

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



**ДУБОВ ТАРАС МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 666.972:666.9.022.7

**БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕМЕНТНОЇ СУСПЕНЗІЇ,  
АКТИВОВАНОЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, доцент  
**Шпирько Микола Васильович**,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія  
будівництва та архітектури»,  
завідувач кафедри технології будівельних матеріалів,  
виробів та конструкцій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Барабаш Іван Васильович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, професор кафедри міського будівництва та господарства;

кандидат технічних наук **Гришко Ганна Миколаївна**, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, доцент кафедри цивільної інженерії, технології будівництва та захисту довкілля.

Захист відбудеться 13 травня 2021 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а) та на сайті: <https://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Автореферат розісланий 12 квітня 2021 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



С.В. Шатов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В даний час в Україні постійно збільшуються обсяги монолітного будівництва з бетонів середніх класів міцності. Це пов'язано з перевагами монолітного будівництва, що полягає в його універсальності і можливості зниження собівартості, строків будівництва. При цьому необхідний набір високої ранньої міцності бетонів, що забезпечує збільшення обігу опалубки і швидкості навантаження виготовлених конструкцій. Прискорений набір міцності бетону необхідний при виробництві виробів, що тверднуть в природних умовах.

Останнім часом існує тенденція виготовлення бетонних сумішей з урахуванням енерго- та ресурсозбереження і зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок зниження вмісту в цементуючій системі енергоємного компонента - клінкеру.

Для зниження енергоємності та зменшення вмісту портландцементного клінкеру в цементній суспензії з урахуванням підвищення ранньої міцності бетону необхідна активація цементної суспензії.

Розповсюдженими способами активації цементних суспензій є використання механічної, фізичної активації, введення в них суперпластифікуючих і інтенсифікуючих твердіння добавок.

Тому дослідження щодо використання комплексної активації цементної суспензії, яка включає цемент, що містить 65 % клінкеру, розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в змінному електромагнітному полі з наступним введенням пластифікатора для середніх класів бетонів по міцності, що дозволяють підвищити їх фізико-механічні і експлуатаційні властивості, в тому числі ранню міцність, є актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наведені в дисертації дослідження виконані згідно з напрямком наукової діяльності кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ДВНЗ ПДАБА), відповідно до програми науково-дослідної роботи: «Розробка складів і виробництво ефективних будівельних матеріалів і виробів з енергозберігаючими технологіями та дослідження їх властивостей» (державний реєстраційний № 0111U006476, рівень участі дисертанта - виконавець).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є комплексна активація портландцементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою цементуючої системи в змінному електромагнітному полі і введеною суперпластифікуючою добавкою в бетонну суміш, для отримання цементних матриць і бетонів із покращеними фізико-механічними властивостями.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- на основі аналізу вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури розробити передумови для активації портландцементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою суспензії в змінному електромагнітному полі і

суперпластифікуючою добавкою, введеною в бетонну суміш, для отримання цементних матриць і бетонів із покращеними фізико-механічними властивостями;

- встановити параметри ефективної електромагнітної обробки цементної суспензії, що містить: цемент та розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;

- дослідити комплексний вплив на міцність цементуючої системи активатора твердіння -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та електромагнітної обробки цементної суспензії;

- оптимізувати зерновий склад заповнювачів;

- дослідити вплив суперпластифікуючої добавки на властивості бетонів;

- провести дослідження фізико-механічних властивостей розроблених складів бетону;

- провести практичну апробацію отриманих результатів у виробничих умовах.

**Об'єкт дослідження:** процеси формування структури й властивостей цементуючої системи і бетонів, виготовлених з використанням комплексно активованої цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і обробленої в змінному електромагнітному полі, з наступним приготуванням бетонної суміші і введенні в неї суперпластифікатора.

**Предмет дослідження:** цементуюча система та важкі цементні бетони, отримані змішуванням цементної суспензії з заповнювачами і суперпластифікуючою добавкою.

**Методи дослідження.** Експериментальні дослідження виконані за допомогою стандартних і спеціальних методів. Напруженість магнітного поля для обробки концентрованої цементної суспензії визначали за допомогою тесламетра. рН – метричні виміри в перші години твердіння проводили потенціометричним методом, використовуючи іономір лабораторний I-160М. Деформації усадки цементного тіста визначали на компараторі ІЗА-2. Визначення рухливості бетонної суміші проводили згідно стандарту EN 12350 2, що характеризується величиною осадки стандартного конуса (ОК). Морозостійкість бетону оцінювали прискореним методом згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96, п. 6.2. Структуроутворення цементного тіста вимірювали з допомогою конічного пластометра. Склад продуктів гідратації цементного каменю досліджений з використанням рентгенофазового й термічного аналізів. Диференційно-термічний аналіз проводився на дериватографі Q-1200 фірми МОМ. Електропровідність вимірювалася методом вольтметра-амперметра. Оптимізація бетонних сумішей і їх складів виконана із застосуванням математичних моделей. Для обробки й аналізу результатів експериментів використано статистичний метод планування експерименту (симплекс-решітчастий).

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблена комплексно активована цементуюча система з підвищеною ранньою міцністю, що містить цемент, розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , та оброблена в змінному електромагнітному полі з урахуванням індивідуального впливу кожного компоненту на фізико-механічні властивості;

- теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена гіпотеза про дисоціацію в більшій кількості молекул води, на поверхні зерен цементу (клінкеру та шлаку), активованого розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі. В результаті цього підвищується концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , що призводить до більш інтенсивного розчинення і диспергації поверхні зерен цементу, гідратації і збільшення кількості гідросилікатів кальцію і гідроалюмінатів кальцію, електростатичних, водневих контактів в одиниці об'єму твердої фази цементуючої системи і підвищення його міцності в ранньому і нормативному віці;

- визначено раціональні параметри електромагнітного поля: напруженість  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м і час обробки цементуючої системи (концентрованої цементної суспензії)  $t = 30$  с;

- встановлено, що міцність цементуючої системи, комплексно активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і в змінному електромагнітному полі, у віці 2-х діб підвищується на 28,08 % та складає 18,7 МПа, а у віці 28 діб – на 20,3 % і складає 46,1 МПа;

- встановлено, що за рахунок комплексної активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі міцність бетону збільшилась у віці 2-х діб на 32,3 %, з 6,8 до 9,0 МПа, при вмісті в бетоні  $300 \text{ кг/м}^3$  цементу, і на 24,4 %, з 14,3 до 19,2 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ , а у віці 28 діб – на 15,0 %, з 18,7 до 21,5 МПа, при вмісті в ньому  $300 \text{ кг/м}^3$  цементу, та на 20 %, з 37,5 до 45,0 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ ;

- визначено, що введення в бетонну суміш суперпластифікатора СП-3 сумісно з комплексною активацією цементуючої системи підвищує міцність бетону, по відношенню до міцності бетону на неактивованій цементуючій системі, в 2-х добовому віці на 39,7 %, при вмісті цементу в бетоні  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 39,8 % при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ .

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у впровадженні рекомендацій з використання установки у виробництві товарного бетону, який передбачає в операційній структурі технологічного процесу обробку в електромагнітному полі концентрованої цементної суспензії при виробництві бетонів (ПП «Експрес-буд», м. Дніпро). При невисоких енерговитратах це дозволяє інтенсифікувати процеси структуроутворення, підвищити фізико-механічні й експлуатаційні властивості бетону, або скоротити витрати портландцементу, що відбивається на зниженні собівартості виробів.

**Особистий внесок здобувача** полягає в теоретичному обґрунтуванні й експериментальному підтвердженні поліпшення основних характеристик цементного каменя і бетонів, комплексно активованих розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і обробленої в електромагнітному полі концентрованої цементної суспензії, обробці отриманих даних, впровадженні результатів досліджень у виробництво з визначенням техніко-економічної ефективності запропонованих рішень.

