ – $110,65$ кДж/кг.

За 23 години твердіння бетону при $V/\rho = 0,55$ температура збільшилася на $\Delta t = 13,9^\circ\text{C}$, при $V/\rho = 0,65$ за 24 години на $\Delta t = 13,4^\circ\text{C}$, а при $V/\rho = 0,45$ за 23 години на $\Delta t = 13^\circ\text{C}$.

2. Склад бетону з витратою цементу $\rho = 400$ без добавки.

За 22 години твердіння бетону сумарні питомі тепловиділення цементу при $V/\rho = 0,65$ становили $140,15$ кДж/кг, за 23 години при $V/\rho = 0,55$ – $118,14$ кДж/кг, а за 24 години при $V/\rho = 0,45$ – $106,29$ кДж/кг.

За 22 години твердіння бетону при $V/\rho = 0,65$ температура збільшилася до $33,3^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 13,8^\circ\text{C}$), за 23 години при $V/\rho = 0,55$ - до $27,8^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 12,4^\circ\text{C}$), а за 24 години при $V/\rho = 0,45$ - до $28,4^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 11,3^\circ\text{C}$).

3. При $\rho = 350$ кг/м³ найбільші сумарні питомі тепловиділення цементу за першу добу твердіння бетону із суперпластифікатором Coral MasterSilk якщо $V/\rho = 0,54$

За 24 години твердіння бетону сумарні питомі тепловиділення цементу при $V/\rho = 0,65$ становили $127,25$ кДж/кг, при $V/\rho = 0,55$ – $146,79$ кДж/кг, а при $V/\rho = 0,45$ – $118,58$ кДж/кг.

4. При $\rho = 400$ кг/м³ найбільші сумарні питомі тепловиділення цементу за першу добу твердіння бетону із суперпластифікатором Coral MasterSilk якщо $V/\rho = 0,54$.

За 21 годину твердіння бетону сумарні питомі тепловиділення цементу при $V/\rho = 0,65$ становили $23,92$ кДж/кг, за 23 години при $V/\rho = 0,55$ – $79,38$ кДж/кг, а за 21 годину при $V/\rho = 0,45$ – $98,73$ кДж/кг.

5. При $C = 450 \text{ кг/м}^3$ найбільші сумарні питомі тепловиділення цементу за першу добу твердіння бетону із суперпластифікатором Coral MasterSilk якшо $V/C = 0,54$.

За 19 годин твердіння бетону сумарні питомі тепловиділення цементу при $V/C = 0,65$ становили $7,8 \text{ кДж/кг}$, за 23 години при $V/C = 0,55$ – $124,79 \text{ кДж/кг}$, а за 19 годин при $V/C = 0,45$ – $92,37 \text{ кДж/кг}$.

6. Встановлено, що в більшості розглянутих випадків температура тверднучого теплоізовованого бетону збільшується впродовж доби, а надалі поступово зменшується. Обумовлюється зменшення температури бетону після доби твердіння вірогідно зменшенням інтенсивності гідратації цементу.

7. Наявність суперпластифікатора Coral MasterSilk в складі бетонної суміші (в частках які застосовувалися) не впливає на інтенсивність підйому температури тверднучого бетону. На тепловиділення цементу при гідратації впливає його кількість в складі бетону. Чим більше цементу, тим більше тепловиділення.

СПИСОК КОРИСНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дворкін Л.Й Будівельні конструкції. – Київ: Будівельник, 1997. – 622 с.
2. A. Usharov-П. – М.: Строительное издательство, 1998. – 100 с. – 10 коп.

3. Коц І. – М.: Строительное издательство, 1998. – 100 с. – 10 коп.
4. Коц І. – М.: Строительное издательство, 1998. – 100 с. – 10 коп.
5. Коц І. – М.: Строительное издательство, 1998. – 100 с. – 10 коп.
6. Коц І. – М.: Строительное издательство, 1998. – 100 с. – 10 коп.

