

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ДУБОВ ТАРАС МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 666.972:666.9.022.7

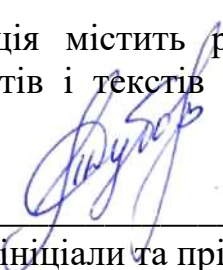
**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби  
19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_  
Т. М. Дубов  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Шпирько Микола Васильович, доктор технічних наук,  
доцент

Дніпро – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Дубов Т. М.* Бетони з використанням цементної суспензії, активованої в електромагнітному полі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та виробу (19 – Архітектура та будівництво). – 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 заміщуються комплексно активованою концентрованою цементною суспензією, а потім в бетонну суміш вводиться пластифікуюча добавка.

Проведений аналітичний огляд літературних джерел, присвячених питанням отримання бетонів з покращеними властивостями при використанні цементів з пониженим вмістом клінкеру, а також розглянуті способи активації цементуючих систем, які дозволяють підвищити їх міцність і міцність бетонів з їх використанням, визначені теоретичні основи проведення досліджень, що полягають в наступному: 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 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. Зміні піддається не тільки структура води, але і структура цементних зерен, що включають клінкер і шлак. Це приводить до зниження міцності зв'язків  $-\text{Me}-\text{O}-$ . При цьому, за рахунок підтримуваного наночастинками  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  високого вмісту в рідкій фазі іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  інтенсифікуються: розчинення, диспергація ослаблених зв'язків поверхневих мінералів і їх гідратація з утворенням більшої кількості гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію, електростатичних, водневих контактів в одиниці об'єму твердої фази цементуючої системи. Це призводить до підвищення міцності цементного каменю і бетону, як в ранньому віці, так і в нормативному.

Приведені характеристики вихідних матеріалів, описані основні методи досліджень, використаних в роботі.

Приведені результати розробки і дослідження цементуючої системи з підвищеною ранньою міцністю і міцністю в нормативному віці. Визначені раціональні параметри обробки цементуючої системи в змінному електромагнітному полі: напруженість поля  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м, час обробки цементуючої системи (концентрованої цементної суспензії)  $t = 30$  с.

Виявлено, що активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  найбільш інтенсивно збільшує ріст рН і  $\chi$  в перші 120 хвилин, що зв'язано зі збільшенням в рідкій фазі твердіючої системи іонів. Ще більшою мірою збільшуються рН і  $\chi$  при додатковій активації цементуючої системи в змінному електромагнітному полі.

Встановлено, що активація цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищує її міцність в результаті твердіння у віці 2 діб на 14,3 %, а сумісно з обробкою в змінному електромагнітному полі на 28 %, і, відповідно, у віці 28 діб на 28 % і 20,3 %, в порівнянні з бетоном на неактивованому цементі.

Фізико-хімічними методами встановлено, що міцність цементуючої системи при її комплексній активації підвищується за рахунок збільшення вмісту в ній, в результаті твердіння, гідросилікатів кальцію і зниження вмісту гідроксиду кальцію.

При проектуванні складів бетонів для монолітного будівництва C20/25 S4, C25/30 S4 був прийнятий трифракційний склад щебеню. Мінімізація його пористості проводилась по найбільшій насипній щільності з використанням математичного методу планування експерименту на симплексі. Було виявлено оптимальний зерновий склад крупного заповнювача за допомогою симплекс-решітчастого методу, склад якого: фракція 10-20 – 55 %; фракція 5-10 – 25 %; фракція 2,5-5 – 20 %, а також оптимальний вміст піску, що становить 36 % від загальної маси заповнювача, що дозволяє отримати найбільш щільну упаковку.

Встановлено, що міцність бетону у віці 2 діб при використанні цементу, активованого розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , підвищується при його вмісті 300-500  $\text{кг}/\text{м}^3$  на 14,2 % і практично не залежить від вмісту цементу, а при комплексній активації відповідно на 33,2 %. У віці 28 діб міцність бетону при активації цементу  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищується на 9,8 %, а при комплексній активації на 17,5 %.

Введення в склад бетонної суміші пластифікуючої добавки СП-3 в кількості 0,5 % від вмісту цементу сповільнює процес схоплювання і збільшує збереження марки бетонної суміші по рухомості S4 до 2,5 годин.

Міцність бетону при цьому, у віці 2 діб, при спільній дії з комплексно активованою цементуючою системою і пластифікатором збільшилась на 39,7 %, як при витратах цементу 300  $\text{кг}/\text{м}^3$ , так і при вмісті цементу 500  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Міцність бетону у віці 28 діб підвищується при спільній дії комплексної активації, водоредукуючого ефекту і блокуючої дії добавки при вмісті цементу  $300 \text{ кг/м}^3$  – на 33,7 % і при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$  – на 28 %.

Визначено, що блокуюча дія добавки в контактах різного рівня підвищується зі збільшенням вмісту цементу в бетоні і віку бетону.

Показано, що бетонні суміші з використанням концентрованої цементної суспензії, активованої розчином  $\text{Ca(OH)}_2$ , оброблені в змінному електромагнітному полі з наступним замішуванням з заповнювачами і пластифікатором, характеризуються підвищенням рухомості, життєздатності, зменшенням розшаровуваності, а бетони класу C20/25 характеризуються витратами цементу, відповідно  $350 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300, та водопоглиненням W8, а для класу C25/30 – витратами цементу  $415 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300 та водопоглиненням W8.

Бетон з використанням комплексної активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca(OH)}_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі з введенням пластифікуючої добавки СП-3 характеризується низьким водопоглиненням 2,95 % і усадкою 0,35 мм/м., у віці 90 діб та підвищеною морозостійкістю.

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

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  $600 \text{ м}^3$  кожного.