В роботах, які опубліковані у співавторстві, автору належить: [2, 3] – дослідження впливу обробленої в електромагнітному полі води на зміну міцнісних показників цементного каменя; [4] – патентний пошук пристроїв для

магнітної та електромагнітної обробки рідин, що використовуються для виготовлення бетонних виробів, і розробка власного пристрою; [5] – дослідження методами рентгенофазового аналізу фазового складу цементного каменю; [7] – дослідження впливу електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії на фізико-механічні властивості.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались й отримали позитивні оцінки на: IX Українській науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності в XXI столітті – якість житлового середовища–2009» (м. Дніпропетровськ, 2009 р.), V Всеукраїнській інтернет-конференції «Інноваційний потенціал української науки - XXI століття» (м. Запоріжжя, 2009 р.), 5-й Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Наука й життя: українські тенденції, інтеграція у світову наукову думку» (м. Київ, 2009 р.), засіданнях і наукових семінарах кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ДВНЗ ПДАБА (2017–2020 рр.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані в 10 наукових роботах, зокрема 7 статтях у наукових фахових виданнях України, у тому числі 2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз; 2 тезах доповідей, 1 патенті України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація містить 29 рисунків та 21 таблицю. Повний обсяг роботи – 153 сторінки. Основний текст викладено на 108 сторінках, список літературних джерел із 204 найменувань розміщено на 19 сторінках, два додатки – на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, наведено найважливіші положення, які лягли в основу наукових досліджень і практичних розробок, показано новизну роботи, визначено практичну цінність результатів.

У **першому розділі** представлено аналітичний огляд літературних джерел, присвячених проблемам отримання цементуючих систем для бетонів зі швидким наростанням міцності.

На основі аналізу наукових робіт, присвячених композиційним в'язучим і бетонам, П. В. Кривенка, Л. І. Дворкіна, М. А. Саницького, В. М. Вирового, І. В. Барабаша, А. А. Плугіна, С. М. Толмачова, М. І. Нетеси, І. Д. Марущака, Т. П. Кропивницької та інших виявлено, що в технології цементуючих систем із покращеними технологічними та експлуатаційними властивостями управління їх властивостями здійснюється за рахунок використання цементів із визначеним гранулометричним складом, гібридних цементів, суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу, лужних та лужноземельних прискорювачів твердіння, мінеральних мікродобавок різного мінералогічного складу і розмірного рівня, а також механічною активацією і активацією компонентів цементуючої системи в різноманітних електрофізичних полях.

В наукових роботах Р. Д. Азелицької, Ю. М. Бутта, В. В. Тімашева, П. П. Буднікова, О. П. Мчедлова-Петросяна, І. М. Грушка, А. В. Ушєрова-Маршака, М. П. Горленка, М. М. Круглицького, І. Г. Гранковського та інших виявлено, що покращення фізико-механічних властивостей бетону також можливе за рахунок електромагнітної обробки води, для замішування суміші цементу з заповнювачами, на основі якої виготовляється бетон, і магнітної обробки цементно-водних суспензій.

При обробці води в змінному електромагнітному полі в результаті прецесії Лармора проходить часткове руйнування структури води до утворення молекул і змінюється константа дисоціації молекул води, що збільшує в ній кількість іонів  $\text{OH}^-$  і  $\text{H}^+$ . Останні є більш рухомими і швидше проникають в дефекти поверхні зерен цементу, підвищуючи розчинність, диспергацію і ступінь гідратації в'язучого. При обробці цементуючої системи – концентрованої цементної суспензії, в змінному електромагнітному полі зміні піддається не тільки структура води, але і структура цементних зерен, що включають клінкер і шлак. Це приводить до зниження міцності зв'язків  $-\text{Me}-\text{O}-$ .

В той же час дослідження по активації цементуючих систем, в основному, проводились для високоміцних систем і самоущільнюючихся бетонів. Цементуючі системи для найбільш широко застосовуваних бетонів середніх класів по міцності С 16/20 – С 30/35, з використанням цементу ПЦ ІІ/Б-Ш-400, що містить до 35 % доменного шлаку, і найбільш розповсюджені суперпластифікуючі добавки та інтенсифікатори твердіння у вигляді розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з обробкою в змінному електромагнітному полі практично не досліджувались. Електромагнітна активація води, в основному, проводилась до введення її в склад бетонної суміші, що знижувало ефект інтенсифікації розчинення мінералів цементу. Активація в змінному електромагнітному полі не тільки води замішування, а всієї цементуючої системи може призвести до більш істотних і стабільних результатів покращення властивостей бетону. У зв'язку з цим сформульована така робоча гіпотеза: підвищення міцності цементуючої системи і бетону в ранньому і нормативному віці може бути досягнуто внаслідок комплексної активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою її в змінному електромагнітному полі, з наступним приготуванням бетонної суміші і введенням у бетонну суміш суперпластифікатора. При цьому, в результаті сумісного впливу на цементуючу систему розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і Ларморової прецесії, в рідкій фазі цементуючої системи збільшується концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$  і  $\text{H}^+$  в порівнянні з неактивованою системою. Це призводить до інтенсифікації процесів розчинення, диспергації і гідратації, і як наслідок, збільшення утворення гідросилікатів, гідроалюмінатів кальцію, кількості і площі контактів в твердій фазі цементуючої системи і бетону. Пластифікатор вводиться в бетонну суміш, в основному, з метою забезпечення її необхідної рухливості і відіграє дві ролі. По перше, він забезпечує необхідну рухливість при зниженні В/Ц, і за рахунок цього інтенсифікується набір міцності бетону і цементуючої системи. По друге, його радикали адсорбуються на поверхні зерен клінкеру, шлаку та наночасток гідратованих мінералів і екранують зв'язки в

контактах твердої фази, що призводить до деякого зниження міцності цементуючої системи і бетону. В зв'язку з цим пластифікуюча добавка вводиться у бетонну суміш.

У **другому розділі** наведені основні характеристики використаних у дослідженнях сировинних матеріалів, надано опис методів дослідження.

Для виготовлення бетону було використано такі матеріали: портландцемент загальнобудівельного призначення ПЦ П/Б-Ш-400; розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; суперпластифікатор СП-3; гранітний щебінь Рибальського кар'єру; кремнеземистий компонент – дніпровський річковий пісок з модулем крупності 1,34, дніпровська водопровідна вода. Основні властивості в'язучого і води визначали із застосуванням стандартизованих методів досліджень.

Визначення фазового і хіміко-мінералогічного складу новоутворень здійснювалось методами рентгенофазового і термічного аналізів. Рентгенофазовий аналіз проводили на рентгенівському дифрактометрі Дрон-3. Диференційно-термічний аналіз проводився на дериватографі Q-1200 фірми МОМ. Електропровідність вимірювалась методом вольтметра-амперметра при напрузі 0,1-10 В/см. рН-метричні вимірювання в перші години твердіння проводили потенціометричним методом, використовуючи іоніметр лабораторний І-160М. Пластичну міцність цементного тіста вимірювали за допомогою пластометра. Деформації усадки цементного тіста визначали на компараторі ІЗА-2. Визначення рухливості бетонної суміші проводили згідно стандарту EN 12350-2, яким встановлено марки за легкоукладальністю S1–S5, що характеризуються величиною осадки стандартного конуса.

Морозостійкість бетону оцінювали прискореним методом згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96, п. 6.2 (насичення і відтавання зразків бетону проводили в розчині хлористого натрію 5 % концентрації). Дослідження зразків цементного каменю проводились на пресі П-10, а бетону – П-125. У роботі використано метод планування експерименту.

У **третьому розділі** приведено результати досліджень впливу комплексної активації цементуючої системи, що містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і обробки її в змінному електромагнітному полі на фізико-механічні властивості цементної системи.

З урахуванням робочої гіпотези про більш інтенсивне розчинення, диспергацію і гідратацію клінкеру і шлаків на першій стадії твердіння за рахунок активації не тільки клінкеру, але і шлаків цементуючої системи, для проведення досліджень використовувався портландцемент ПЦ П/Б, що містить 65 % клінкеру.

При дослідженні впливу активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі на її твердіння і міцність цементуючої матриці за контрольний склад приймався склад, що містить цемент і воду. Для активації процесів диспергації поверхні зерен клінкеру і шлаку, в воду замішування вводили 1 % вапна з граничною розчинністю  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в рідкій фазі розчину, і систему піддавали обробці в змінному електромагнітному полі при  $V/\Omega=0,5$ . При цьому в розчині  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в рідкій фазі присутні іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$  і наночастки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . На першій



стадії структуроутворення цементної матриці в результаті часткового розчинення і диспергації поверхні зерен цементу утворюється велика кількість іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , що призводить до збільшення рН та електропровідності.

