

**KAPITEL 2 / CHAPTER 2²****PROPERTIES OF SPECIAL CONCRETE MODIFIED WITH IRON UNDER DYNAMIC INFLUENCES****DOI: 10.30890/2709-2313.2022-15-01-009****Вступ**

Забезпечення збереження будинків і споруд протягом заданого часу експлуатації, збільшення міжремонтного терміну експлуатації будівельних конструкцій є одним з головних факторів підвищення рівня використання будинків і споруд. Сучасні методи ремонту будівельних конструкцій, зокрема, бетонних і залізобетонних, припускають або введення додаткових елементів, або збільшення розмірів існуючих.

У процесі експлуатації конструкції будинків і споруд сприймають динамічні впливи, які виникають у результаті роботи технологічного й іншого обладнання, а також підривних робіт у кар'єрах і шахтах, розташованих поблизу підприємств, що спостерігається, зокрема, в умовах Криворізького залізорудного басейну.

Як відомо, бетони, що призначені для ремонту конструкцій будинків і споруд, повинні володіти цілим рядом специфічних властивостей, а саме, високою міцністю при стиску для забезпечення можливості мінімізації розмірів ремонтних елементів і, особливо, високою міцністю зчеплення з бетоном існуючих конструкцій. Традиційні бетони не мають такого комплексу властивостей. Властивості ж відомих спеціальних бетонів, призначених для ремонту будівельних конструкцій, у тому числі й модифікованих залізом, які мають високі показники фізико-механічних властивостей, зокрема, адгезію до матеріалів будівельних конструкцій, в умовах дії динамічних впливів на цей час вивчені недостатньо. А дія динамічних впливів на міцність зчеплення ремонтного бетону з бетоном конструкції, що ремонтується, на цей час не досліджена.

Таким чином, проблема вивчення властивостей бетонів, призначених для ремонту будівельних конструкцій, в умовах дії динамічних впливів, є актуальною.

Метою досліджень, результати яких висвітлюються, є вивчення фізико-механічних властивостей модифікованих залізом бетонів, призначених для

²*Authors: Herasymova Catherine Varfolomeevna*



ремонті бетонних і залізобетонних конструкцій в умовах динамічних впливів.

2.1. Аналіз факторів, що впливають на властивості бетону

Відповідно до визначення структури бетону, як поліструктурної системи [1], її характеристиками можуть служити вихідна кількість компонентів бетону, величина поверхні розділу між ними, вид і кількість продуктів гідратації.

На цей час, для прогнозування міцності бетону широко використовуються залежності, що встановлюють зв'язок між міцністю бетону і його пористістю (щільністю), як характеристики його структури, припускаючи, що остання перебуває у функціональній залежності від водоцементного відношення в бетоні. Виходячи із цих положень, отримані відомі рівняння, що описують взаємозв'язок міцності бетону із цементно-водним відношенням [2-10].

Згідно [2,12], властивості бетону залежать від кількості й співвідношення між його компонентами й, у першу чергу, вмісту цементного каменю, який у розрахунках приймається за абсолютною величиною або, що найчастіше, як концентрація цементного каменю в бетоні [2] – m , тобто відношення об'єму цементного каменю до об'єму бетону. Для кількісної характеристики вмісту заповнювачів у бетоні застосовують величину абсолютного (або відносного) їхнього об'єму в бетоні [2,12]. У роботах [13-15] запропоновано використати як характеристику заповнювачів сумарну поверхню їхніх зерен - S . При цьому встановлено [16], що при постійній витраті цементу й водоцементному відношенні в бетоні, зміна гранулометричного складу заповнювачів без зміни величини S міцність і деформативність бетону не змінює. Однак, якщо використати в розрахунках структурний показник - N , що дорівнює відношенню умовної товщини шару цементного тіста між зерен заповнювачів до розміру поверхні зерен заповнювачів, тобто єднальної величини " m " і " S " [2], то вже необхідно дотримання лише однієї умови: $N = \text{const}$, для збереження властивостей бетону стабільними. У той же час, у роботах [17-19], як характеристики складу бетону запропоновані й обґрунтовані експериментально: X - насичення розчинної частини дрібним заповнювачем; Z - розрідження цементного тіста; Y - насичення бетону великим заповнювачем.

Таким чином, для найбільш повної характеристики структури бетону й властивостей його компонентів необхідно використати наступні структурні



характеристики: X - насичення розчинної частини дрібним заповнювачем; Z - розрідження цементного тіста; Y - насичення бетону великим заповнювачем; S - сумарна поверхня суміші заповнювачів; m - концентрація цементного каменю в бетоні; $N = m/S$.

Згідно [1], деформації усадки зумовлюють виникнення внутрішніх тріщин у тілі бетону, наявність яких, у свою чергу, знижує його щільність і підвищує проникливість, що, у свою чергу, знижує міцність, стійкість і довговічність бетону [20-22]. Що стосується деформаційних властивостей бетону під дією зовнішніх навантажень, то тут необхідно відзначити, що на цей час немає досить певних рішень щодо взаємозв'язку деформативності бетону з його структурою. Практично у всіх відомих роботах [2,23,24] пропонується залежність величини початкового модуля пружності бетону від його міцності. Лише незначна кількість досліджень, наприклад [12,25], присвячена питанню дослідження залежності деформативних властивостей бетону від його складу.

Реологічні властивості бетонної суміші на цей час достатньо повно вивчені. Доведено [26-31], що вони залежать від виду цементу, вмісту цементного тіста в бетонній суміші, співвідношення між заповнювачами в бетоні й потужності ущільнення [13,32-34].

Одними із основних методів керування міцністю й деформативністю цементного каменю, згідно [1,2,12,22], є зміна дисперсності часток цементу й мінералогічного складу його дисперсної частини.

Аналіз результатів досліджень, наведених у роботах [12,25], дозволяє зробити висновок про те, що введення до складу в'язучих речовин мінеральних добавок сприятиме зниженню деформативності цементного каменю.

На підставі викладеного можна зробити висновок про те, що на реологічні властивості бетонної суміші, деформативні властивості бетону і його міцність визначальний вплив здійснюють властивості й вміст їхніх компонентів, а також ступінь взаємодії між ними.

Одним з основних методів зниження проникливості цементного каменю на цей час пропонується зниження водоцементного відношення [12,23]. Однак, даний метод завжди спричиняє збільшення міцності цементного каменю [12,23], що призводить до погіршення легкоукладності бетонної суміші [12,23] та вимагає додаткових заходів щодо її підвищення. Іншим шляхом підвищення щільності цементного каменю може бути визнано метод зменшення кількості вільної води в цементному камені й бетоні. Це узгоджується з висновком,



зробленим у роботі [35] про те, що в якості в'язучих для бетонів доцільніше використовувати такі, твердіння яких супроводжується міцним стійким зв'язуванням максимальної кількості води при помірній контракції. Це ж положення підтверджується даними, наведеними в роботі [36]. Крім цього, збільшення вмісту води в затверділому бетоні, за даними [25], призводить до збільшення модуля пружності бетону.

Ефект збільшення щільності й міцності, радіаційної стійкості та стійкості до дії підвищених температур, а також зниження усадки цементного каменю відбувається шляхом введення у систему, що твердіє в'язких йонів sd-елементів, зокрема, заліза або залізовмісних речовин, про що встановлено у роботах [13, 21].

2.2. Дія динамічних впливів на властивості бетону

Вплив змінних, у тому числі динамічних, навантажень на властивості бетону вивчався практично при всіх дослідженнях в області бетонознавства. Однак певних, досить надійних результатів дотепер отримано дуже мало. Відомо лише, що динамічна міцність бетону вища за його призмичну міцність приблизно на 33% [24].