З допомогою техніко-економічного розрахунку приготування бетонів на концентрованій цементній суспензії, активованій розчином  $\text{Ca(OH)}_2$  і обробленій в змінному електромагнітному полі з СП-3 досягнуто

економічний ефект на 1 м<sup>3</sup> для С20/25 S4–156,68 грн і для С25/30 S4–32,05 грн, а також орієнтовного загального ефекту від випуску дослідної партії бетону за місяць, що становить для С20/25 S4 – 240042 грн і для С25/30 S4 – 34402,5 грн відповідно, за рахунок зниження витрат цементу.

Теоретичні і практичні результати роботи впроваджено в навчальний процес при викладанні дисципліни «Інноваційні технології виготовлення сучасних будівельних матеріалів і виробів» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

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

## 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 «Prydniprovsk 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.

An analytical review of the literature on the production of concretes with improved properties using cements with low clinker content, as well as methods of activating the cementing systems that increase their strength and the strength of concrete was carried out, the theoretical basis for research were identified, which is as follows: during water treatment in an alternating electromagnetic field as a result of Larmor's precession there is a partial destruction of the water structure before the formation of molecules and the dissociation constant of water molecules changes, which increases the number of  $\text{OH}^-$  and  $\text{H}^+$  ions. The latter are more mobile and penetrate faster into the defects of the surface of cement grains, increasing the solubility, dispersion and hydration of the binder. When processing a cementing system (a concentrated cement suspension) in an alternating electromagnetic field there is a precession of external electron clouds in water molecules, and they acquire an induced magnetic moment perpendicular to the direction of the magnetic field. The energy of hydrogen bonds changes, which leads to their partial rupture and changes in the structure of water. Not only the structure of water changes, but also the structure of cement grains, including clinker and slag. This reduces the strength of the  $\text{Me-O}^-$  bond. In this case, dissolution, dispersion of weakened bonds of surface minerals and their hydration with the formation of more hydrosilicates and hydroaluminates of calcium, electrostatic, hydrogen contacts per unit volume of solid phase of the cementing system are intensified due to the high content of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  ions in the liquid phase maintained by  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nanoparticles. This leads to the increased strength of cement stone and concrete, both at an early age and in the normative.

The characteristics of the source materials are given, the main research methods used in the work are described.

The results of development and research of the cementing system with the increased early durability and durability at normative age are given. Rational

parameters of cementing system treatment in alternating electromagnetic field are determined: field strength of  $H=1,7 \cdot 10^5$  A/m, processing time of the cementing system (concentrated cement suspension) of  $t = 30$  s.

It was found that the activation of cement with a solution of  $\text{Ca(OH)}_2$  most intensely increases the growth of pH and  $\chi$  in the first 120 minutes, which is due to the increase in the liquid phase of the hardening system of ions. The pH and  $\chi$  increase even more with the additional activation of the cementing system in an alternating electromagnetic field.

It was found that the activation of the cementing system with a solution of  $\text{Ca(OH)}_2$  increases its strength by 14.3% as a result of hardening at the age of 2 days, and by 28% in combination with treatment in an alternating electromagnetic field and, accordingly, by 28 % and 20.3% compared with concrete on non-activated cement at the age of 28 days.

Using physical and chemical methods it was established that the strength of the cementing system during its complex activation increases due to the increase of calcium hydrosilicates and decrease in the content of calcium hydroxide in its content, as a result of hardening.

When designing concrete compositions for monolithic construction C20/25 S4, C25/30 S4, a three-fractional composition of crushed stone was adopted. Minimization of its void content was carried out at the highest bulk density using the mathematical method of planning an experiment on a simplex. The optimal grain composition of a large aggregate was revealed using the simplex-lattice method, the composition is 55% of 10-20 fraction; 25% of 5-10 fraction; 20% of 2.5-5 fraction. The optimal sand content was revealed, which is 36% of the total weight of the aggregate, which allows obtaining the densest packaging.

It is established that the strength of concrete at the age of 2 days when using cement activated by a solution of  $\text{Ca(OH)}_2$  increases by 14.2% at its content of 300-500  $\text{kg/m}^3$  and does not depend on the cement content, and by 33,2% with complex activation, respectively. At the age of 28 days, the strength of concrete



with the activation of cement  $\text{Ca(OH)}_2$  increases by 9.8% and by 17.5% with complex activation.

The introduction into the concrete mixture of plasticizing additive SP-3 in the amount of 0.5% of the cement content slows down the setting process and increases the retention of the flow grade of the concrete mixture of S4 to 2.5 hours.

The strength of concrete at the age of 2 days, when combined with a complex activated cementing system and plasticizer increased by 39.7%, both at a cement consumption of  $300 \text{ kg/m}^3$  and at a cement content of  $500 \text{ kg/m}^3$ .

The strength of concrete at the age of 28 days increases with the combined action of complex activation, water-reducing effect and blocking action of the additive, respectively, by 33.7% at a cement content of  $300 \text{ kg/m}^3$  and by 28% at a cement content of  $500 \text{ kg/m}^3$ .

It was determined that the blocking effect of the additive in the contacts of different levels increases with the increasing of cement content in concrete and the age of concrete.

It is shown that concrete mixtures using a concentrated cement suspension activated by a solution of  $\text{Ca(OH)}_2$  and treated in an alternating electromagnetic field followed by mixing with aggregates and plasticizer, are characterized by increased flow rate, reduction of stratification; C20/25 class concretes are characterized by cement consumption of  $350 \text{ kg/m}^3$ , frost resistance of F300 and water absorption of W8; respectively, C25/30 class concretes are characterized by cement consumption of  $415 \text{ kg/m}^3$ , frost resistance of F300 and water absorption of W8.