Тому для визначення оптимальної напруженості електромагнітного поля, виходячи з механізму диспергації поверхневих мінералів цементу в процесі твердіння, проводилось дослідження впливу напруженості поля і часу обробки на рН і електропровідність рідкої фази суспензії. Дослідження активації, диспергації і гідратації цементної суспензії проводились із урахуванням досвіду попередніх досліджень. Результати досліджень свідчать про те, що найбільша величина рН досягається при напруженості поля  $1,7 \cdot 10^5$  А/м, а час електромагнітної обробки склав 30 с (рис. 1).

Приведені параметри обробки суспензії в електромагнітному полі були прийняті для подальших досліджень.

Дослідження впливу на активацію концентрованої цементної суспензії розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і змінного електромагнітного поля оцінювали по зміні рН і електропровідності на першій початковій стадії її твердіння, а також міцності цементного каменю у віці двох, семи і двадцяти восьми діб твердіння.

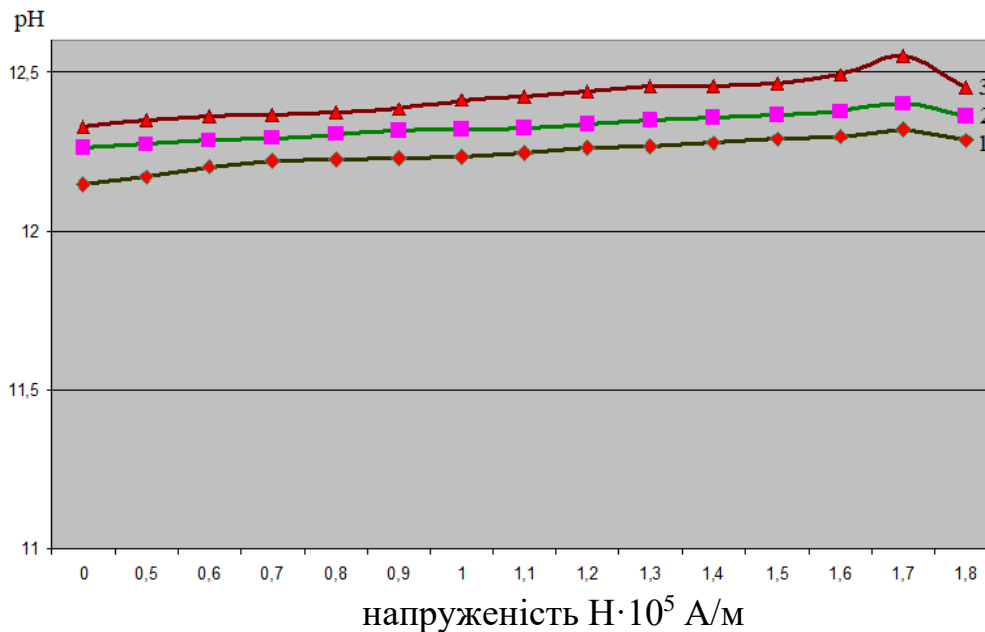


Рисунок 1 – Залежність рН цементуючої системи від напруженості електромагнітного поля, цементуюча система, оброблена в змінному електромагнітному полі протягом: 1 – 25 с; 2 – 35 с; 3 – 30 с.

Формування структури цементного каменю – складний фізико-хімічний процес, що включає розчинення, гідратацію, коагуляцію, конденсацію, кристалізацію та інші процеси. Процес розчинення супроводжує і гідроліз мінералів цементного клінкеру. В результаті розчинення в рідкій фазі присутні іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ .

Замішування цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  збільшує вміст катіонів кальцію, а отже, протонів і  $\text{OH}^-$  в рідкій фазі цементної суспензії, і каталізує процес розчинення і диспергації поверхні зерен цементу і шлаку. Це видно з

підвищення рН з 12,45 при замішуванні цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до 12,6 і далі до 12,95 в результаті формування коагуляційної структури (рис. 2).

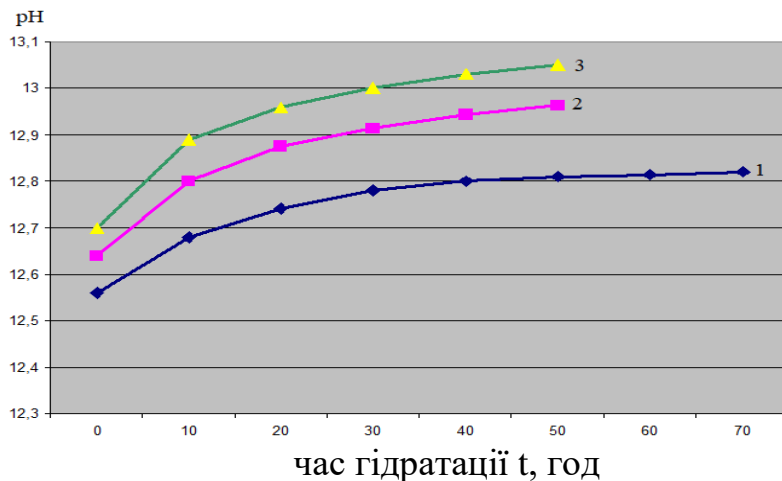


Рисунок 2 – Кінетика величини рН в залежності від активації цементуючої системи: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – цементуюча система, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – концентрована цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і додатково оброблена в змінному електромагнітному полі.

Ще більше рН і  $\chi$  збільшується при додатковій обробці цементуючої системи, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в змінному електромагнітному полі (рис. 2–3).

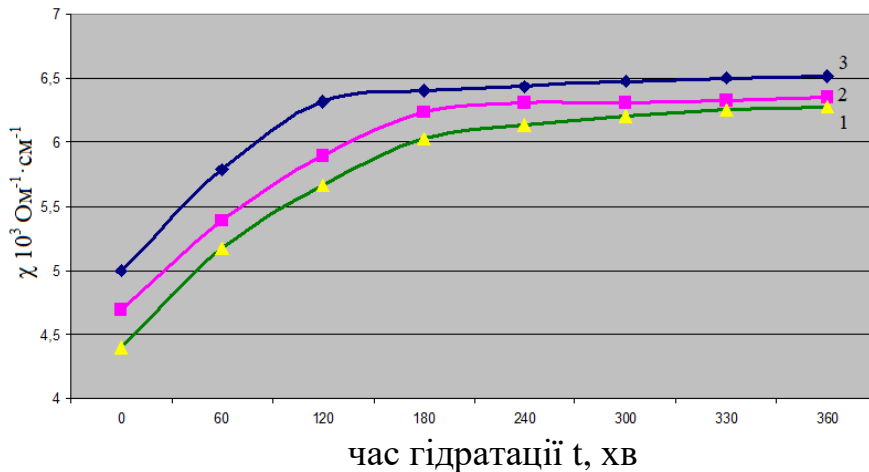


Рисунок 3 – Крива зміни електропровідності  $\chi$  у процесі формування структури цементуючої системи: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – концентрована цементна суспензія, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і додатково оброблена в змінному електромагнітному полі.

При обробці цементуючої системи, що містить цемент і розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , під дією змінного електромагнітного поля відбувається прецесія зовнішніх електронних хмар в молекулах води, і вони набувають індукований магнітний момент, перпендикулярний напрямку магнітного поля. При цьому енергія

водневих зв'язків змінюється, що призводить до їх часткового розриву і зміни структури води. Зміна структури води викликає більш інтенсивну її дисоціацію з утворенням більшої кількості іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , збільшення їх рухливості. При цьому в результаті Ларморової прецесії знижується енергія зв'язків  $-\text{Me}-\text{O}-$ , що збільшує інтенсивність розчинення поверхневих мінералів катіонами  $\text{H}^+$ . Про це свідчить більш інтенсивне збільшення  $\text{pH}$  і  $\chi$ , а отже, більш глибоке проникнення в поверхневий шар зерен цементу протонів і гідроксилів більшою його диспергацією та розчиненням з подальшою гідратацією мінералів цементу.

Для підтвердження концепції підвищення міцності цементуючої системи і бетону в ранньому віці, в результаті сумісної активації процесів диспергації і гідратації поверхневих мінералів клінкеру і шлаку цементу за рахунок замішування розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі, були проведені дослідження впливу активації цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою отриманої суспензії в змінному електромагнітному полі на міцність цементуючої системи, як у ранньому, так і в нормативному віці (рис. 4).