Додаток 1

Додаток 2

Додаток 3

Додаток 4

Додаток 5

Додаток 6

Додаток 7

Додаток 8

Додаток 9

Додаток 10

Додаток 11

Додаток 12

Додаток 13

Додаток 14

Додаток 15

Додаток 16

Додаток 17

Додаток 18

Додаток 19

Додаток 20

Додаток 21

Додаток 22

Додаток 23

Додаток 24

Додаток 25

Додаток 26

Додаток 27

Додаток 28

Додаток 29

Додаток 30

Додаток 31

Додаток 32

Додаток 33

Додаток 34

Додаток 35

Додаток 36

Додаток 37

Додаток 38

Додаток 39

Додаток 40

Додаток 41

Додаток 42

Додаток 43

Додаток 44

Додаток 45

Додаток 46

Додаток 47

Додаток 48

Додаток 49

Додаток 50

Додаток 51

Додаток 52

Додаток 53

Додаток 54

Додаток 55

Додаток 56

Додаток 57

Додаток 58

Додаток 59

Додаток 60

Додаток 61

Додаток 62

Додаток 63

Додаток 64

Додаток 65

Додаток 66

Додаток 67

Додаток 68

Додаток 69

Додаток 70

Додаток 71

Додаток 72

Додаток 73

Додаток 74

Додаток 75

Додаток 76

Додаток 77

Додаток 78

Додаток 79

Додаток 80

Додаток 81

Додаток 82

Додаток 83

Додаток 84

Додаток 85

Додаток 86

Додаток 87

Додаток 88

Додаток 89

Додаток 90

Додаток 91

Додаток 92

Додаток 93

Додаток 94

Додаток 95

Додаток 96

Додаток 97

Додаток 98

Додаток 99

Додаток 100

Додаток 101

Додаток 102

Додаток 103

Додаток 104

Додаток 105

Додаток 106

Додаток 107

Додаток 108

Додаток 109

Додаток 110

Додаток 111

Додаток 112

Додаток 113

Додаток 114

Додаток 115

Додаток 116

Додаток 117

Додаток 118

Додаток 119

Додаток 120

Додаток 121

Додаток 122

Додаток 123

Додаток 124

Додаток 125

Додаток 126

Додаток 127

Додаток 128

Додаток 129

Додаток 130

Додаток 131

Додаток 132

Додаток 133

Додаток 134

Додаток 135

Додаток 136

Додаток 137

Додаток 138

Додаток 139

Додаток 140

Додаток 141

Додаток 142

Додаток 143

Додаток 144

Додаток 145

Додаток 146

Додаток 147

Додаток 148

Додаток 149

Додаток 150

Додаток 151

Додаток 152

Додаток 153

Додаток 154

Додаток 155

Додаток 156

Додаток 157

Додаток 158

Додаток 159

Додаток 160

Додаток 161

Додаток 162

Додаток 163

Додаток 164

Додаток 165

Додаток 166

Додаток 167

Додаток 168

Додаток 169

Додаток 170

Додаток 171

Додаток 172

Додаток 173

Додаток 174

Додаток 175

Додаток 176

Додаток 177

Додаток 178

Додаток 179

Додаток 180

Додаток 181

Додаток 182

Додаток 183

Додаток 184

Додаток 185

Додаток 186

Додаток 187

Додаток 188

Додаток 189

Додаток 190

Додаток 191

Додаток 192

Додаток 193

Додаток 194

Додаток 195

Додаток 196

Додаток 197

Додаток 198

Додаток 199

Додаток 200

12. Кошельник В.М. Дослідження енергоефективності процесу термообробки залізобетонних виробів при застосуванні різних видів теплоносіїв [Електронний ресурс] / В.М. Кошельник, Ю.В. Шулєгін, О.І. Глинько. – Режим доступу: http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/turbine/vestnik%202012/2012_7/7_2012_27.pdf.
13. Павлюк В.В. Слізка тепловиділення цементу загальнобудівельного призначення, модифікованого хімічними добавками / В.В. Павлюк, 281 Л.В. Терещенко, К.В. Бондар // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне : НУВГІ, 2010. – Випуск 20 – С. 82 – 87.
14. Теплоі процеси та установка / Б.І. Гоц, В.М. Кокшаров, В.В. Павлюк, С.А. Тимошенко. – К. : Основа, 2014. – 360 с