Згідно [12], повторне вібрування бетонної суміші, яке можна розглядати як додатковий динамічний вплив на неї, призводить, у певних випадках, до підвищення міцності бетону при стиску. Однак, його вплив на адгезію бетону не досліджувався.

Дотепер немає істотної кореляції між періодичним навантаженням (розтяг-стиск), максимальним розміром зерен і композицією зернистості заповнювача.

Результати досліджень Х. Райнхарда і П.Налатамбего довели, що міцність на розтяг й енергія тріщиноутворення була вища в бетонах із заповнювачем із великою міцністю (гравій, магматичний заповнювач), ніж у випадку бетону із щебеневим заповнювачем.

Існує велика кількість публікацій, що стосуються зв'язку водоцементного відношення з міцністю на стиск, розтяг й тріщиноутворення, однак щодо аналізу впливу водоцементного відношення на ударну міцність бетону вкрай мало досліджень [37-39].

Лише Ю.М. Баженов [40] підкреслив роль водоцементного відношення і



його вплив на формування структури бетону та на міцність при динамічному навантаженні. Автор не аналізував детально такого роду залежності, а результати зводилися до положення, що разом із зростанням водоцементного відношення знижується міцність бетону при динамічному навантаженні. У [40] наведено залежності міцності при ударі і на стиск бетону при показниках водоцементного відношення, що змінюються в діапазоні 0,4 - 0,7. У роботі [41] було доведено, що збільшення водоцементного відношення впливає на зниження міцності при динамічному й статичному навантаженні. Це може припускати більший вплив водоцементного відношення на структуру бетону й з'єднання в перехідному шарі [41] при швидкому динамічному навантаженні.

Кількість досліджень міцності бетону в умовах динамічного розтягу невелика. Уваги заслуговує наведений в цих дослідженнях факт, що деформація при динамічному навантаженні була в 1,46 разів більшою, ніж відповідна статична величина, що показує зростання січного модуля при максимальному навантаженні.

Дослідження, проведені П. Бринкером і Р. Линдеманом показали, що кількість необхідної енергії для руйнування бетонного зразка (енергію руйнівних деформацій) можна вважати постійною величиною.

У роботі М. Глиницькі наведені підсумки досліджень, у результаті яких запропоновано статистичний підхід до процесу тріщиноутворення в бетоні. Введення безрозмірного параметру, що характеризує бетон, дозволяє сформулювати залежність міцності від швидкості навантаження. На основі проведених досліджень встановлено, що величина безрозмірного параметру зменшується разом з ростом швидкості навантаження, напруг. Запропонована в даній роботі залежність характеризує величину цього безрозмірного параметру на досить великому інтервалі мінливості, і вона малочутлива до зміни швидкості навантаження й до складу досліджуваного матеріалу - бетону.

Аналізуючи викладене, можна зробити такі висновки:

- міцність на розтяг при динамічному навантаженні зростає разом зі зростанням швидкості навантаження. Як передбачалося в [42], при більшій швидкості навантаження необов'язково виступає більша кількість прорізаних зерен заповнювача;

- зростання швидкості навантаження призводить до збільшення кінцевої деформації бетонів.

Одним з технологічних прийомів управління властивостями бетонів є



використання поверхнево-активних речовин (ПАР). Останні, покриваючи поверхню дисперсної фази в'язучого, роблять її гідрофобною або гідрофільною, змінюють механізм взаємодії дисперсної фази з дисперсійним середовищем. Це виражається в збільшенні термінів тужавіння й твердіння цементних мінералів, зниженні витрати води, можливості укладання бетонної суміші зі зниженим змістом води.

Відповідно до класифікації, поверхнево-активними речовинами можуть бути органічні й неорганічні речовини. Крім цього, ПАР поділяються по ступеню дисперсності їхніх часток на грубодисперсні, колоїдні й молекулярні.

Традиційно в цементних системах в якості ПАР використовуються органічні сполуки. Згідно [35], найбільш ефективними молекулярними ПАР є органічні речовини, що містять у молекулах 12-18 атомів вуглецю. До даної групи відносяться карбонові кислоти, аміни, спирти рідкого ряду, ароматичні з'єднання, ефективність дії яких сильно обмежена малою розчинністю. До молекулярних ПАР, згідно [35], можуть бути віднесені й інші органічні сполуки. До цієї ж групи входять органічні сполуки молекулярно-колоїдного типу (лужні солі вищих жирних кислот), водні розчини яких, при певній концентрації, набувають властивостей колоїдів.

До колоїдних ПАР відносяться желатин, казеїн, крохмаль. Вони також представлені солями жирних кислот, які дисоціюють у водних розчинах. Карбонати й сульфати кальцію, оксиди й гідрооксиди тривалентного заліза відносяться до грубодисперсних ПАР гідрофільного типу.

Слід зазначити особливості такого виду поверхнево-активних речовин (ПАР), як ПАР на основі органічних речовин, що відрізняє їх від інших видів ПАР. Так стосовно одних матеріалів вони є гідрофільними, а для інших, зокрема цементних мінералів, їх можна вважати гідрофобними, тому що в цьому випадку відбувається їхня хемосорбція на поверхні мінералів портландцементу з утворенням міцно утримуваного шару вуглеводневих радикалів і гідрофобізацією цієї поверхні. Отже ці речовини є дифільними. Крім цього, в залежності від концентрації даних речовин у дисперсійному середовищі, дисперсна система «дифільна ПАР - дисперсійне середовище» має властивості або розчину, або колоїду [35]. Тому ці речовини, у загальному випадку, можна класифікувати як дифільні молекулярно-колоїдні ПАР.

З огляду на зазначені дані, а також результати досліджень, наведені в роботах, можна припустити, що введення до спеціального, модифікованого



залізом бетону комплексної добавки, що складається з лужної солі вищої жирної кислоти й простого ефіру - карбоксиметилцелюлози, дозволить підвищити його адгезійні властивості, сприяючи зниженню впливу динамічних навантажень на міцність контакту між «старим» і «новим» бетоном.

2.3. Матеріали, які використані в дослідженнях

Як основні матеріали в дослідженнях були використані портландцементи, що виробляються заводами України, відрізняються хімічним, мінералогічним складом і властивостями (табл. 3.1...3.3) та відповідають вимогам нормативних документів.

Таблиця 3.1 - Хімічний склад використаних цементів

Завод - виробник	Вид і марка цементу	Вміст оксидів, %			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
ВАТ «Донцемент»	ПЦ 400	24,52	4,63	5,27	60,35
ВАТ «Балцемент»	ПЦ 400	22,34	5,26	4,58	66,23
ВАТ «Кривий Ріг Цемент»	ПЦ 400	22,86	4,42	2,82	58,52

Таблиця 3.2 – Мінералогічний склад цементів

Завод-виробник	Вміст мінералів, %				
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	гіпс
ВАТ «Донцемент»	51,6	23,7	7,8	11,9	5,0
ВАТ «Балцемент»	61,7	18,6	5,9	10,3	3,5
ВАТ «Кривий Ріг Цемент»	53,5	25,3	9,2	9,0	3,0

Вибір цементів визначався розходженням вмісту в них мінералів, які швидко гідратують і термінами тужавіння й твердіння.

Як заповнювач використовувалися матеріали, що застосовуються для виробництва бетону: дніпровський річковий пісок і відходи криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) (табл. 3.4).