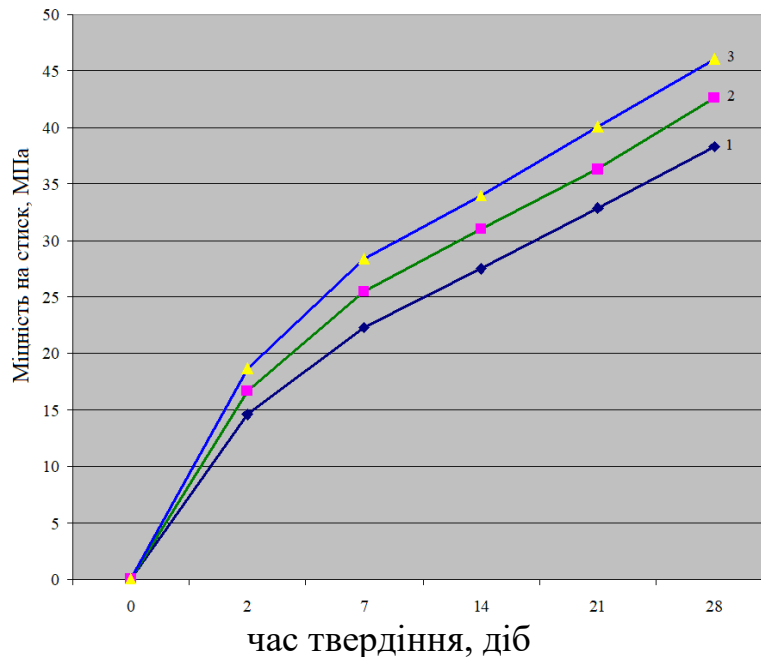


Рисунок 4 – Вплив активації концентрованої цементуючої системи на її міцність в залежності від часу твердіння: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – цементуюча система, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активована в змінному електромагнітному полі.

Отримані результати свідчать про те, що цементуюча система, утворена замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в змінному електромагнітному полі, характеризується підвищеною як ранньою міцністю, так і в нормативний строк, в порівнянні з матрицею, отриманою з цементу ПЦ ІІ/Б, широко застосовуваного у виробництві бетону для монолітного будівництва.

Так, міцність цементуючої системи, отриманої тільки активацією її розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у віці 2 діб збільшилась на 14,3 %, з 14,6 до 16,7 МПа, а у віці 28 діб – на 11,2 %, з 38,3 до 42,6 МПа. При комплексній активації цементу замішуванням його розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі вона підвищилась у віці 2 діб на 28 %, з 14,6 до 18,7 МПа, а при твердінні протягом 28 діб – на 20,3 %, з 38,3 до 46,1 МПа.

Дослідження методами рентгенофазового і термічного аналізів фазового складу цементного каменю встановлено, що в цементному камені із суспензії, отриманої замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у великій кількості присутні гідросилікати кальцію і в меншій кількості  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в порівнянні з цементним каменем із цементу, замішаного водою.

В ще більшій кількості гідросилікати кальцію і в меншій кількості  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  присутні в цементному камені із цементної суспензії, що містить  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленої в електромагнітному полі, що слідує з дифрактограм, представлених на рис. 5.

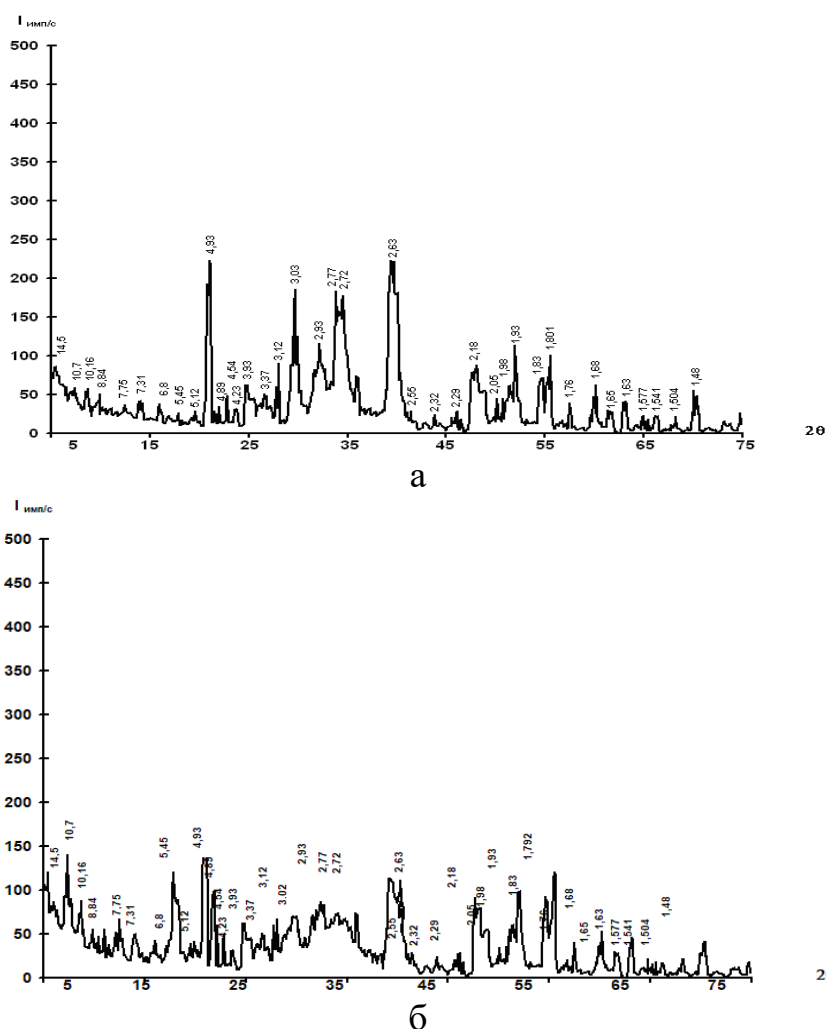


Рисунок 5 – Дифрактограми зразків цементного каменю: а - контрольного, отриманого замішуванням цементу водою; б – активованого, отриманого замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з подальшою обробкою в електромагнітному полі.

На дифрактограмах видно, що дифракційні максимуми, які відносяться до  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (0,493; 0,263; 0,93; 0,79 нм), менше у зразків, отриманих замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в електромагнітному полі, ніж у контрольних зразків, і максимуми, які відносяться до негідратованих двокальцієвих силікатів (0,28; 0,278; 0,274; 0,26; 0,219 нм) менше у зразків, отриманих замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в електромагнітному полі, ніж у контрольних зразків. Це свідчить про те, що у зразків із цементу, замішаного розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а потім обробленого в змінному електромагнітному полі, більше наявних гідросилікатів кальцію, що відповідають за міцність цементуючої системи, і менше нерозчинного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Збільшення ступеня диспергації, зниження розміру диспергованих часток і підвищення ступеню гідратації за рахунок активації призводить до збільшення кількості гідратних фаз в одиниці об'єму і ущільнення цементного каменю, що підвищує його міцність.

**Четвертий розділ** присвячений розробці швидкотверднучих бетонів середніх класів міцності C16/20 S4, C20/25 S4, C25/30 S4, C30/35 S4 з підвищеною ранньою міцністю з використанням цементуючої системи, отриманої замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в електромагнітному полі і наступним введенням суперпластифікуючої добавки у вологу бетонну суміш, проектуванню їх складів та вивченню фізико-механічних властивостей.

Одним з напрямків підвищення міцності бетону є зниження в ньому об'єму цементуючої матриці. Зниження вмісту в бетоні матриці призводить до підвищення його міцності, морозостійкості, водонепроникності, зниження його усадки та водопоглинення. На об'єм цементної матриці в бетоні значний вплив надає гранулометричний склад заповнювачів. Міжзернова пористість може бути знижена при використанні трифракційного складу щебеню.

В зв'язку з цим при проектуванні складів бетонів для монолітного будівництва C20/25 S4, C25/30 S4 був прийнятий трифракційний склад щебеню, який включає фракції 10-20, 5-10, 2,5-5. Мінімізація його пористості проводилась по найбільшій насипній щільності з використанням математичного методу планування експерименту на симплексі. Результати досліджень представлені на діаграмі «склад-насипна щільність» (рис. 6) і у вигляді математичної моделі:

$$\rho = 1400 \cdot X_1 + 1355,8 \cdot X_2 + 1500 \cdot X_3 + 50,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - 10 \cdot X_1 \cdot X_3 + 98,4 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

де  $X_1$  – фракція щебеню (10-20) мас. %;

$X_2$  – фракція щебеню (5-10) мас. %;

$X_3$  – фракція щебеню (2,5-5) мас. %.