Concrete using complex activation of the cementing system with a solution of  $\text{Ca(OH)}_2$  and treatment in an alternating electromagnetic field with the introduction of a plasticizing additive SP-3 is characterized by low water absorption of 2.95% and shrinkage of 0.35 mm/m and high frost resistance at the age of 90 days.

Approbation of the obtained results in industrial conditions was carried out. The released experimental batch of concrete showed the effectiveness of the

treatment of concentrated cement suspension which includes a solution of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in an alternating electromagnetic field.

During the experimental industrial verification of the obtained research results a batch of ready-mixed concrete was made at the production of PE "Express-Bud" (Dnipro). The concrete batch of C20/25 S4 and C25/30 S4 classes (according to the GOST 26633-91) both with a volume of 600 m<sup>3</sup> was prepared on a concentrated cement suspension treated in an alternating electromagnetic field.

Using technical and economic calculation of concrete preparation on concentrated cement suspension activated by  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solution and treated in an alternating electromagnetic field with SP-3, an economic effect per 1 m<sup>3</sup> was achieved: for C20/ 25 S4 of UAH 156.68; for C25/30 S4 of UAH 32.05. The estimated total effect from the production of the experimental batch of concrete for the month was obtained: for C20/25 S4 of UAH 240,042; for C25/30 S4 of UAH 34,402. The economic effect is achieved by reducing cement costs.

Theoretical and practical results of the work are implemented into the educational process in the teaching of disciplines "Building Materials Science", "Innovative technologies for the manufacturing of the modern building materials and products" for students in specialties of 192 "Construction and Civil Engineering".

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

## **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. Эріванцев 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. Эріванцев 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. Эріванцев 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. № и 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 XXI сторіччя*: збірник доп. учасн. V Всеукр. наук.-практ. конф., 20-27 трав. 2009 р. Запоріжжя: ПГА, 2009. С. 80-83.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	15
<b>РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ТВЕРДІННЯ ЦЕМЕНТУЮЧОЇ СИСТЕМИ І СПОСОБИ ЇЇ АКТИВАЦІЇ</b> .....	21
1.1 Структурування цементуючої системи на основі цементу...	21
1.2 Активація процесу твердіння цементуючих систем електромагнітними полями.....	26
1.3 Способи активації твердіння в'язучих хімічними домішками...	34
1.4 Активація твердіння добавками пластифікуючої дії.....	38
1.5 Робоча гіпотеза, мета і завдання досліджень.....	43
<b>РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	47
2.1 Використані матеріали.....	47
2.2 Методи дослідження, прилади й устаткування.....	50
2.3 Планування експерименту й математична обробка результатів досліджень.....	59
<b>РОЗДІЛ 3 ТВЕРДІННЯ КОНЦЕНТРОВАНОЇ ЦЕМЕНТНОЇ СУСПЕНЗІЇ, АКТИВОВАНОЇ РОЗЧИНОМ ГІДРОКСИДУ КАЛЬЦІЮ І ОБРОБЛЕНОЮ В ЗМІННОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ</b> .....	64
3.1 Дослідження впливу параметрів електромагнітного поля на активацію концентрованої цементної суспензії, що твердіє.....	64
3.2 Дослідження впливу активації цементу розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і обробкою в змінному електромагнітному полі.....	69
3.3 Дослідження впливу активації цементуючої системи на її пластичну міцність .....	75
3.4 Дослідження активації цементуючої системи на її міцність .....	81
3.5 Усадочні деформації при твердінні цементуючої системи .....	87
Висновки до розділу 3.....	89

<b>РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ, ОТРИМАНИХ НА КОНЦЕНТРОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СУСПЕНЗІЇ, ОБРОБЛЕНІЙ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ.....</b>	<b>91</b>
4.1 Дослідження впливу зернового складу щебеню і заповнювача на їх міжзернову пористість .....	91
4.2 Дослідження впливу на міцність бетону комплексної активації цементуючої системи розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з обробкою в змінному електромагнітному полі, і введенні в бетонну суміш пластифікатора .....	96
4.3 Дослідження водопоглинання бетону.....	103
4.4 Усадка бетону.....	106
4.5 Морозостійкість бетону.....	108
Висновки до розділу 4.....	112
<b>РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ БЕТОНУ, ОТРИМАНОВОГО НА КОНЦЕНТРОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СУСПЕНЗІЇ, ОБРОБЛЕНІЙ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ, ТА ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО.....</b>	<b>115</b>
5.1 Виготовлення у промислових умовах бетонних сумішей.....	115
5.2 Техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії для розробки бетонів для монолітного будівництва .....	119
Висновки до розділу 5.....	122
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>124</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>127</b>
<b>ДОДАТОК А Акти впровадження результатів дослідження.....</b>	<b>146</b>
<b>ДОДАТОК Б Список публікацій здобувача.....</b>	<b>152</b>

## ВСТУП

**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 (ТБМВК) 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 І-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 компонента 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 кг/м<sup>3</sup>, і на 39,8 % при вмісті цементу 500 кг/м<sup>3</sup>.

**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 (усадку та водопоглинання), 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: [62, 63] – дослідження впливу обробленої в електромагнітному полі води на зміну міцнісних показників цементного каменя; [64] – патентний пошук пристроїв для магнітної та електромагнітної обробки рідин, що використовуються для виготовлення бетонних виробів, і розробка власного пристрою; [61] – дослідження методами рентгенофазового аналізу фазового складу цементного каменя; [187] – дослідження впливу електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії на фізико-механічні властивості.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались й отримали позитивні оцінки на: ІХ Українській науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності в ХХІ столітті – якість житлового середовища 2009» (м. Дніпропетровськ, 2009 р.), V Всеукраїнській інтернет-конференції «Інноваційний потенціал української науки - ХХІ 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 р/р.).