Таблиця 3.3 – Властивості цементів

Цемент	Нормальна густота, %	Термін тужавіння, хв.		Міцність при вигині, МПа		Міцність при стиску, МПа	
		початок	кінець	7 діб	28 діб	7 діб	28 діб
ВАТ «Донцемент»	26,5	105	260	4,3	6,6	29,7	42,7
ВАТ «Балцемент»	25,5	132	280	4,6	6,9	28,8	43,1
ВАТ «Кривий Ріг Цемент»	27,0	137	390	4,7	7,1	29,3	42,8

Як залізовмісний компонент комплексної добавки застосовувалися закис заліза - FeO , і гірські породи Криворізького залізорудного родовища, які переважно складаються із кварцу - SiO_2 , сидериту - $FeCO_3$ і магнетиту - $Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$ (табл. 3.5,3.6).

Таблиця 3.4 – Властивості дрібних заповнювачів

Вид заповнювача	Істинна щільність, кг/м ³	Насипна щільність, кг/м ³	Часткові залишки на ситах, %				
			2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Класифіковані відходи ГЗК	2650	1520	16,1	22,9	52,7	7,8	0,5
Пісок річковий дніпровський	2600	1490	-	12,1	26,9	32,6	28,4

Таблиця 3.5 – Хімічний склад гірських порід Криворізького родовища

Вміст основних компонентів, %				
SiO_2	$FeO \cdot Fe_2O_3$	Fe_2O_3	$FeCO_3$	CaO
58,0	20,8	17,5	10,0	1,0



Таблиця 3.6 – Мінералогічний склад порід Криворізького родовища (в %)

Кварц	Залізо	Магнетит	Гематит	Сидерит	Силікати заліза	Оксид сірки	Оксид кальцію
52	8,2	20,8	1,9	10,0	6,5	0,3	0,3

Вибір у якості залізовмісного компонента комплексної добавки гірських порід Криворізького залізрудного родовища зумовлений висновками, зробленими в роботі [13] про їхню ефективність використання в бетонах, призначених для посилення будівельних конструкцій.

У якості солі неграничної вищої жирної кислоти, ґрунтуючись на дані роботи [13], використовувався олеат натрію.

Як простий ефір використовувалася карбоксиметилцелюлоза, як найбільш широко розповсюджений простий ефір.

2.4. Методика досліджень

Помел залізовмісних гірських порід робили в кульовому млині до залишку на ситі 008 (4900 отв/см²) 5—8%.

Вміст пилоподібних і глинистих домішок у річковому піску й збагачених відходах ГЗК, визначений відмулюванням, становив 0,4...0,5%. Органічних домішок в дрібних заповнювачах не виявлено. Для виготовлення бетонів і розчинів використовували водопровідну воду. Цементне тісто невеликих порцій (до 3 кг) виготовляли вручну.

Порядок перемішування компонентів в'язучого й бетонної суміші, а також тривалість їхнього перемішування визначали при плануванні експерименту по однофакторному плану. В'язуче готувалося шляхом змішування гідравлічного в'язучого з мінеральними складовими добавки з подальшим додаванням водяного розчину органічного компонента комплексної добавки. Приготування більших партій сухої суміші здійснювалося перемішуванням у лабораторній мішалці у тім же порядку. З отриманої суміші виготовляли цементне тісто й бетони. Бетони використовували як дрібнозернисті, так і грубозернисті пластичної консистенції.

Вимірювання величини нормальної густоти цементного тіста проводилися



за стандартною методикою. Пластична міцність цементного тіста й розчинної суміші визначалася за допомогою стандартного конуса і вимірювалася за глибиною занурення в розчинну суміш сталевого конуса. Дослідження реологічних властивостей бетонних сумішей проводилися за стандартними методиками.

З отриманих цементного тіста й розчинної суміші виготовляли зразки - балочки розміром 40x40x160 мм, які випробувалися на вигин і стиск. При формуванні зразки ущільнювалися на лабораторному вібромайданчику.

Дозування води призначали з розрахунку одержання тіста або розчину нормальної густоти або заздалегідь заданої рухливості. Консистенцію цементного тіста перевіряли за допомогою стандартних методів, а розчину - по зануренню стандартного конуса.

Межа міцності цементного каменю й розчину при вигині визначалася як середнє арифметичне значення із двох найбільших результатів випробувань трьох зразків. Для визначення межі міцності при стиску цементного каменю й розчину були випробувані, отримані після випробувань на вигин, 6 половинок балочок. Межу міцності при стиску зразків цементного каменю й розчину обчислювали як середнє арифметичне значення міцності чотирьох зразків, які показали найбільші результати із шести випробуваних.

Усадку цементного каменю визначали на зразках розміром 40x40x160 мм при їхній герметизації парафіном. Деформації усадки вимірювали індикатором годинникового типу й лінійним мікроскопом "МИР".

Міцність зчеплення цементного каменю, розчину й бетону з поверхнею бетонних конструкцій визначали їхнім відривом від поверхні у віці 28 діб.

Склад і кількість продуктів гідратації мінералів цементу визначалися рентгенофазовим і диференційно-термічним аналізами. Рентгенофазовий аналіз виконаний на дифрактометрі ДРОН-3, що працює на монохроматичному випромінюванні $\text{Cu}\alpha$, з рентгенівською трубкою БСВ-11 при напрузі 30 кВ і анодному струмі 12 мА. Приготовлений порошок цементу містився в кювету, установлену на гоніометричний пристрій ГУР-5, обладнаний приставкою ГП-4 для зйомки полікристалічних речовин з обертанням у власній площині зі швидкістю 66 об/хв. Як детектор рентгенівського випромінювання використовувався сцинтиляційний лічильник зі швидкістю рахунку 500 імп/с. Гоніометр забезпечував обертання лічильника зі швидкістю 1 град/хв. Запис



рентгенограм проводився в інтервалі кутів 2Θ від 20° до 60° . Розшифровка рентгенограм робилася шляхом ідентифікації отриманих даних на основі рентгенівських характеристик природних і штучних мінералів, наведених у довідниковій літературі за табличними даними. Диференційно-термічний аналіз проводився на дериватографі системи Курнакова з діапазоном зйомки від 20° до 1000° С. Швидкість підйому температури в печі становила 10° град/хв, як еталон використався прожарений глинозем. Результати вимірювань температури матеріалів у процесі нагрівання наносили на графік «температура-час».

Межа міцності бетону при стиску визначалася на контрольних зразках у вигляді кубів розміром $15 \times 15 \times 15$ см. Форми для зразків використовувалися розбірні, виготовлені зі сталі. Внутрішня сторона змащувалася мінеральним маслом.

Через час, заданий програмою випробувань, зразки зважувалися для визначення об'ємної маси й вимірювалися з точністю до 1 мм. Для випробувань зразків-кубів на стиск була використана універсальна іспитова машина УММ-50. Навантаження при випробуваннях зростало рівномірно зі швидкістю 0,2 МПа за 1 с.

Експерименти планувалися одно - і двофакторними, одно - і дворівневими.

На початковій стадії структуроутворення, до тужавіння, система «цемент - заповнювач - вода» має переважно пластичні деформації. Тому, у цьому випадку, основною характеристикою процесів формування її структури є, відповідно до [2], рухливість або твердість. На даному етапі структуроутворення цю дисперсну систему прийнято називати «бетонна суміш» [2], що й було використано в роботі.

У процесі твердіння цієї системи утворюється композиційний матеріал, пружні деформації якого, при дії зовнішнього навантаження, переважають над пластичними. На даному етапі структуроутворення цю дисперсну систему прийнято називати «бетон» [2], що й було використано в роботі. Основними властивостями цього матеріалу, відповідно [2,13], і, з урахуванням мети досліджень, є міцність при стиску й зчеплення з основою, з якою він контактує при твердінні.

Динамічні впливи на предмет дослідження створювалися шляхом передачі на них вібраційних коливань, створюваних лабораторним вібромайданчиком СМЖ, конструкція якого дозволяє змінювати амплітуду коливань.