Встановлено, що найбільша щільність, а відповідно мінімальна пористість крупного заповнювача досягається при вмісту фракцій 10-20 – 55 %, фракцій 5-10 – 25 % і фракцій 2,5-5 – 20 %. При цьому його пористість складає 43 %.

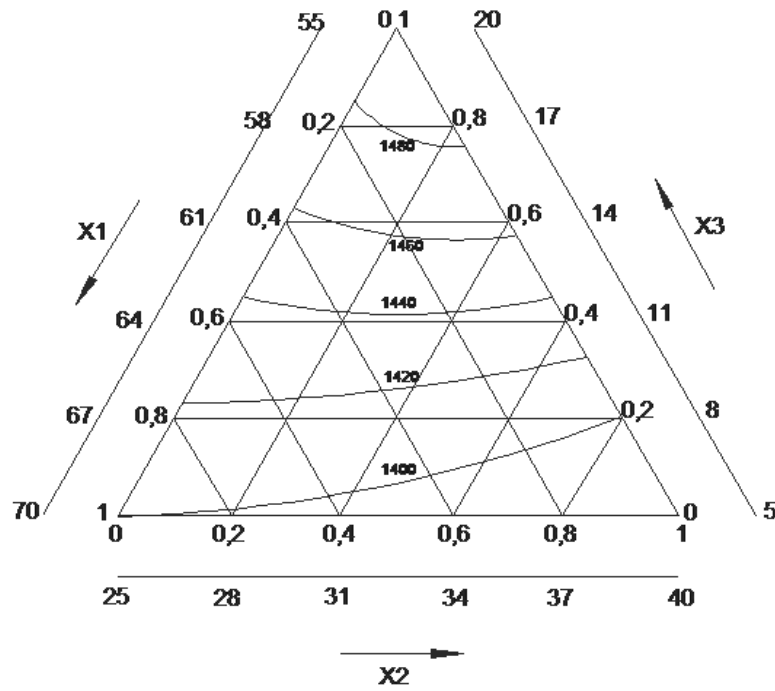


Рисунок 6 – Склад-насіпна щільність щебеню

Оптимальний склад дрібного заповнювача Дніпровського піску також визначався по найбільшій щільності і склав 36 % (рис. 7).

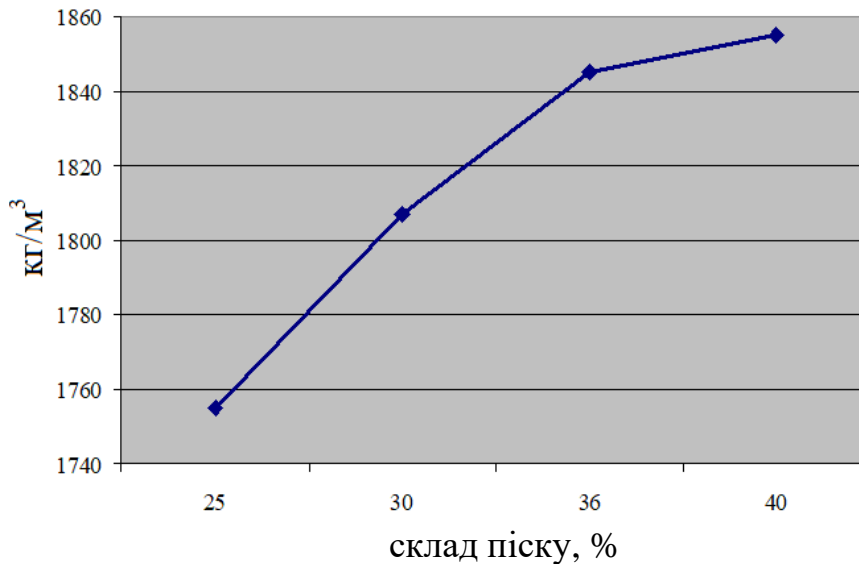


Рисунок 7 – Вплив вмісту піску на насипну щільність заповнювачів

Дослідження впливу активації цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і, додатково, обробкою отриманої цементуючої системи в змінному електромагнітному полі на міцність бетону в процесі його твердіння у віці 2-х діб, приведені на рис. 8, для рухомості бетонної суміші S4.

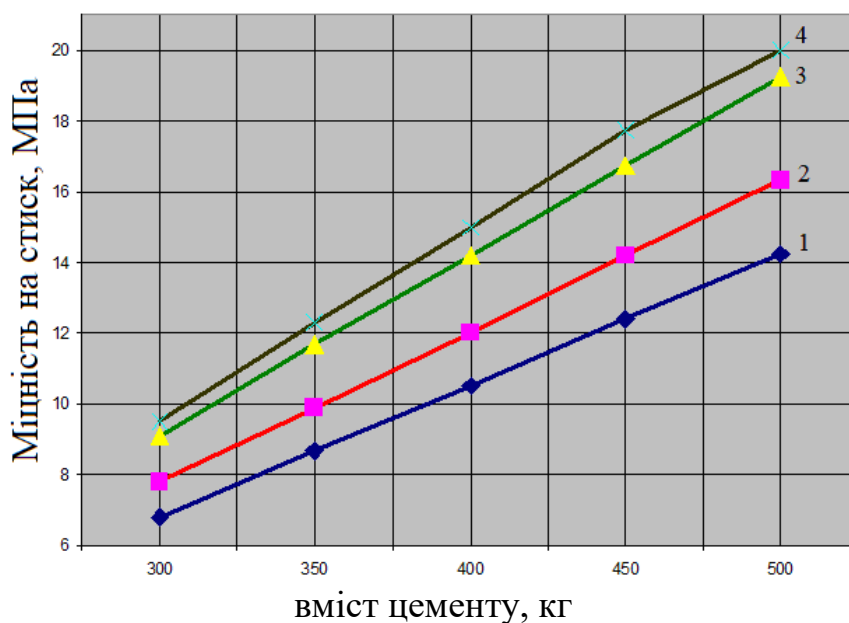


Рисунок 8 – Залежність міцності бетону у віці 2 діб від вмісту цементу: 1 – бетон із неактивованої цементуючої системи; 2 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи; 3 – бетонна суміш на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , оброблений в змінному електромагнітному полі; 4 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи, обробленої в змінному електромагнітному полі і введеної в неї 0,5 % СП-3.

Активація цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищує міцність бетону у віці 2 діб на 14,4 %, з 6,8 до 7,8 МПа, при вмісті цементу в бетоні  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 14,0 %, з 14,3 до 16,3 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ , а при комплексній активації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , спільно з обробкою в змінному електромагнітному полі – на 32,8 %, з 6,8 до 9,0 МПа, при вмісті цементу  $300 \text{ кг/м}^3$  і при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$  відповідно на 34,2 %, з 14,3 до 19,2 МПа.

Активація цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у вигляді колоїдних часток і іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ , з подальшою обробкою її в змінному електромагнітному полі призводить до скорочення строків захоплення і живучості бетонної суміші. В зв'язку з цим після змішування заповнювачів з цементуючою системою в вологу бетонну суміш вводили суперпластифікуючу добавку. В якості добавки застосовували суперпластифікатор СП-3, в кількості 0,5 % від маси цементу, який знижує вміст води в бетонній суміші на 14,6 %. Приведена добавка є добавкою пластифікуючо-прискорюючої дії. На першій стадії твердіння суперпластифікуюча добавка гальмує процеси розчинення, диспергації і гідратації в результаті блокування вуглеводневими радикалами поверхні зерен цементу і шлаку, а також гідратованих алюмокальцієвих і силікатокальцієвих та інших часток. Однак за рахунок водоредукуючого ефекту (зниження В/Ц) відбувається прискорення твердіння цементуючої системи. При цьому в результаті зниження В/Ц зменшується капілярна пористість матриці і збільшується кількість контактів і їх площа в твердій фазі цементуючої системи.