**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 дисертації.** 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.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ТВЕРДІННЯ ЦЕМЕНТУЮЧОЇ СИСТЕМИ І СПОСОБИ ЇЇ АКТИВАЦІЇ

### 1.1 Структурування цементуючої системи на основі цементу

При замішуванні цементу водою хімічні реакції протікають паралельно з фізико-хімічними процесами мікроструктурування, що виражаються в процесах молекулярного й колоїдного розчинення, диспергації і гідратації колоїдації, конденсації і кристалізації. У своїй сукупності ці процеси приводять до перетворення цементу при замішуванні водою спочатку в концентровану суспензію, а потім у міцний затверділий камінь. Виходячи із загальновідомих теорій твердіння в'язучих можливо виділити наступні стадії:

а) перша стадія – адсорбція, розчинення, диспергація і гідратація, взаємодія води з поверхнею часточок вихідного в'язучого, осадження гідратів на їхній поверхні.

б) друга стадія – розвиток просторової колоїдної структури.

в) третя стадія – утворення просторового каркасу конденсаційно-кристалізаційної структури.

г) четверта стадія – основне підвищення міцності.

У першій стадії відбувається дисоціація молекул води на протони і гідроксили і адсорбція води на поверхні зерен цементу з наступною її розчиненням, диспергацією і гідратацією. В першій стадії твердіння цементу відбувається утворення поверхні гідросілікатних фаз; вихід в розчин іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $(\text{SiO}_4)$ , а також гідратованих іонів  $\text{Ca}(\text{OH})^+$ ;  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ;  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$  та колоїдних часток утворених в результаті диспергації [8, 12, 17, 32]. Втрата електричного заряду при нейтралізації цементних частинок протилежно

зарядженим електролітом, або протилежно зарядженою часткою, в другій стадії призводить до коагуляції і структурування системи [46].

Твердіння цементів в другій стадії супроводжується утворенням коагуляційної структури і кристалізаційно-конденсаційних контактів. При цьому відбувається транспортування рідини з розчиненими іонами через шар гідратних новоутворень. Більшість перерахованих явищ мають електричну природу (дисоціація, адсорбція і утворення подвійного електричного шару) [88]. При цьому формування коагуляційної структури забезпечується взаємодією Ван-дер-Ваальсових сил, водневих зв'язків і електромагнітними взаємодіями.

При цьому на процеси адсорбції, розчинення і диспергації зерен цементу значний вплив надає мінералогічний склад і тонина помолу. По здатності до адсорбції, диспергації і швидкості гідратації мінерали цементного клінкеру розташовані в наступній послідовності  $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$  [192]. Процеси розчинення, диспергації і гідратації інтенсифікуються по мірі збільшення тонини помелу.

Важливу роль в процесі диспергування в'язучого відіграють сили взаємодії граничних шарів води з поверхнею твердої фази, які можуть перевищувати сили взаємодії між блоками цементних зерен, що мають блочну структуру. [128].

Формування дисперсно-зв'язаної структури цементного каменю в 2, 3 стадіях, як справедливо відображається в [128] проходить під дією слудуючих сил:

орієнтаційної (диполь-дипольної) взаємодії;

індукційної (диполь-індукованої);

диполь взаємодії

дисперсійної взаємодії

хімічних сил: ковалентних, іонних, дипольно-акцепторних;

сил водневих зв'язків.

Однак до теперішнього часу немає єдиної теорії твердіння цементу. Одним з основних параметрів бетону є його довговічність, його здатність не змінювати властивості під дією зовнішніх факторів. Бетон може змінювати свої властивості при впливі зовнішніх факторів в результаті присутності в ньому дефектів у вигляді тріщин обумовлених усадкою в процесі його структуроутворення. Розрізняють три види усадки бетону: контракційна, вологісна і карбонізаційна. Контракційна усадка цементного каменю зв'язана зі зменшенням об'єму системи «цемент-вода» при утворенні гідросилікатів. Величина контракційної усадки залежить від мінералогічного складу і ступеня гідратації цементу. Контракційна усадка не має великого значення, так як вона набагато менша вологісної.

Вологісна усадка цементного каменю відбувається в результаті дії капілярних сил при випарюванні води із капілярів. Видалення адсорбційно-зв'язаної води із гелю гідросилікатів кальцію, перетворення в'язкопластичного гелю гідросилікатів кальцію в каменеvidному стані.

Карбонізаційна усадка є наслідком зменшення об'єму цементного каменю в результаті взаємодії  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з  $\text{CO}_2$ .

При твердінні бетону реалізуються контракційна і вологісна усадки, а карбонізаційна протікає в процесі його експлуатації. Значно впливає на вологісну усадку мінералогічний склад цементу, В/Ц і тонина помолу. Найбільшою усадкою характеризується  $\text{C}_3\text{A}$  і  $\text{C}_3\text{S}$ .  $\text{C}_3\text{S}$  і  $\text{C}_4\text{AF}$  найменше впливає на усадку.

Підвищення міцності цементуючих систем і бетонів в ранньому віці вирішується використанням активації цементуючих систем різноманітними способами. Найпоширенішими і часто використовуваними є способи теплового впливу, а також механохімічна активація, використання різних хімічних і пластифікуючих добавок. У значно меншій мірі використовуються електрофізичні методи впливу. З електрофізичних способів інтенсифікації процесів приготування бетонної суміші використовується в основному енергія електричних і електромагнітних полів.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що в технології бетону використання енергії електричних і електромагнітних полів реалізується, в основному, за двома напрямками. Перший напрямок пов'язаний із тривалим впливом електромагнітних полів на системи, що твердіють, при якому електрична енергія перетворюється в теплову й використовується для прискорення набору міцності бетону [1]. У другому випадку електричні й електромагнітні поля створюють умови, які забезпечують значну інтенсифікацію процесів гідратації й твердіння в'язучих речовин при короткочасному зовнішньому впливі.