Як контрольовані показники якості бетону були прийняті його міцність при стиску й міцність зчеплення з бетоном. Ці показники визначалися після динамічного впливу як на бетонну суміш, так і на бетон.

Змінними факторами в дослідженнях були прийняті: термін початку дії динамічних впливів, їхня тривалість і кількість. Як показники динамічних впливів була прийнята їхня амплітуда.

Для оцінки точності вимірювань при проведенні випробувань визначався коефіцієнт варіації кожного контрольованого показника якості бетону:

$$V_t = \frac{\sigma}{x_{cp}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де σ - середнє квадратичне відхилення величини показника;

x_{cp} - середнє значення величини показника, що визначався в досліді.

Значення величин x_{cp} і σ визначали із залежностей:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (4.2)$$

$$x_{cp} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (4.3)$$

де x_i - одиничне значення досліджуваного показника;

n - кількість вимірювань.

При цьому враховувалася можливість оптимізації одержуваних матеріалів.

2.5. Вплив карбоксиметилцелюлози на властивості цементного тіста та цементного каменю

Як відомо, введення карбоксиметилцелюлози (КМЦ) до складу цементу впливає на процеси його гідратації, що підтверджується змінами термінів тужавіння цементного тіста. Тому, на першому етапі досліджень було визначено вплив КМЦ на основні властивості спеціального цементного тіста і цементного



каменю, а саме: терміни тужавіння, структурну міцність, міцність при стиску, величину адгезії й деформативність. Результати даних експериментів дозволять урахувати вплив КМЦ на властивості цементного каменю в подальших дослідженнях.

Відповідно до мети і задач досліджень, експерименти проводилися з використанням спеціального цементу [13], що містить 80 % портландцементу, 20 % залізовмісної речовини від їхньої маси з додаванням олеату натрію у кількості, згідно плану експериментів. З огляду на результати досліджень [12], за часовий орієнтир було прийнято час закінчення тужавіння цементного тіста.

Дослідження міцності при стиску, адгезії та корозійної стійкості цементного каменю були проведені при однократному динамічному впливі на цементне тісто відразу після його приготування. Цей вплив на цементне тісто створювався шляхом його вібраційного ущільнення для формування зразків.

2.5.1. Вплив карбоксиметилцелюлози на властивості цементного тіста

В даній групі експериментів досліджувалися терміни тужавіння, величина адгезійного зчеплення з бетоном, водоутримуюча спроможність, реологічні властивості та усадка цементного тіста в залежності від вмісту КМЦ.

В умовах експерименту, введення до складу спеціального цементу КМЦ призводить до зміни термінів тужавіння цементного тіста (рис. 5.1, 5.2).

При цьому введення КМЦ до складу спеціального цементу в кількості до 0,2% практично не змінює часу початку й закінчення тужавіння цементного тіста. При подальшому збільшенні вмісту КМЦ відбувається досить помітне уповільнення тужавіння, особливо значно збільшується час його закінчення.

В наступній групі експериментів була досліджена структурна міцність цементного тіста, що є показником, який характеризує його реологічні властивості та процеси структуроутворення композиційного матеріалу - цементного каменю.

В умовах експерименту, збільшення вмісту в розглянутій дисперсній системі «портландцемент - залізовмісний компонент - органічний компонент» органічного компонента до певної межі (в умовах експерименту до 0,4% від маси суміші портландцементу із залізовмісним компонентом) призводить до збільшення структурної міцності цементного тіста (рис. 5.3).

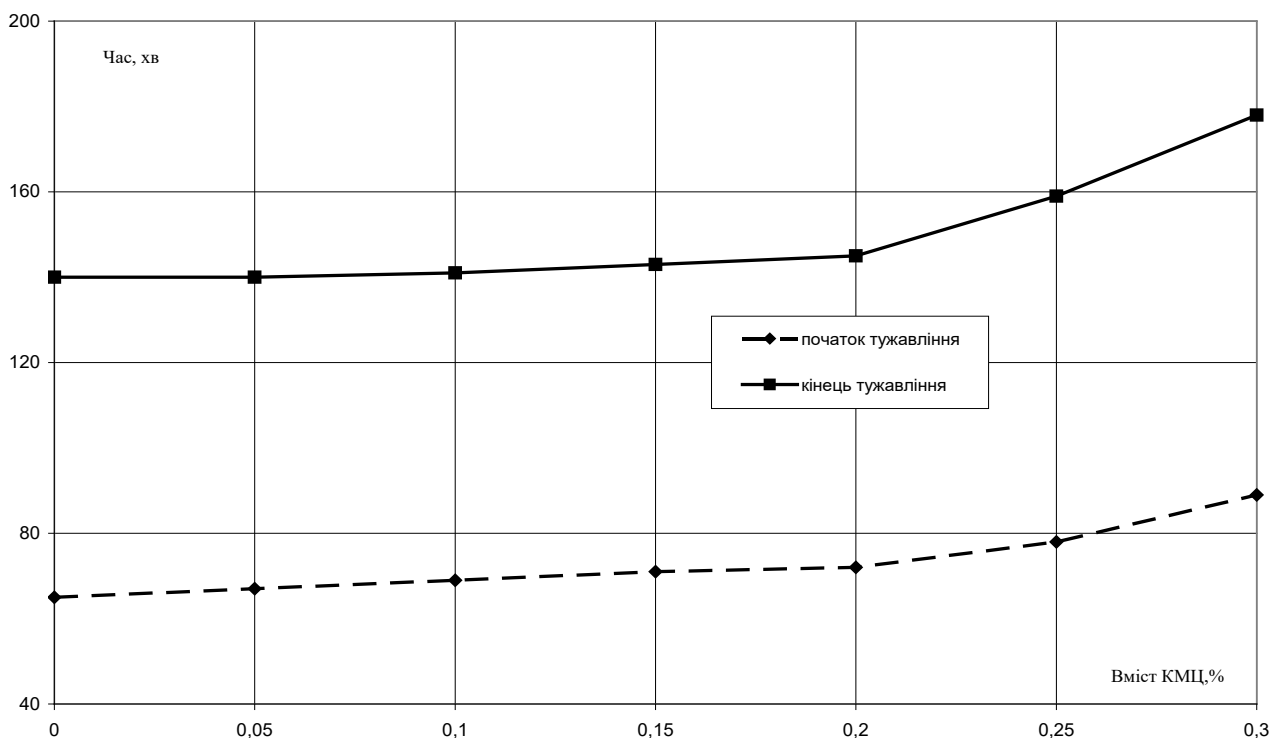


Рисунок 5.1 – Вплив вмісту КМЦ у складі цементу на строки тужавління цементного тіста (В/Ц=0,35)