Суперпластифікуюча добавка вводилась в мінімальній кількості у зв'язку з тим, що вона гальмує процеси розчинення, диспергації і сприяє формуванню менш міцної коагуляційної структури.

При введенні в бетонну суміш 0,5 % суперпластифікатора СП-3, міцність бетону у віці 2-х діб збільшилась на 5,5 %, з 9,0 до 9,5 МПа, по відношенню до бетону з використанням комплексної активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі при витратах цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 4,2 %, з 19,2 до 20 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ .

По відношенню до міцності бетону на неактивованій цементуючій системі, міцність бетону у віці 2-х діб з комплексно активованою цементуючою системою і пластифікатором збільшилась на 39,7 %, з 6,8 до 9,5 МПа, при витратах цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 39,8 %, з 14,3 до 20 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ .

Результати досліджень впливу комплексної активації цементуючої системи і суперпластифікуючої добавки на міцність бетону середніх класів у віці 28 діб в залежності від вмісту цементу приведені на рис. 9.

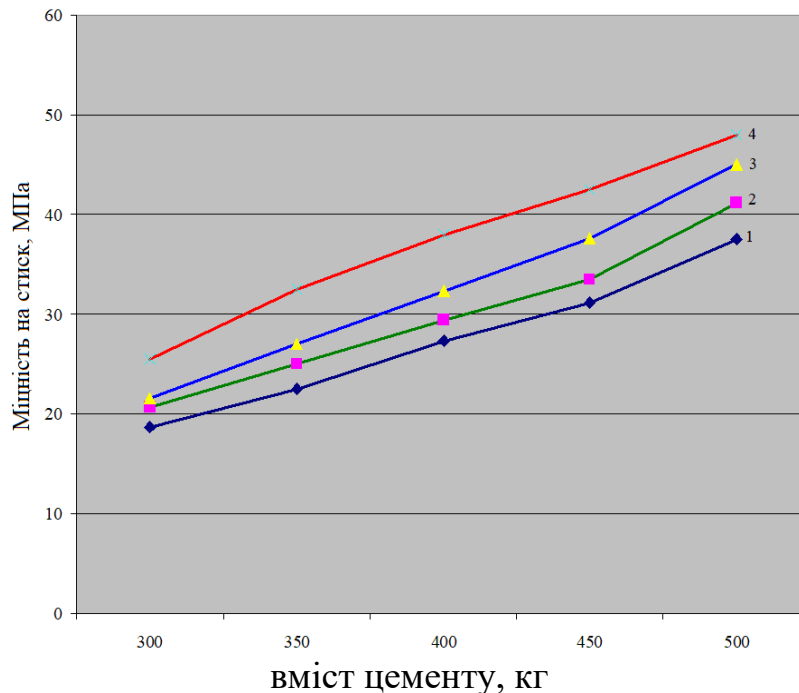


Рисунок 9 – Залежність міцності бетону у віці 28 діб від вмісту цементу, для рухомості бетонної суміші S4, при активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі, з її пластифікацією добавкою СП-3: 1 – бетон із неактивованої цементуючої системи; 2 – бетонна суміш з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи; 3 – бетонна суміш на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , оброблений в змінному електромагнітному полі; 4 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи, обробленої в змінному електромагнітному полі і введеної в неї 0,5 % СП-3.



Результати досліджень фізико-механічних властивостей пластифікованих бетонів з використанням активованої цементної суспензії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і в змінному електромагнітному полі приведені в табл. 1-2.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості пластифікованих бетонів на активованій цементній суспензії

№ з/п	Найменування показника	Одиниці вимірювання	Рухомість бетонної суміші, S4	
			C20/25 S4	C25/30 S4
1	Середня густина бетону $\rho$	кг/м <sup>3</sup>	2378	2362
2	Пористість, П	%	2,4	2,53
3	Міцність на стиск R, МПа	28 діб	29,1	39,6
4	Усадка бетону $\epsilon_y$	мм/м	0,37	0,35
5	Водопоглинання за масою $W_m$	%	1,88	1,59
6	Марка по водонепроникності W		8	8

Таблиця 2 – Склади бетонної суміші

№ з/п	Найменування компонента	Одиниці вимірювання	Рухомість бетонної суміші S4, клас бетону	
			C20/25	C25/30
1	Цемент	кг/м <sup>3</sup>	350	415
2	Пісок	кг/м <sup>3</sup>	670	640
3	Щебінь	кг/м <sup>3</sup>	1175	1145
4	Вода	кг/м <sup>3</sup>	200	200
5	Суперпластифікатор СП-3	кг/м <sup>3</sup>	1,75	1,75
6	СаО	кг/м <sup>3</sup>	0,7	0,7

Проведеними експериментальними дослідженнями по водопоглинанню бетону для монолітного будівництва, виготовленого на основі концентрованої цементної суспензії, активованої  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленої в змінному електромагнітному полі, встановлено, що низьке водопоглинання матеріалу активованих зразків пояснюється одержанням більш щільної мікроструктури цементного каменю за рахунок активації цементуючої системи, зниження В/Ц, електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії, що, у свою чергу, знижає капілярну пористість і водонасичення та позитивно позначається на строках експлуатації.

Результати експериментальних досліджень усадки бетону для монолітного будівництва, виготовленого на основі концентрованої цементної суспензії, показали, що для бетону контрольного зразка, виготовленого при В/Ц=0,5, повна величина деформацій усадки становила 0,4 мм/м, у віці 90 діб, для зразка бетону на концентрованій цементній суспензії, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , на 0,375 мм/м, для зразка бетону на концентрованій цементній

суспензії, що містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активованій в змінному електромагнітному полі 0,369 мм/м і для зразка на концентрованій цементній суспензії, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в змінному електромагнітному полі з СП-3 на 0,35 мм/м.

Зменшення усадочних деформацій обумовлено їх вологісною складовою за рахунок зниження початкового водовмісту бетонної суміші.

Комплексне модифікування бетону розчином  $(\text{Ca}(\text{OH})_2$ , суперпластифікатором і обробкою в змінному електромагнітному полі сприяє значному зниженню деформації усадки.

Дослідженнями встановлено, що за рахунок зниження водопоглинання морозостійкість бетону підвищується з 200 циклів (контрольний зразок) до 300 циклів на обробленій концентрованій цементній суспензії з добавкою.

**П'ятий розділ** присвячено перевірці результатів досліджень у виробничих умовах та впровадженню їх у виробництво.

Під час дослідно-промислової перевірки отриманих результатів досліджень на виробництві ПП «Експрес-буд» (м. Дніпро) була виготовлена партія товарного бетону на концентрованій цементній суспензії, обробленій в змінному електромагнітному полі, класу C20/25 S4 та C25/30 S4 (ГОСТ 26633-91) об'ємом по 600 м<sup>3</sup> кожного.

Впровадження використання електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії при виготовленні бетонних виробів дозволяє: покращити основні властивості бетону; скоротити тривалість набору його міцності і тим самим збільшити обіг опалубки і скоротити строки будівництва, що сприяє підвищенню продуктивності; знизити витрати цементу.

Економічна ефективність використання концентрованої цементної суспензії, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , обробленої в змінному електромагнітному полі, з подальшим приготуванням бетонної суміші з пластифікатором визначалась за зниженням собівартості 1 м<sup>3</sup> бетону за рахунок економії цементу, порівняно із бетоном такого ж складу, але без активації концентрованої цементної суспензії і бетону. При виробництві бетону з використанням концентрованої цементної суспензії, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , обробленої в змінному електромагнітному полі, було проведено випуск товарного бетону об'ємом 75 м<sup>3</sup>/зм., для якого розрахунковий економічний ефект складає:

$$E_{зм.}(C20/25 S4) = (1298,22 - 1141,54) \cdot 75 - 0,12 \cdot 7000 = 10911 \text{ грн},$$

$$E_{зм.}(C25/30 S4) = (1298,22 - 1266,17) \cdot 75 - 0,12 \cdot 7000 = 1563,75 \text{ грн},$$

або орієнтовний економічний ефект від випуску дослідної партії товарного бетону за місяць складає:

$$E_{міс.} = E_{зміни} \cdot n \quad (n - \text{кількість робочих днів в місяць}).$$

$$E_{міс.}(C20/25 S4) = 10911 \cdot 22 = 240042 \text{ грн/міс.}$$

$$E_{міс.}(C25/30 S4) = 1563,75 \cdot 22 = 34402,5 \text{ грн/міс.}$$

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, що полягає у підвищенні фізико-механічних властивостей бетонів середніх класів

міцності при зниженні витрат цементу. Внаслідок проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано наступне:

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість одержання бетонів з поліпшеними фізико-механічними властивостями, як в ранньому віці, так і в нормативному, за рахунок замішування цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробки в змінному електромагнітному полі отриманої цементуючої системи, з наступним змішуванням її з заповнювачами і суперпластифікатором. Ефект полягає в тому, що адсорбована на поверхні зерен цементу вода додатково дисоціюється в змінному електромагнітному полі і лужному середовищі з утворенням іонів  $\text{OH}^-$  і  $\text{H}^+$ , що інтенсифікують розчинення і диспергацію поверхні зерен цементу в одиниці об'єму цементуючої системи. Це призводить до підвищення вмісту новоутворень в одиниці об'єму матриці, а також кількості і площі контактів в твердій фазі матриці, що інтенсифікує набирання її міцності і бетону.