При різних способах електротермообробки бетонів найбільше поширення одержало електродне нагрівання, основане на пропусканні електричного струму по перетину бетону, що твердіє, який у свою чергу має електричний опір і індукційний прогрів залізобетонних конструкцій в електромагнітних камерах. Останній спосіб ґрунтується на використанні магнітної складової змінного електромагнітного поля, енергія якої утворюється в арматурах або сталевій опалубці в результаті індукування вихрових струмів (струмів Фуко) у феромагнітному металі [1].

Способи електротермообробки не мають широкого застосування в технології збірного залізобетону. Тому що відбувається велика перевитрата електроенергії, знижується коефіцієнт потужності електромагнітних установок, що спричиняє штрафні санкції, які накладаються на підприємство - виробник [1], а також обмеження номенклатури оброблюваних залізобетонних виробів і конструкцій [1].

На думку Л. А. Малиніної і В. Г. Батракова загальним напрямком бетонів нового покоління повинне стати вирішення проблем подальшого підвищення показників якості бетону, а також енерго- і ресурсозбереження при його виробництві [16].

У рамках ресурсо- і енергозберігаючих технологій виробництва виробів і конструкцій з бетону й залізобетону в основному значна увага



приділялася дослідженню впливу різних короточасних активаційних впливів на системи, що твердіють.

Перспективним напрямком застосування електромагнітної обробки сумішей є підвищення міцності, економічної ефективності, довговічності бетонних виробів при її використанні.

Виходячи з перерахованого, випливає, що проблема дослідження й визначення раціональних параметрів електромагнітної обробки, є актуальною тому, що на сьогоднішній день не повністю розроблені рекомендації з індивідуального й комплексних фізико-хімічних впливів на воду замішування при одержанні цементних композитів з гарантовано-високими фізико-механічними експлуатаційними властивостями.

Процеси, які відбуваються в результаті твердіння портландцементу, дають багато можливостей для одержання способів прискорення набору міцності бетону, підвищення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей цементного каменю й бетону. Розповсюдженими є способи теплового впливу й використання добавок хімічних виробництв, а також електрофізичні впливи, зокрема, електромагнітна активація. Електромагнітна активація цементної суспензії в сукупності з хімічною добавкою дозволить підсилити ефект і суттєво підвищити фізико-механічні й експлуатаційні властивості бетонів, знизити собівартість бетонних і залізобетонних виробів.

У результаті аналізу літературних джерел виявлено, що не вдається одержати високу однорідність і характеристики цементного каменю й бетону через постійно мінливі параметри води. Тому для вирішення цієї проблеми було запропоновано використовувати активацію цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з подальшою обробкою в змінному електромагнітному полі для приготування бетонної суміші і наступним введенням в неї пластифікатора.

Широко застосовуваним способом є механо-хімічна активація, в результаті якої, за рахунок сумісного чи роздільного помолу цементу

досягається збільшенням в цементуючій системі оптимальної кількості мілких фракцій чи введенням ультрадисперсних добавок типу мікрокремнезему, метакаоліну сумісно з активаторами твердіння.

Одним зі способів активації цементуючої системи може бути її активація в електромагнітному полі за рахунок збільшення ступеня диспергації зерен цементу. При цьому на відміну від механічної активації, активація цементуючої системи в електромагнітному полі є низькоенергетичною, чим потребує менших затрат.

Одним з ефективних методів активації твердіння цементуючих систем і одночасно отримання високорухомих бетонних сумішей, що характеризуються легкоукладальністю, являється використання в їх виробництві пластифікуючих поверхнево-активних домішок.

За рахунок водоредукуючого ефекту, при використанні цих домішок знижується В/Ц, здійснюється більш інтенсивний набір міцності бетонної суміші в ранньому віці.

Разом з тим в результаті блокування ними частини поверхні зерен цементу і новоутворень вони гальмують процеси розчинення, диспергації і гідратації, що призводить до зниження набору міцності бетоном в ранньому віці. Тому в бетонні суміші для високоміцних швидкотверднучих бетонів паралельно з суперпластифікаторами вводять добавки прискорювачі твердіння у вигляді солей лужних металів [128].

Таким чином для активації твердіння цементуючих систем в них також вводять добавки-прискорювачі твердіння.

## **1.2 Активація процесу твердіння цементуючих систем електромагнітними полями**

Дослідженню дії електромагнітних полів на процеси розчинення, диспергації, гідратації і тверднення мінеральних в'язучих речовин, а також

бетонів на їх основі присвячені роботи Я. Л. Арадовського, А. С. Арбенєва, Р. Д. Азелицької, Ю. М. Бутта, В. С. Горшкова, І. Г. Гранковського, І. М. Грушко, М. М. Круглицького, О. П. Мчедлова-Петросяна, А. Н. Плуґіна, М. М. Сичова, Л. Г. Зайченко, В. А. Улазовського, Н. П. Горленко. [1, 4-6, 28, 43, 46, 48, 49, 67, 90, 107, 128, 153, 171].

Активація процесів твердіння цементуючих систем електромагнітними полями розвиваються за трьома напрямками:

- 1) обробка води замішування в електромагнітному полі;
- 2) електромагнітна активація цементних суспензій;
- 3) електромагнітна активація бетонних сумішей

Найбільш поширеною є обробка води замішування бетонних сумішей в електромагнітному полі. В процесі обробки води в електромагнітному полі відбувається впорядкування і розвпорядкування структури води, що призводить до зміни кінетичних властивостей води як розчинника.

Застосування води замішування активованої в електромагнітному полі дозволяє інтенсифікувати процеси структуроутворення і твердіння в'язучих речовин.