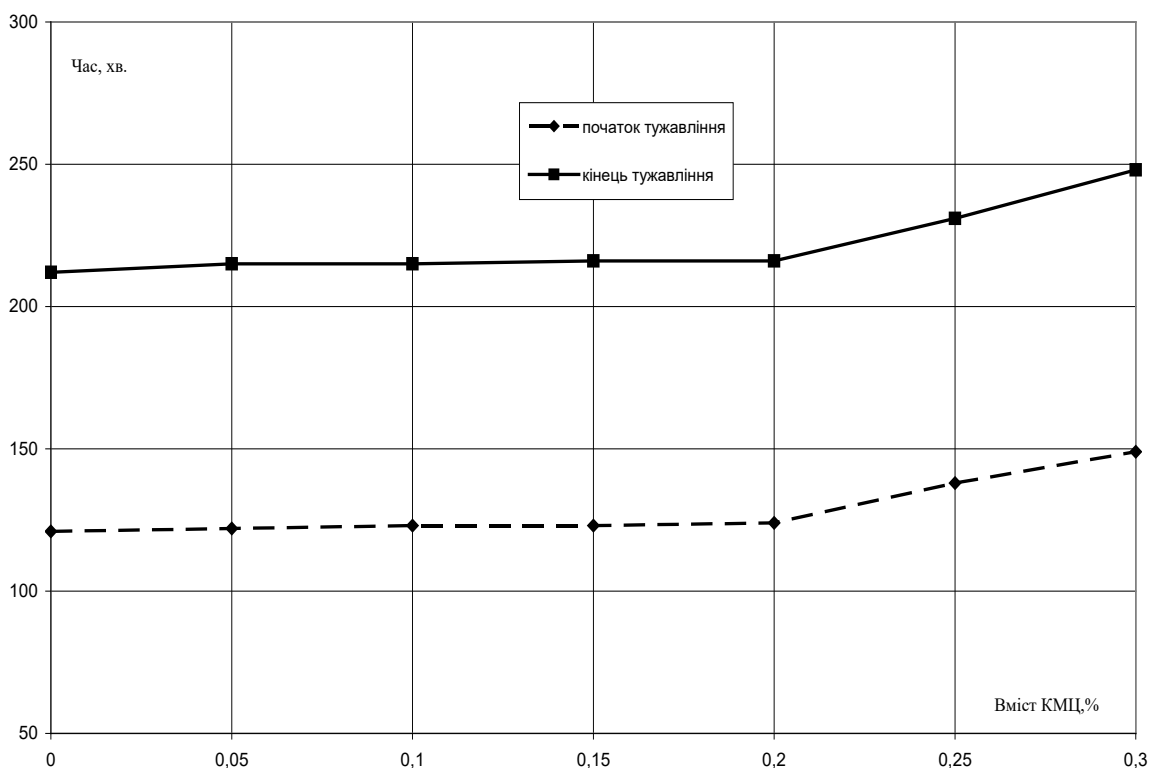


Рисунок 5.2 – Вплив вмісту КМЦ у складі цементу на строки тужавління цементного тіста (В/Ц=0,45)

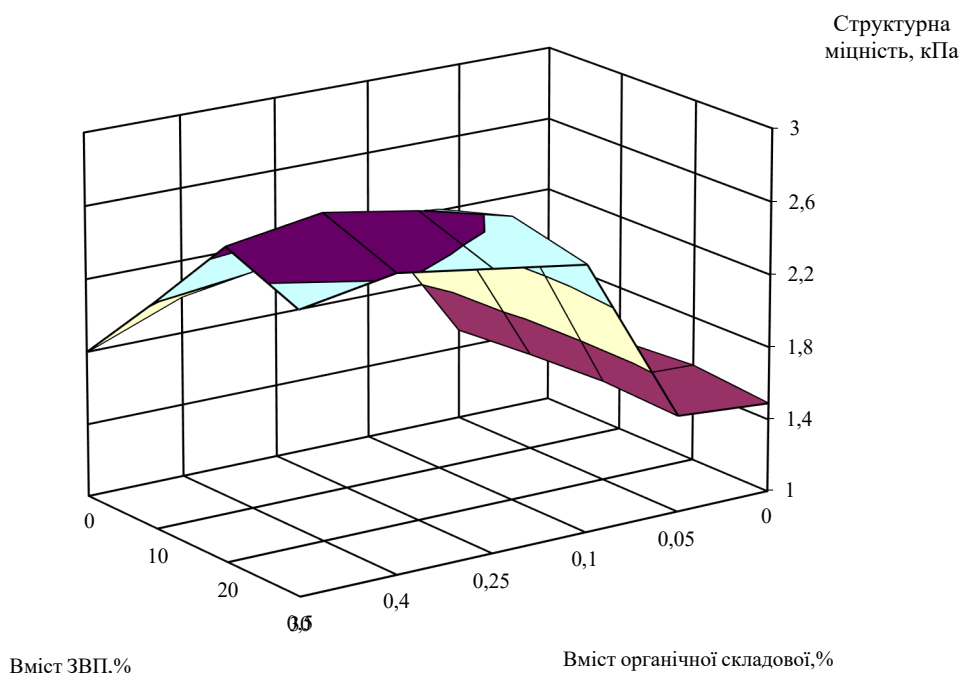


Рисунок 5.3 – Вплив складу комплексної добавки на величину структурної міцності дисперсної системи «портландцемент - комплексна добавка» (час – 15 хвилин після одержання системи, ЗВП - залізовмісна порода, склад органічної складової - олеат натрію / КМЦ =2)

Подальше збільшення вмісту органічного компонента в системі призводить до зниження її структурної міцності. Це підтверджує висновок про зміну характеру впливу олеату натрію на поверхню дисперсної фази системи в спеціальному цементі [13].

Зміна реологічних властивостей цементного тіста в часі також характеризує процеси, що відбуваються в системі. Тому було вивчено вплив КМЦ на зміну реологічних властивостей цементного тіста в часі. Реологічні властивості цементного тіста визначалися за наступною методикою.

Цементне тісто певного складу вміщували в ємність і витримували в ній певний час при постійній позитивній температурі. Після цього визначалася глибина занурення в цементне тісто стандартного конуса. Витрата залізовмісної речовини була прийнята оптимальною, за [13], тобто в кількості 20% від маси суміші «портландцемент - залізовмісна речовина».

В умовах експерименту при постійній позитивній температурі зовнішнього середовища, яка становила $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, з часом система «портландцемент – вода» втрачає рухливість, тобто збільшується її пластична міцність. Комплексні ж



добавки: «залізовмісна речовина - олеат натрію», «залізовмісна речовина - олеат натрію - КМЦ» трохи підвищують пластичність цементного тіста та уповільнюють зростання пластичної міцності в початковий період часу після виготовлення цементного тіста.

Тобто комплексні добавки «залізовмісна речовина - олеат натрію» та «залізовмісна речовина - олеат натрію - КМЦ», практично не впливаючи на швидкість збільшення пластичної міцності системи до початку її тужавіння, різко збільшують пластичну міцність системи після початку тужавіння й скорочують час між початком і кінцем її тужавіння.

При цьому введення КМЦ в систему трохи збільшує пластичну міцність цементного тіста та уповільнює її зростання до початку тужавіння, але після цього сприяє більш інтенсивному її зростанню.

Усадка цементного тіста, яка відбувається в процесі його структуроутворення, є важливим показником, що впливає на міцність зчеплення бетону з основою [13]. У зв'язку із тим, що усадку бетону, в основному, визначає усадка цементного тіста, а потім каменю, то в даній групі експериментів досліджувалася усадка цементного тіста в залежності від його складу й температури.

Визначення усадки цементного тіста проводилося на зразках висотою 5 см, шириною 10 см і довжиною 40 см. Для цього на скляні пластини, які були покриті прошарком машинного масла, встановлювали форму розміром 5x10x 40 см, що не мала дна. Форму заповнювали цементним тістом при легкому струшуванні. Після цього форму знімали, по три зразки відформованого цементного тіста на скляній пластині зберігали в приміщенні, де була температура $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$. Лінійну усадку цементного тіста визначали через час, який було задано планом експерименту лінійним мікроскопом «МИР-12».

В умовах експерименту введення до складу спеціального цементу КМЦ призводить до зменшення усадки цементного тіста. Вочевидь, це відбувається за рахунок збільшення кількості фізично зв'язаної води в такому цементному тісті, про що встановлено раніше.

Формування адгезійного зчеплення цементного тіста з бетоном основи відбувається з часом, про що свідчить збільшення величини його адгезії.