2. Проведеними дослідженнями визначено раціональні параметри електромагнітної обробки цементуючої системи, які складають: напруженість електромагнітного поля  $H = 1,7 \cdot 10^5$  А/м; час електромагнітної обробки цементуючої системи  $t = 30$  с при  $V/C=0,5$ .

3. Встановлено, що у віці 2-х діб міцність цементуючої системи при активації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищується на 14,3 %, з 14,6 до 16,7 МПа, а при комплексній активації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і змінним електромагнітним полем – на 28 %, з 14,6 до 18,7 МПа, а у віці 28 діб – на 11,2 %, з 38,3 до 42,6 МПа, при активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і на 20,3 %, з 38,3 до 46 МПа, при комплексній активації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі.

4. Фізико-хімічними методами дослідження встановлено, що обробка цементуючої системи, яка включає розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в змінному електромагнітному полі призводить до зниження вмісту в цементному камені кристалічного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і збільшення гідросилікатів кальцію, як в ранньому, так і в нормативному віці (низькоосновних і високоосновних).

5. Методом математичного планування експерименту виявлено оптимальний зерновий склад крупного заповнювача за допомогою симплекс-решітчастого методу, склад якого: фракція 10-20 – 55 %; фракція 5-10 – 25 %; висівка – 20 %, а також оптимальний вміст піску, що становить 36 % від загальної маси заповнювача, що дозволяє отримати найбільш щільну упаковку.

6. Встановлено, що активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищує міцність бетону у віці 2-х діб при вмісті в ньому  $300 \text{ кг/м}^3$  цементу – на 14,4 %, з 6,8 до 7,8 МПа, а при вмісті  $500 \text{ кг/м}^3$  – на 24,4 %, з 14,3 до 17,8 МПа, комплексна активація цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі, збільшує міцність бетону у віці 2-х діб, в порівнянні з неактивованою цементуючою системою, на 32,8 %, з 6,8 до 9,0 МПа, при вмісті в ньому цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ . Визначено, що при введенні в бетонну суміш 0,5 % суперпластифікатора СП-3 міцність бетону у віці 2-х діб збільшилась, по відношенню до міцності бетону на неактивованій цементуючій системі – на 39,7 %, з 6,8 до 9,5 МПа, при витратах цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 39,8 %, з 14,3 до 20 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ .

7. Визначено, що у віці 28 діб активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищує міцність бетону при вмісті в ньому цементу  $300 \text{ кг/м}^3$  на 9,6 %, з 18,7 до 20,5 МПа, а при вмісті  $500 \text{ кг/м}^3$  – на 9,9 %, з 37,5 до 41,2 МПа, комплексна активація розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі підвищує міцність бетону при вмісті цементу  $300 \text{ кг/м}^3$  – на 15 %, з 18,7 до 21,5 МПа, і при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$  – на 20 %, з 37,5 до 45 МПа, по відношенню до міцності бетону на неактивованій цементуючій системі. Введений в склад вологої бетонної суміші суперпластифікатор СП-3 сповільнює процес твердіння і сумісно з комплексною активацією цементуючої системи підвищує міцність бетону, по відношенню до бетону із неактивованої цементуючої системи у віці 28 діб на 33,7 %, з 18,7 до 26 МПа, при вмісті цементу в бетоні  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 28 %, з 37,5 до 48 МПа, при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ .

8. Виявлено, що у віці 2-х діб приріст міцності від спільної активації цементуючої системи за рахунок комплексної активації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і наступною обробкою в змінному електромагнітному полі і суперпластифікатором не залежить від вмісту цементу в бетоні, в той же час, у віці 28 діб приріст міцності бетону зі збільшенням вмісту цементу знижується.

9. Показано, що бетонні суміші з використанням цементуючої системи, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , оброблені в змінному електромагнітному полі з наступним замішуванням з заповнювачами і пластифікатором, характеризуються підвищенням рухомості, життєздатності, зменшенням розшаровуваності, а бетони класу С20/25 характеризуються витратами цементу  $350 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300, та водопоглинанням W8, а для класу С25/30 – витратами цементу  $415 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300 та водопоглинанням W8.

10. Результати промислового впровадження підтверджують перспективність застосування активованої цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробки в змінному електромагнітному полі для отримання бетонів середніх класів по міцності. Економічний ефект від впровадження цементуючої системи, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з наступним змішуванням її з заповнювачами і пластифікатором, та подальшої обробки в змінному електромагнітному полі становить 10911 грн для С20/25 S4 та 1563,75 грн для С25/30 S4 за зміну.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### ***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації***

1. Дубов Т. Н. Оценка влияния омагниченной воды на свойства бетона, применяемого в надземном и подземном строительстве. *Геотехнічна механіка*. 2006. Вип. 66. С. 209-213.

2. Еріванцев І. М., Дубов Т. М. Застосування електромагнітних явищ у технологічних процесах виробництв будівельної індустрії. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2007. № 12. С. 26-29.

3. Эриванцев И. Н., Лазарев В. Н., Дубов Т. Н. Влияние магнитной обработки воды на изменение прочностных показателей цементного камня. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2008. № 9. С. 18-21.

4. Эриванцев И. Н., Дубов Т. Н., Яшин В. А. Литературно-патентный обзор устройств, применяемых для омагничивания жидкостей, используемых в процессе приготовления бетонных изделий. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. № 2. С. 23-26.

5. Эриванцев И. Н., Волчук В. Н., Дубов Т. Н. Применение рентгеновского анализа для исследования фазового состава бетона на омагниченной жидкости. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2009. Вып. 49. С. 167-170.

6. Дубов Т. Н. Влияние электромагнитной обработки концентрированной цементной суспензии на физико-механические свойства. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 5. С. 31-36. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

7. Шпирько М. В., Дубов Т. М. Дослідження впливу електромагнітної активації концентрованої цементної суспензії на властивості цементного каменю й бетону. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 2. С. 102-107. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

8. Пристрій для омагнічування рідини: пат. 31753 Україна: МПК (2006) C02F 1/48. № u 2007 12266; заявл. 05.11.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8.

#### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

9. Дубов Т. Н. Влияние омагничивания бетонной смеси на ее фазовый состав, структуру и прочностные характеристики. *Наука і життя: українські тенденції, інтеграція у світову наукову думку: 2009 рік*: матеріали п'ятої Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 20-22 травня 2009 р. Київ: 2009. Ч. 4. С. 1.

10. Дубов Т.Н. Омагничивание в различных сферах деятельности человека. *Інноваційний потенціал української науки ХХІ сторіччя*: збірник доп. учасн. V Всеукр. наук.-практ. конф., 20-27 трав. 2009 р. Запоріжжя: ПГА, 2009. С. 80-83.

### **АНОТАЦІЯ**

Дубов Т. М. Бетони з використанням концентрованої цементної суспензії, активованої в електромагнітному полі. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та виробн. – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2020.

Дисертація присвячена розробці технології цементуючої системи-концентрованої цементної суспензії з підвищеною ранньою міцністю за

рахунок комплексної активації цементу ПЦ II/ Б-Ш-400 розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що містить іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ , а також наночастинки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі, а на її основі важких цементних бетонів, з покращеними фізико-механічними властивостями, що забезпечують технічні і економічні переваги бетонів для монолітного будівництва середніх класів по міцності з використанням звичайного цементу ПЦ II/ Б-Ш-400. При виготовленні бетонної суміші заповнювачі замішуються комплексно активованою концентрованою цементною суспензією, а потім в бетонну суміш вводиться пластифікуюча добавка.