Вода є полярною рідиною за рахунок водневих зв'язків утворює асоціати з молекул. При її обробці в електромагнітному полі відбувається руйнування асоціатів на молекули, які більш рухомі і швидше проникають в дефекти поверхні зерен цементу, підвищуючи розчинність, диспергацію і ступінь гідратації в'язучого. Відмічається можливість розриву зв'язків Н-О, що призводить до появи вільних іонів  $H^+$  і  $OH^-$ , які мають ще більшу рухливість ніж молекули води. Останні, володіючи значно меншими розмірами проникають в дефекти поверхні зерен цементу, інтенсифікують розчинення і диспергацію.

В [88] показано, що обробка води в змінному електромагнітному полі в результаті прецесії Лармора призводить до часткового руйнування структури води і до утворення мономерів за рахунок розриву водневих зв'язків.

Відомо, що енергія водневого зв'язку на порядок менше величини енергії звичайних внутрішньо молекулярних зв'язків води. Тому, малоймовірно, що електромагнітна обробка визиває розрив зв'язків Н-О.

Багато дослідників вважають, що магнітне поле впливає на структуру води в результаті зміни числа водневих зв'язків між її молекулами [88, 110, 122, 123]. Н. І. Личагін зі співавторами обґрунтовує можливість зміни магнітним полем валентного кута молекули води – його зменшення більш ніж на  $2^\circ$ , що приводить до збільшення дипольного моменту молекули і зміні взаємодії між молекулами з наступним укрупненням їх агрегатів [87].

Будучи полярною, молекула води характеризується асиметричним розподілом позитивних і негативних зарядів, у результаті чого створюється дипольний момент і можливість орієнтації в електромагнітному полі. Внутрішньо-молекулярні сили не компенсуються повністю, і їхній надлишок проявляється поза молекулою води [19, 46].

Молекули води інтенсивно взаємодіють між собою, але вони не утворюють строго визначеної стійкої решітки. По Дж. Берналу [19], ступінь асоціації молекул води й структура асоціатів залежать від числа ефективних зв'язків, у яких може брати участь кожна молекула, а також від температури і тиску. У воді можливі три основні типи взаємного розташування молекул – це ажурна структура типу льоду – тридиміту, тетраедрична структура типу кварцу і просте симетричне упакування. Структурна рівновага між ними порушується при зміні температури.

Одержання різноманітних структур обумовлюється еластичністю водневих зв'язків, за рахунок яких відбувається взаємодія молекул води. Важливу роль в утворенні таких зв'язків відіграє наявність у молекулах води так званих неподілених електронних пар, які утворюють два зв'язки. Ще два зв'язки утворюються двома водневими атомами. Отже, кожна молекула води здатна утворювати чотири водневі зв'язки.

В природній воді завжди є домішки, які здійснюють вплив на характер фізико-хімічних процесів.

Механізм взаємодії електромагнітного поля і води заснований на гіпотезах, які ділять на три основні групи:

- 1) пояснюючі спостерігаємий ефект дією електромагнітного поля на домішки, що перебувають у воді;
- 2) припускаємі зміни структури води в результаті взаємодії з електромагнітним полем;
- 3) обґрунтовуючі ефект поєднанням дії електромагнітного поля на структуру води і її домішки.

Вважають, що магнітне поле впливає на властивості іонів солей, не змінюючи структуру води. При цьому відбувається орієнтація гідратованих іонів за рахунок взаємодії зовнішнього магнітного поля з наведеними магнітними полями іонів [34].

Встановлено, що магнітна обробка збільшує число центрів кристалізації.

Особливість ефекту магнітної обробки водяних розчинів солей полягає у тому, що, незважаючи на мізерно малі зміни рівноважних фізико-хімічних властивостей, електромагнітне поле здатне викликати великі зміни в кінетиці процесів розчинення солей з намагнічених розчинів.

Багато дослідників відмічають, що комплексний вплив на воду замішування більш істотно відбивається на прискоренні процесів гідратації і твердіння в'язучого, ніж магнітна обробка водопровідної води. Серед різних способів, що стабілізують ефект магнітної модифікації структури води, виділяють фізико-хімічну водопідготовку, котра передбачає попередню деаерацію води [38, 42]; введення лужних з'єднань і дегазацію в ультразвуковому полі [40, 41, 44]; введення в воду різних добавок [31, 33, 43]. Особливо ефективним є застосування солей заліза [41, 42, 49, 74, 94, 96, 111].

Комплексний вплив визиває переорієнтацію молекул води і прискорює процеси гідратації цементу і твердіння бетону, підвищує міцність,

морозостійкість і водонепроникність бетону і як результат сприяє формуванню мікроструктури підвищеної однорідності і щільності [113].

В [46] стверджується, що при магнітній обробці змінюється константа дисоціації молекул води і це повинно привести до збільшення кількості іонів  $\text{OH}^-$  і  $\text{H}^3\text{O}^+$ . Ці іони можуть служити центрами утворення відносно стійких надмолекулярних структур.

В [25] при вивченні впливу електромагнітного поля на реакції у твердій фазі між окисом кальцію й кремнеземом при різних температурах було встановлено, що реакція взаємодії окису кальцію й кремнезему при впливі поля відбувається значно швидше й при більш низькій температурі. Причому, з підвищенням температури вплив поля підсилювався.

В [25, 108] вважають, що електромагнітне поле орієнтує дію й сприяє утворенню центрів кристалізації нової фази.

В [115] отримано збільшені міцності цементних розчинів і бетонів, замішаних омагніченою водою, у середньому на 10 – 15%, максимально за 30 – 40%. Застосовуючи для замішування омагнічені розчини  $\text{FeSO}_4$  і  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  автори дійшли висновку, що позитивний ефект досягається лише при омагнічуванні розчинів солей двовалентного заліза. Найбільший ефект був ними отриманий на дистильованій воді з добавками солі  $\text{FeSO}_4$  при напруженості поля в зазорі омагнічуючого апарата 300 – 400 ерстед.