Збільшення міцності зчеплення цементного тіста з бетонною основою відбувається швидше при використанні комплексу «олеат натрію - КМЦ», що



може бути поясненим збільшенням кількості води, яка знаходиться у фізично зв'язаному стані в цьому цементному тісті.

Вода, яка знаходиться в цементному тісті у фізично зв'язаному стані опосередковано характеризується величиною його водоутримуючої спроможності. Збільшення водоутримуючої спроможності (збільшення кількості фізично зв'язаної води) цементним тістом зменшує здатність води, яка знаходиться в ньому, до міграції та, як наслідок, зменшує збезводнювання цементного тіста в контактній зоні з бетоном будівельної конструкції, на яку це тісто нанесене.

Для підтвердження цього висновку було виконано дослідження ступеня виділення води з дисперсної системи «портландцемент - добавка - вода» у залежності від водоцементного відношення, виду й вмісту добавки. При цьому було використано два види процесів, які сприяють виділенню води з цементного тіста:

- седиментація частинок дисперсної фази цементного тіста;
- відсмоктування води з цементного тіста пористою речовиною.

В якості пористої речовини, згідно до мети роботи, була використана поверхня бетону, яка мала певну пористість.

В умовах експерименту, збільшення до певної межі вмісту в цементному тісті усіх використовуваних добавок, при різних значеннях водоцементного відношення, призводить до зменшення виділення води з цементного тіста.

При цьому, використання комплексу «олеат натрію - КМЦ» забезпечує найвищу водоутримуючу спроможність цементного тіста у порівнянні з іншими добавками, які було застосовано в експериментах.

Аналіз результатів цієї групи експериментів показав, що оптимальний склад комплексу «олеат натрію - КМЦ» за водоутримуючою спроможністю цементного тіста визначається вмістом 0,25% олеату натрію й 0,13% КМЦ від маси системи «портландцемент - залізовмісна речовина», при вмісті залізовмісної речовини в кількості 20% від маси цієї системи.

На другому етапі цієї групи експериментів було визначено водоцементне відношення в цементному тісті на різній відстані від бетонної поверхні, на яку воно було нанесено. Для цього, після нанесення цементного тіста на основу, через одну годину витримки, із нього зрізалися прошарки завтовшки $(1 \pm 0,2)$ см. Відібрану пробу цементного тіста зважували й висушували до постійної маси



при температурі 105°C. Водоцементне відношення в прошарку цементного тіста визначалося за формулою:

$$\left(\frac{B}{Ц}\right)_i = \frac{P_e}{P_y},$$

де P_e - маса води в пробі;

P_y - маса цементу в пробі.

В умовах експерименту, введення в досліджувану систему КМЦ призводить до збільшення водоцементного відношення в зоні контакту цементного тіста з основою. Тобто підтверджується підвищення водоутримуючої спроможності цементного тіста і в цих умовах його застосування.

Збільшення водоутримуючої спроможності цементного тіста, яке містить комплекс «олеат натрію - КМЦ» опосередковано підтверджує, що система «цемент - залізовмісна речовина - олеат натрію - КМЦ - вода» містить значну кількість води, яка знаходиться у фізично зв'язаному стані.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили збільшення вмісту фізично зв'язаної води в цементному тісті, при введенні КМЦ до складу комплексу «залізовмісна речовина - олеат натрію».

За рахунок збільшення кількості води, що знаходиться у фізично зв'язаному стані зменшується міграція води з цементного тіста до основи, внаслідок чого підвищується водоцементне відношення на межі їхнього контакту. У цьому випадку забезпечується підвищена адгезія цементного тіста, яке містить КМЦ.

Збільшення в часі величини адгезії дисперсної системи «портландцемент - комплексна добавка» до бетону, згідно [13], відбувається за рахунок збільшення ступеня адсорбції компонентів цієї системи на поверхні бетону.

Для перевірки цього висновку було досліджено ступінь адсорбції й склад адсорбованих на бетонній поверхні компонентів дисперсної системи «портландцемент - комплексна добавка», в залежності від водоцементного відношення й вмісту компонентів добавки, у тому числі КМЦ.

Визначення концентрації компонентів дисперсної системи «портландцемент - комплексна добавка» у її контактній зоні з бетоном виконувалося при її нанесенні на верхню, нижню горизонтальну й бічну поверхні спеціально виготовлених бетонних зразків.

При нанесенні цементного тіста на верхню поверхню бетонного зразка, на його верхню поверхню встановлювали зйомну форму, що складається із двох частин. Форму заповнювали цементним тістом, яке ущільнювали вібруванням.



При нанесенні цементного тіста на нижню поверхню бетонного зразка, до зйомної форми, що складається із двох частин, прикріплювали дно. Після цього форму заповнювали цементним тістом і на його поверхню укладали бетонний зразок.

При нанесенні цементного тіста на бічну поверхню бетонного зразка, до нього прикріплювали зйомну форму, що складається із двох частин, що мала бічну сторону. Заповнення форми цементним тістом здійснювали зверху. Через певні проміжки часу (1, 2 і 3 години) зйомну частину форми разом із цементним тістом, що перебуває в ній, видаляли шляхом зрушення. Потім з поверхні зразка видаляли шляхом зрушення зйомну частину форми разом із цементним тістом, що перебуває в ній, і зважуванням визначали масу даної частини цементного тіста - P_{kc} . Висушуванням при температурі 110°C визначали масу компонентів спеціального цементу - P_o^d у масі цементного тіста.

Концентрацію дисперсної фази цементного тіста визначали за формулою:

$$K = \frac{P_o^d}{P_{kc}} .$$

Аналіз отриманих результатів експериментів показав, що протягом двох годин відбувається збільшення концентрації часток дисперсної фази на поверхні бетону. Крім цього, необхідно зазначити, що збільшення в часі адгезії дисперсної системи «портландцемент - комплексна добавка» відповідає збільшенню кількості дисперсної фази цієї системи в її контактній зоні з бетонною поверхнею.

Очевидно, що при нанесенні досліджуваної системи на верхню поверхню бетонного зразка збільшеному вмісту в контактній зоні часток її дисперсної фази з бетоном сприяє седиментація цих часток.

2.5.2. Вплив карбоксиметилцелюлози на властивості цементного каменю

В даній групі експериментів визначалися міцність при стиску, адгезія до бетону, усадка та хімічна стійкість цементного каменю, в залежності від вмісту КМЦ в цементі.

Виконаними експериментами встановлено, що вид аніонної частини застосованих органічних компонентів (олеату натрію й КМЦ) впливає на міцність отриманого цементного каменю при стиску.

Цементний камінь, отриманий у результаті твердіння спеціального



цементу, що являє собою дисперсну систему «портландцемент - залізовмісний компонент - органічний компонент», у якій у якості органічного компоненту було використано олеат натрію, має міцність при стиску більшу, ніж цементний камінь, отриманий на основі аналогічної дисперсної системи, у якій у якості органічного компоненту було застосовано карбоксиметилцелюлозу (КМЦ). Це можна пояснити розходженням у довжині і вигляді радикалів органічного компонента. Але така система, що містить суміш олеату натрію і КМЦ має найбільшу міцність при стиску.

У подальшому були виконано дослідження, метою яких було визначення оптимального співвідношення між органічними складовими системи.

Планування експерименту здійснювалося за двофакторним, дворівневим планом. У якості змінних факторів були прийняті: вміст олеату натрію – X_1 і вміст КМЦ – X_2 в цементі. За контрольований параметр було прийнято міцність цементного каменю при стиску – Y_1 . Вміст залізовмісного компонента в цементі був прийнятий в кількості 20% від маси суміші «портландцемент - залізовмісний компонент», як оптимальна величина, що встановлена в роботі [13].