15. Ashish N. Sarode. Experimental and Computational Fluid Dynamics Analysis of a New Flat Plate Solar Collector [Electronic resource] / Ashish N. Sarode, Dr. Atul A. Patil, V.H. Patil. – Access mode: http://www.ijettjournal.org/Special%20issue/ICGTETM-2016/ICGTETM_2016_paper_128.pdf.
16. Aymenov Zh. Vello-technical systems and prospects of their use for heat treatment of slag-alkali concrete [Electronic resource] / Zh. Aymenov. – Access mode: <http://ite.urgu.kz/sites/default/files/files/02032012.pdf>.
17. CFD Analysis of Solar Flat Plate Collector [Electronic resource] / P.W. Ingle, A.A. Pawar, B.D. Deshmukh, K.C. Bhecar. – Access mode: http://www.ijetae.com/files/Volume3Issue4/IJETA_E_0413_59.pdf.
18. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes [Electronic resource] / J.A. Duffie, W.A. Beckman. – Access mode: http://www.magsoft.com.pl/~herbatniczek/naslen/files/Solar_Engineering_of_Thermal_Processes.pdf. 320. Effect of thermal treatment on properties of high strength concrete [Electronic resource] / R. Toropovs, D. Bajars, G. Shakhmenko, A. Korytins, J. Justs. – Access mode: http://lufb.llu.lv/conference/Civil_engineering/2013/partI/Latvia_CivilEngineering2013Vol4Part1_129-133.pdf.

19. Knor G. Determination of thermal properties of hardening concrete containing high calcium fly ash / G. Knor, J Homieki-Szulc & M.A. Gliniecki // 14th, International Conference Structural Faults and Repair, Volume: 1, 3rd – 5th July 2012, Edinburgh.
20. Sakir Erdogan. Optimum heat treatment cycle for cements different in type and composition [Electronic resource] / Sakir Erdogan, Sirin Kurbetci. – Access mode: <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/679.pdf>
21. Vasudeva Karanth K. Numerical Simulation of a Solar Flat Plate Collector using Discrete Transfer Radiation Model (DTRM) – A CFD Approach [Electronic resource] / K. Vasudeva Karanth, M.S. Manjunath, N. Yagnesh Sharma. – Access mode: http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_pp2355-2360.pdf.
22. Shulgina V.V. Heat balance camera at thermal cooling concrete products / T.S. Kugaevska, V.P. Sopcov // Collection of scientific articles «Energy, energy in construction» / Kazimierz Pulis University of Technology and Humanities in Radom. – Radom, Poland, 2016. – № 1 (6). P. 12 – 17.
23. ДСТУ Б.В.2.7-183:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму»
24. ДСТУ Б.В.2.7-44:2010 «Будівельні матеріали. Цементи. Відбір і підготовка проб»
25. ДСТУ Б.В.2.7 – 32 – 95 Дрібні заповнювачі для будівельних матеріалів
26. ДСТУ Б.В.2.7 – 34 – 2001 “Щебінь для будівельних і скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо – збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови”
27. ДСТУ Б.В.2.7-43:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
28. ДСТУ Б.В.2.7-112:2002 Цементи. Загальні технічні умови
29. ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевірки (ISO 3696:1987, ІСТ)
30. ДСТУ Б.В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови

31. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Бетони. Визначення міцності за контрол
зразками
32. ДСТУ Б В.2.7-74. Будівельні матеріали. Крутки природні
відходів гірських порід. Зразки для будівельних конструкцій, в
конструкції капіля.
33. ДСТУ Визначення іовітв
тверднені