Дослідники вважають, що вплив омагніченої води позначається «не на стадії твердіння цементного тіста, коли вирішальну роль, відіграють колоїдні процеси, а на стадії кристалізації продуктів гідратації» [88].

Зміна фізико-хімічних процесів гідратації й твердіння цементу замішаного омагніченою водою, автори зводять до «зміни розчинності основних компонентів цементного тіста інтенсифікації процесу їх хімічної взаємодії, утворенню переважно низькоосновних гідросилікатів кальцію, більш швидка кристалізація, яких забезпечує утворення найбільш міцного цементного каменю».

Дисоціацією води під впливом магнітного поля пояснюють в роботах [27] інтенсифікацію процесів гідратації й твердіння в'язучих.

Розгорнуте дослідження впливу омагнічування води замішування на щільність і морозостійкість гідротехнічного бетону проведене в роботі [181], встановлено, що в цьому випадку зменшується його водоцементне відношення, поліпшується структура (знижується обсяг контракційних і капілярних пор) і, отже, зменшується водопроникність. Усе це значно підвищує морозостійкість бетону (більш ніж на 100 циклів заморожування-відтавання).

Ефективність магнітної обробки води зростає при комбінації її з іншими технологічними прийомами. Так, було встановлено, що найбільш стійкі результати виходять при спільній обробці води магнітним полем і електричним струмом, омагнічування розчину пластифікатора (сульфітно-спиртової барди), магнітній обробці води з наступною вібрацією бетону.

В роботі [27] досліджений вплив на структурно - механічні властивості системи «цемент – вода» різних магнітних полів: постійного, градієнтного й змінного. Установлено, що градієнтне й змінне магнітні поля оптимальних параметрів прискорюють процес структуроутворення, а постійне – сповільнює. Зміна структурно – механічних властивостей системи «цемент – вода» проявляється при накладенні полів лише на ранній стадії структуроутворення (до закінчення схоплювання).

Дж. Піккарді й В. І. Классен [79-81] вважають за можливе зміну структури молекул води в результаті взаємодії з магнітним полем, зміну структурних характеристик води в результаті магнітної обробки зв'язують зі збільшенням концентрації в ній розчиненого кисню.

Омагнічену воду в технології бетону стали застосовувати в 60-70 роки 20 століття, однак дослідження в цій області встановили, що факт збільшення міцності не завжди стабільний. Застосування омагніченої води для замішування іноді не виявляє впливу на міцність цементного каменю, а за даними [85] в окремих випадках приводить і до негативного ефекту. Не були

встановлені оптимальні режими обробки води замішування в магнітному полі. Не проведено систематичного й різностороннього дослідження властивостей цементного каменю, виготовленого на омагніченій воді. Не з'ясовані причини впливу магнітообробленої води на ріст міцності цементного каменю.

Активація цементуючих систем в електромагнітному полі є низькоенергетичною і актуальна в наш час, про що свідчать роботи [45, 68].

В роботі [45] встановлено, що результатом дії сил електромагнітного поля на цементні в'язучі речовини є інтенсифікація процесів гідратації, диспергування, масопереносу і масообміну часток, що в них протікають. При цьому основні зміни дисперсності часток після активації електромагнітним полем спостерігається в перші 5 хвилин. Виявлено взаємозв'язок між параметрами зовнішнього поля і внутрішніми процесами структуроутворення. Показано, що керувати властивостями систем і процесами, що в них відбуваються можливо зміною напруженості і швидкості направленої потоку часток. Оптимальні умови проведення процесів: температурний режим 20-40<sup>0</sup>С, наявність гідродинамічного потоку рідини, співвідношення швидкості потоку і значення величини магнітної індукції, що задається добутком  $B \cdot V = 10^{-1}$  Тл·м/с. Встановлено, що в умовах електромагнітної активації рухливість іонів  $H^+$  і  $OH^-$  зростає на 8-12%, що призводить до інтенсифікації процесів протонування, розчинення і диспергації поверхні і ослабленню енергії зв'язку  $-Me-O-$  в кристалічній решітці за рахунок утворення  $OH^-$  груп.

Величина отриманого ефекту при електромагнітній обробці води залежить в основному від швидкості протікання води (швидкості перетину силових магнітних ліній) і напруженості електромагнітного поля (електромагнітної індукції). При оптимальному поєднанні цих параметрів можливо досягти найбільш істотного ефекту. В роботі [62-64] показано, що обробка води замішування, що протікає через установку, яка створює індукцію магнітного поля 0,8-1,35 Тл, забезпечує стабільне підвищення



міцності розчинів і бетонів в межах 15-20%. При цьому має місце незначна пластифікація бетонних сумішей.

Останнім часом у роботах [1, 5, 26, 42, 51, 101] проведені теоретичні й експериментальні дослідження цементних композитів на основі магнітно- і електрохімічно активованої води замішування. Проведене обґрунтування процесу магнітної й електрохімічної активації водяних розчинів, використовуваних для замішування бетонів. Обробка (активація) води магнітним полем приводить до взаємодії часток, що володіють феромагнітними властивостями, – оксидних і гідроксидних з'єднань заліза, що утворюються в ході його електрохімічного окиснення.

Отримані дані за останній час свідчать про перспективу використання дії електромагнітних полів для інтенсифікації процесу твердіння в'язучих і підвищення кінцевої міцності матеріалів на їхній основі.