В умовах експерименту зміна вмісту органічних компонентів і їхнього співвідношення призводить до зміни контрольованого параметра. При цьому залежність цього параметра від величини змінних факторів має явно виражений оптимум (рис. 5.4).

Як показав аналіз результатів даної групи експериментів, оптимальним є вміст суміші органічних компонентів цементу в кількості 0,4% від маси системи «портландцемент - залізовмісний компонент», при співвідношенні «олеат натрію / КМЦ» = 2. Це свідчить про зміни в структурі одержуваного матеріалу, що сприятливо впливає на його міцнісні властивості.

Таким чином, введення в спеціальний цемент КМЦ призводить до збільшення його міцнісних властивостей.

Аналіз результатів досліджень (рис. 5.4) показав, що оптимальний вміст КМЦ у системі становить 0,135%, олеату натрію - 0,27%, при вмісті залізовмісного компонента в системі в кількості 20% від маси суміші «портландцемент - залізовмісний компонент». Слід зазначити, що оптимальний вміст олеату натрію в отриманому цементі трохи нижче його оптимального вмісту у вихідному спеціальному цементі [13].

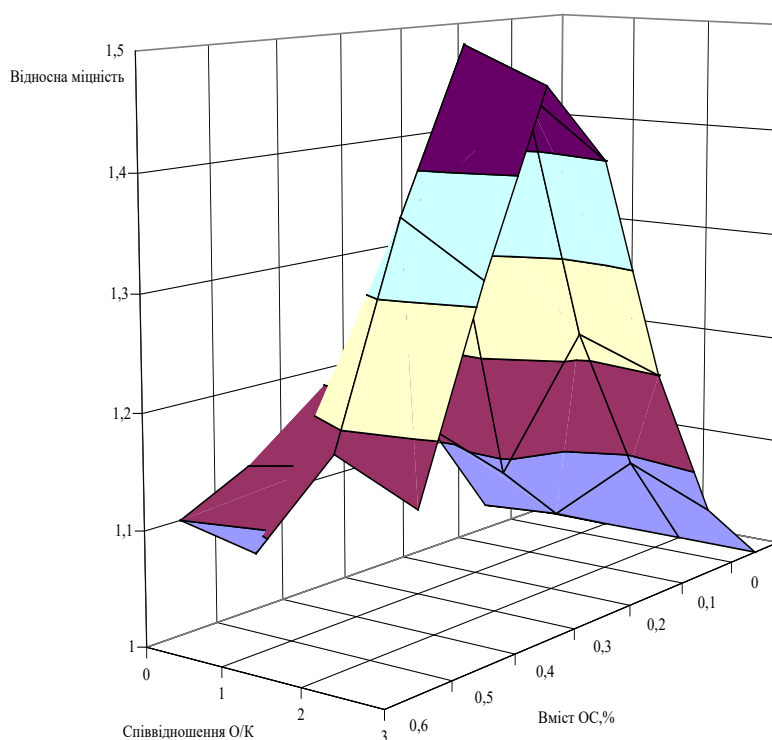


Рисунок 5.4 – Вплив органічних компонентів на міцність цементного каменю при стиску після однократного динамічного впливу на цементне тісто, яке містить 20% залізовмісної породи від маси суміші «портланд цемент – залізовмісна порода»

(ОС - органічна складова, О - олеат натрію, К – КМЦ)

Зміна вмісту інгредієнтів у дисперсній системі «портландцемент - комплексна добавка» не однозначно позначається на міцності при стиску одержуваного композиційного матеріалу.

Збільшення вмісту органічного компонента до певної межі (в умовах експерименту до 0,4% від маси дисперсної частини системи) призводить до збільшення міцності цементного каменю, подальше ж збільшення вмісту органічного компонента спричиняє її зниженню. Як показали результати експериментів, оптимальний вміст залізовмісного компонента становить 20% від маси дисперсної фази системи й відповідає його вмісту у вихідному спеціальному цементі [13].

У наступній групі експериментів визначалося оптимальне співвідношення між органічними складовими спеціального цементу і їхньою сумарною кількістю в цементі за величиною адгезії цементного каменю.

Планування експерименту здійснювалося за двофакторним, дворівневим



планом. У якості змінних факторів було прийнято: вміст олеату натрію – X_1 і вміст КМЦ – X_2 в цементі. За контрольований параметр було прийнято адгезію цементного каменю до бетону – Y_2 . Вміст компонента, що містить залізо, в цементі було прийнято в кількості 20% від маси суміші «портландцемент - залізовмісний компонент», як оптимальна величина, встановлена в роботі [67].

В умовах експерименту, зміна вмісту органічних компонентів і їхнього співвідношення призводить до зміни контрольованого параметра. При цьому залежність цих параметрів від величини змінних факторів має явно виражений оптимум.

Як показав аналіз результатів даної групи експериментів, оптимальним є вміст суміші органічних компонентів цементу в кількості 0,4% від маси системи «портландцемент - залізовмісний компонент», при співвідношенні «олеат натрію / КМЦ» = 2.

Тобто, як і в попередніх дослідженнях, застосування в якості органічної складової комплексної добавки суміші олеату натрію й КМЦ у відношенні 2:1 призводить до збільшення адгезії композиційного матеріалу до бетону. Це також свідчить про зміну в структурі одержуваного матеріалу, що сприятливо впливає на його адгезійні властивості, також як і на міцнісні.

Таким чином, введення КМЦ в спеціальний цемент призводить до збільшення його адгезійних властивостей.

Оптимальний вміст КМЦ у системі за величиною адгезійного зчеплення з бетоном становить 0,135%, а олеату натрію - 0,27% при вмісті залізовмісного компонента в системі в кількості 20% від маси суміші «портландцемент - залізовмісний компонент». Цей вміст органічних компонентів комплексної добавки достатньо близький до їхніх оптимальних вмістів, які забезпечують максимальну міцність цементного каменю при стиску. Крім цього, слід зазначити, що оптимальний вміст олеату натрію в отриманому цементі трохи нижче його оптимального вмісту у вихідному спеціальному цементі.

Протягом часу формування адгезійного зчеплення досліджуваної системи в усіх випадках також продовжується.

Кількісний аналіз продуктів гідратації дисперсної системи «портландцемент – комплексна добавка», в контактній зоні з портландцементним бетоном проведено на основі даних рентгенофазового аналізу. Він показав підвищений вміст у контактному шарі отриманого цементного каменю новоутворень різного складу, які представлено:



$3Ca \cdot Fe_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ ($d = 0,76; 0,38; 0,286$ нм), $Ca_2 \cdot Na \cdot [Al_5Si_5O_{20}] \cdot 6H_2O$ ($d = 0,49; 0,353; 0,288; 0,264$ нм) $Ca \cdot SiO_2 \cdot H_2O(l)$ ($d = 0,53; 0,307; 0,167; 0,153$ нм), $6CaO \cdot 2Si_2 \cdot 3H_2O$ ($d = 0,78; 0,332; 0,303; 0,291; 0,2026; 0,1879; 0,1769$ нм), $Ca(OH)_2$ ($d = 0,263; 0,2447; 0,1927; 0,1687$ нм), що свідчить про іонообмінні реакції компонентів дисперсної системи «портландцемент – комплексна добавка» із продуктами гідратації бетону будівельної конструкції.