Показана можливість одержання бетону зі зниженням витрат цементу без втрати фізико-механічних властивостей, що досягається за рахунок змішування цементуючої системи, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , та обробленої в змінному електромагнітному полі з заповнювачами і суперпластифікуючою добавкою. При обробці цементуючої системи, що включає розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в змінному електромагнітному полі інтенсифікуються: розчинення, диспергація і гідратація силікатів кальцію, алюмінатів кальцію з утворенням гідросилікатів і гідроалюмінатів в одиниці об'єму концентрованої цементуючої системи. Це призводить до утворення більшої кількості гідросилікатів кальцію,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і контактів в одиниці об'єму цементного каменю, і, як наслідок, до підвищення міцності цементного каменю і бетону в ранньому віці. Отримані цементні суспензії в ранньому віці (дві доби) підвищують міцність цементуючої системи, отриманої активацією її розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , на 14,3 %, а у нормативному віці – на 11,2 % в залежності від вмісту в бетоні цементу, а при комплексній активації цементу замішуванням його розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі вона підвищилась у віці 2 діб на 28 %, а при твердінні протягом 28 діб – на 20,3 %.

Підтверджена ефективність застосування цементуючої системи, що включає розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленої в змінному електромагнітному полі з подальшим введенням суперпластифікатора СП-3, для отримання бетонів зі зменшеним вмістом цементу, без втрати фізико-механічних властивостей.

Розраховано склади бетону із застосуванням цементуючої системи, що включає розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі і подальшим введенням суперпластифікатора СП-3, впровадження яких вирішує завдання підвищення міцності бетону, або зниження витрат цементу на  $1 \text{ м}^3$ .

Проведена апробація отриманих результатів в промислових умовах. Випущена дослідна партія бетону показала ефективність застосування обробки цементуючої системи, що включає розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і суперпластифікатор, в змінному електромагнітному полі.

Ключові слова: цементуюча система, розчин, електромагнітна обробка, концентрована цементна суспензія, розчинення, диспергація, пластифікатор, фізико-механічні властивості, ресурсозбереження.

## АННОТАЦИЯ

Дубов Т. Н. Бетоны с использованием концентрированной цементной суспензии, активированной в электромагнитном поле. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2020.

Диссертация посвящена разработке технологии цементирующей системы-концентрированной цементной суспензии с повышенной ранней прочностью за счет комплексной активации цемента ПЦ II/Б-Ш-400 раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , содержащим ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ , а также наночастицы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и обработкой в переменном электромагнитном поле, а на ее основе тяжелых цементных бетонов с улучшенными физико-механическими свойствами, обеспечивающими технические и экономические преимущества бетонов для монолитного строительства средних классов по прочности с использованием обычного цемента ПЦ II/Б-Ш-400. При изготовлении бетонной смеси заполнители затворяются комплексно активированной концентрированной цементной суспензией, а затем в бетонную смесь вводится пластифицирующая добавка.

Показана возможность получения бетона со снижением расхода цемента без потери физико-механических свойств, что достигается за счет смешивания цементирующей системы, активированной раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , и обработанной в переменном электромагнитном поле с заполнителями и пластифицирующей добавкой. При обработке цементирующей системы, включающей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в переменном электромагнитном поле интенсифицируются: растворение, диспергация и гидратация силикатов кальция, алюминатов кальция с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов в единице объема цементирующей системы. Это приводит к образованию большего количества гидросиликатов кальция,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и контактов в единице объема цементного камня, и как следствие, к повышению прочности цементного камня и бетона в раннем возрасте. Полученные цементные суспензии в раннем возрасте (двое суток) повышают прочность цементирующей системы полученной активацией ее раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , на 14,3 %, а в нормативном возрасте – на 11,2 % в зависимости от содержания в бетоне цемента, а при комплексной активации цемента затворением его раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и обработкой в переменном электромагнитном поле она увеличилась в возрасте 2 суток на 28 %, а при твердении в течение 28 суток – на 20,3 %.

Подтверждена эффективность применения цементирующей системы, активированной раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , с последующей обработкой в переменном электромагнитном поле и дальнейшим введением суперпластификатора СП-3, для получения бетонов с уменьшенным содержанием цемента, без потери физико-механических свойств.

Рассчитаны составы бетона с применением цементирующей системы, активированной раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , с последующей обработкой в переменном

электромагнитном поле и дальнейшим введением суперпластификатора СП-3, внедрение которых решает задачи повышения прочности бетона, или снижения расхода цемента на 1 м<sup>3</sup>.

Проведена апробация полученных результатов в промышленных условиях. Выпущена опытная партия бетона, которая показала эффективность применения цементирующей системы, активированной раствором Ca(OH)<sub>2</sub>, с последующей обработкой в переменном электромагнитном поле и дальнейшим введением суперпластификатора.

Ключевые слова: цементирующая система, раствор, электромагнитная обработка, концентрированная цементная суспензия, растворение, диспергация, пластификатор, физико-механические свойства, ресурсосбережение.

## SUMMARY

*Dubov T. M.* Concretes with the use of cement suspension activated in electromagnetic field. – As a manuscript.

Thesis for getting the scientific degree of the candidate of technical sciences according to the specialty 05.23.05 – building materials and products. – State higher educational Institution «Prydniprovskya state academy of civil engineering and architecture» of the Ministry of education and science of Ukraine, Dnipro, 2020.

The thesis is devoted to the development of the technology of cementing system of the concentrated cement suspension with the increased early strength due to complex activation of cement CEM II/B-P-32,5R by Ca(OH)<sub>2</sub> solution consisting ions of Ca<sup>2+</sup>, OH<sup>-</sup>, H<sup>+</sup> as well as nanoparticles of Ca(OH)<sub>2</sub> and processing in an alternating electromagnetic field, and on its basis of heavy cement concrete with improved physical and mechanical properties, providing technical and economic advantages of concrete for monolithic construction of middle classes in strength using conventional cement CEM II/B-P-32,5R. While the manufacturing the concrete mix aggregates are mixed with a complex activated concentrated cement suspension and then a plasticizing additive is introduced into the concrete mix.

There is shown the possibility to obtain the concrete with reduced concrete expenses without the loss of physical and mechanical properties at the expense of synergetic effect if treated with the concentrated cement suspension (including Ca(OH)<sub>2</sub>) and carboxyl-containing plasticizer in the alternating magnetic field. If treated with the concentrated cement suspension (including Ca(OH)<sub>2</sub>) and plasticizer in the alternating magnetic field there are intensified dissolution, dispergation and hydration of calcium silicates, calcium aluminates forming hydrocicates and hydroaluminates in volume unit of concentrated cement suspension. It causes the formation of more calcium hydrosilicates, Ca(OH)<sub>2</sub> and contacts in volume unit of matrix. As a result, it causes the increasing of matrix and concrete strength at an early stage. Obtained Portland cement compositions at an early stage (forty eight hours) increase the strength of matrix by 14,3 %, but at the stage of 28 days – 11,2 % in comparison with control specimens, depending on the content of cement in the concrete, and with the complex activation of cement by shuttering it with Ca(OH)<sub>2</sub>



and processing in a variable electromagnetic field, it rang in the reward of 2 days for 28%, and at hardening for 28 days - for 20,3%.

There is confirmed the efficiency of application of concentrated cement suspension (including  $\text{Ca(OH)}_2$ ) and plasticizer in the alternating magnetic field to obtain concretes with reduced concrete content without the loss of physical and mechanical properties.

There is calculated concrete composition with the use of concentrated cement suspension (including  $\text{Ca(OH)}_2$ ) and plasticizer in the alternating magnetic field, its implementation solves the problem of concrete strength increasing or  $1\text{m}^3$  reducing of cement expenses.

The obtained results in industrial conditions are approbated. Produced experimental concrete batch proved the efficiency of the application of concentrated cement suspension (including  $\text{Ca(OH)}_2$ ) and plasticizer in the alternating magnetic field.

Keywords: cementing system, solution, electromagnetic treatment, concentrated cement suspensions, dissolution, dispersion, plasticizer, physical and mechanical properties, resource saving.