Таким чином, дисперсна система «портландцемент – комплексна добавка» у процесі твердіння дозволяє одержувати композиційний матеріал, що має підвищену величину адгезії з бетоном, що забезпечується підвищеним вмістом в їхній контактній зоні мінералів, що містять значну кількість хімічно зв'язаної води: $3Ca \cdot Fe_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ та $Ca_2 \cdot Na \cdot [Al_5Si_5O_{20}] \cdot 6H_2O$, а також підвищенням кількості контактів між продуктами гідратації цієї системи й бетоном за рахунок підвищеного проникнення в глибину бетонної поверхні дисперсної системи «портландцемент – комплексна добавка» і хімічної взаємодії її компонентів із продуктами гідратації цементу бетону конструкції.

Крім цього слід зазначити, що КМЦ більше впливає на адгезійні, ніж на міцнісні властивості цементного каменю.

Експериментами встановлено, що введення КМЦ до складу спеціального цементу зменшує усадку цементного каменю.

2.6. Вплив динамічних впливів

2.6.1. Вплив терміну початку динамічних впливів

З технологічної точки зору, важливе значення має термін використання бетону після його приготування, так як не завжди можливе його використання безпосередньо відразу після приготування. Крім цього, так як вібраційні впливи, за допомогою яких ущільнюється бетонна суміш, відносяться до динамічних, отже, відповідно до завдань, поставлених у даній роботі, початок їхнього прикладання є важливим змінним фактором.

У даній групі експериментів досліджувалися динамічна міцність при стиску й зчеплення з бетоном цементного каменю, отриманого в результаті гідратації дисперсної системи «портландцемент – залізовмісний компонент – олеат натрію – карбоксиметилцелюлоза» залежно від вмісту її інгредієнтів і часу початку



вібраційних впливів на цементне тісто.

В умовах експерименту збільшення часу між приготуванням цементного тіста й початком динамічного (вібраційного) впливу на нього до закінчення тужавіння призводить до збільшення динамічної міцності цементного каменю при стиску й міцності його зчеплення з бетоном. Подальше збільшення часу між приготуванням і початком динамічних впливів на нього сприяє зниженню міцності зчеплення.

2.6.2. Вплив тривалості динамічних впливів

Тривалість динамічних впливів, зокрема вібраційних, при ущільненні бетонної суміші є важливою характеристикою технологічного процесу виробництва бетонних і залізобетонних виробів. Дане питання досить добре вивчене й представлене у науковій літературі.

Вплив же тривалості динамічних впливів на цементне тісто, при його укладанні, на величину адгезії одержуваного цементного каменю до бетонної поверхні дотепер не вивчений.

У даній групі експериментів досліджувалася міцність зчеплення цементного каменю оптимального складу з бетоном, в залежності від тривалості однократного вібраційного впливу на цементне тісто.

При проведенні експериментів за контрольований параметр було прийнято коефіцієнт ущільнення цементного тіста - $K_{ущ}$, що визначається як відношення щільності цементного тіста після ущільнення до його розрахункової щільності, а також величина міцності отриманого цементного каменю і його адгезії до бетону. Дослідження проводилися на спеціальному цементному тісті оптимального складу, установленого в процесі досліджень, при вмісті в ньому портландцементу - 80%, залізвмісної гірської породи - 20%, олеату натрію - 0,27%, КМЦ - 0,135% від маси суміші «портландцемент - залізвмісний компонент».

Як відомо [12], оптимальна тривалість вібраційної обробки бетонної суміші залежить від її реологічних характеристик. Тому, для одержання узагальненої залежності між реологічними показниками цементного тіста й оптимальною тривалістю вібраційного впливу на нього, як показник реологічних властивостей цементного тіста було прийнято показник його легкоукладності - G [13,17].

В умовах проведення експерименту, зменшення легкоукладності цементного тіста призводить до збільшення часу його ущільнення, потрібного



для досягнення максимальної величини коефіцієнта ущільнення.

2.6.3. Вплив інтенсивності динамічних впливів

Динамічні впливи характеризуються не тільки їхньою тривалістю, а й такими параметрами, як амплітуда й частота. Для характеристики вібраційних впливів на бетонну суміш запропоновано використовувати такий їхній показник, як інтенсивність, величина якої визначається з рівняння:

$$U = 0,001 \cdot A^2 \cdot n^3, \quad (6.1)$$

де A - амплітуда впливів; n - частота впливів.

Цей показник динамічних впливів і було прийнято при проведенні досліджень. Динамічні впливи на цементне тісто створювалися лабораторним вібраційним майданчиком, конструкція якого дозволяє змінювати амплітуду коливань при їхній частоті 3000 кол/хв. Величину амплітуди коливань змінювали від 0,1 до 0,5 мм.

В експериментах факторами, що варіюються, були прийняті: тривалість динамічних впливів – X_3 і їхня інтенсивність – X_4 . Склад цементного тіста прийнято: портландцементу - 80%, залізовмісної гірської породи (ЗВП) - 20%, олеату натрію - 0,27%, карбоксиметилцелюлози (КМЦ) - 0,135% від маси суміші «портландцемент - ЗВП».

У результаті експериментів встановлено, що інтенсивність динамічних впливів значно впливає на міцність при стиску цементного каменю й величину його адгезії до бетону.

2.6.4. Вплив кількості динамічних впливів

Однократні динамічні впливи на цементне тісто або бетонну суміш служать для формування ремонтного елемента, призводячи до збільшення їхньої щільності й забезпечуючи надання їм форми ремонтного елемента. У той же час, повторні динамічні впливи впливають на структуру цементного тіста, яка знаходиться у стані формування, руйнуючи речовини, що утворюються, і зв'язки між ними, що може привести до зниження властивостей одержуваного цементного каменю та, як наслідок, бетону.

У зв'язку з цим у даній групі експериментів досліджувалися властивості цементного тіста і одержуваного цементного каменю в залежності від впливу



початку дії й кількості повторних динамічних впливів на них.

У дослідженнях використовували спеціальний цемент оптимального складу. Контрольованими факторами, як і раніше, були прийняті динамічна міцність цементного каменю при стиску й величина його адгезії до бетону. У якості динамічних були прийняті вібраційні впливи, які дозволяють змінювати їхню інтенсивність у широких межах. За тривалість повторного динамічного впливу була прийнята 1 год.

Для можливості проведення аналізу в дослідженнях проведені порівняльні випробування цементного тіста без добавок, спеціального цементного тіста, отриманого у роботі [13] й цього спеціального цементного тіста з добавкою карбоксиметилцелюлози (КМЦ).

В умовах експерименту, збільшення терміну до початку повторного динамічного впливу на цементне тісто знижує його негативний вплив на одержуваний цементний камінь.

Висновки

У поданій роботі використовувався системний підхід до структури бетону в умовах дії динамічних впливів. Експериментально доведено, що поліпшення і стабільність властивостей спеціального цементу, який являє собою дисперсну систему «портландцемент – речовина, що містить залізо, – олеат натрію» в умовах дії динамічних впливів, забезпечується за рахунок формування мікроструктури матеріалу в напрямку оптимізації співвідношення гідратних фаз, виду новоутворень і ступеня упорядкування їх структури, а також оптимізації характеру і ступеня зв'язування води в просторі штучного каменю, що твердіє, шляхом введення у цю систему простого ефіру – карбоксиметилцелюлози. Вперше визначено вплив карбоксиметилцелюлози на формування фазового складу і структури спеціального цементу, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – залізовмісна речовина – олеат натрію – карбоксиметилцелюлоза». Встановлено, що процеси структуроутворення в такій системі, на відміну від спеціального цементу без карбоксиметилцелюлози, зумовлені збільшенням на початкових стадіях твердіння кількості фізично зв'язаної води з подальшим формуванням мінералів, що містять значну кількість хімічно зв'язаної води. Це забезпечує формування штучного каменю з щільною регулярно розподіленою кристалоподібною структурою.