Змінне електромагнітне поле має, в основному, резонансний характер впливу. Це призводить до того, що в водних цементних суспензіях заряджені частинки здійснюють коливальні рухи. Амплітудно-частотна характеристика коливання залежить, в першу чергу, від величини напруженості електромагнітного поля, частоти струму і розміру заряджених частинок [4] і багато в чому буде визначати інтенсивність масообмінних процесів в тверднучій цементній системі і послаблення зв'язків -Me-O- в поверхневих шарах часток цементу.

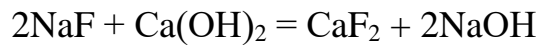
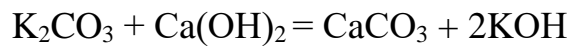
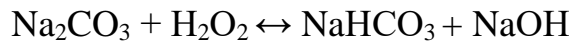
Перераховані ефекти підтверджують думку багатьох дослідників про доцільність електромагнітної обробки цементно-водних систем в порівнянні з омагнічуванням води замішування. У той же час, оскільки в розвитку дисперсної системи відбувається перехід від пружно-пластичного стану в капілярно-пористе тіло, результат зовнішніх впливів залежить від часу його застосування і найбільший ефект досягається в першому періоді твердіння [45]. В [20], відмічається, що найбільш ефективна активація бетонних сумішей на різних етапах технології, де зберігаються тиксотропні властивості сумішей.

### 1.3 Способи активації твердіння в'язучих хімічними домішками

Одним з найбільш ефективних способів інтенсифікування процесів гідратації та тверднення портландцементів є використання прискорювальних домішок. В основі їх дії лежить збільшення розчинності вихідного в'язучого та кінцевих продуктів його гідратації внаслідок зміни іонної сили розчину. Прискорювальні домішки знаходяться в розчині у вигляді іонів, діють на в'язуче на молекулярному рівні, тобто впливають на процес виникнення зародків, або на швидкість росту кристалів. Серед домішок-прискорювачів багато таких, які реагують з в'язучим з утворенням малорозчинних сполук. В результаті реакції обміну виділяється кальцію гідроксид у розчин і підвищується розчинність силікатних складових цементу, що призводить до утворення гелей гідроксидів лужних металів і кальцію. Разом з тим, практично всі відомі прискорювачі тверднення мають застереження при використанні, у зв'язку з імовірністю корозії арматури, чи зниженням довговічності бетону [4, 5, 16, 32, 46, 61, 82, 83].

Застосування хімічних добавок в технології бетону дозволяє керувати кінетикою формування його структури і міцності, впливати на пористість і характеристику порового простору [29]. Згідно найбільш поширеній класифікації [138] добавки для бетону умовно поділяються на чотири класа. Добавки першого класу – солі, які не містять однойменні з в'язучими іони ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ) підвищують розчинність силікатних складових цементу за рахунок зміни іонної сили розчину і завдяки цьому прискорюють твердіння цементної пасти. Добавки другого класу поділяються на три групи. До першої групи відносяться речовини, що вступають з рідкою фазою цементного тіста в реакції нейтралізації (розбавлена  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ). Добавки цієї групи не тільки прискорюють твердіння цементу, але і підвищують непроникність бетону. До другої групи другого класу відносяться вступаючі з гідроокисом кальцію в обмінні реакції з утворенням

важкорозчинних сполук ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaF}$ ). Реакції цих солей протікають по слідуєчим рівнянням:



Добавки цієї групи – добрі прискорювачі твердіння цементу.

До добавок третьої групи відносяться  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_2$ . Це солі, які при взаємодії з алюмінатними та алюмоферитними фазами утворюють подвійні солі-гідрати. Вони прискорюють твердіння силікатних складових цементу змінюючи розчинність силікатів кальцію, діючи на них, як добавки першого класу.

До добавок третього класу відносяться готові центри кристалізації. Вони застосовуються коли лімітуючою стадією твердіння є критсалізація.

Добавки четвертого класу на відміну від добавок попередніх класів головним чином уповільнюють твердіння цементу. До них відносяться поверхнево-активні речовини (ПАР).

Приведені прискорювачі підвищують швидкість наростання міцності. Однак наростання міцності не може протікати з постійною швидкістю протягом всього періоду гідратації [138]. До теперішнього часу не до кінця визначені механізми прискорення. Це показано в [138] на прикладі хлориду кальцію, що характеризується відносно простою хімічною природою. В результаті аналізу різноманітних механізмів прискорення, що розглядаються час від часу, зроблено висновок про те, що механізм прискорюючої дії на гідратацію і твердіння трикальцієвого силікату чи цементу не встановлено. Однак із деяких теорій витікає, що хлорид кальцію діє каталітично, тобто він не утворює ніяких стабільних комплексів з цементом. Так як в цементі ПЦП/Б-Ш присутній шлак в кількості 21-35%, то нижче розглядається і активація твердіння доменного гранульованого шлаку. При замішуванні меленого гранульованого шлаку водою він незначно гідролізується протягом декількох місяців. При цьому концентрація  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  зростає тільки до 0,06-

0,08 г/л [165]. При активації шлаку насиченим розчином гідроокису кальцію концентрація  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  поступово зменшується і реакція закінчується [166]. При додаванні твердого  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  через деякий час розчин залишається насиченим і реакція продовжується. Оптимальна кількість доданого вапна складає 15-20% від маси шлаку. В [162] встановлено, що для активації шлаку в малоклінкерному шлакопортландцементі оптимальне введення вапна складає 3 мас. %.

Активуюча дія портландцементу на твердіння шлаку полягає у виділенні гідроокису кальцію при гідратації. При активації шлаку вапном чи портландцементом утворюється тоберморитоподібна фаза, еtringіт, гексагональні алюмокальцієві гідрати, які можуть зростатись з моногідросульфалюмінатом кальцію [166].

У присутності вапна зерна клінкеру і шлаку реагують з водою більш активно. Зумовлено це тим, що при звичайних температурах під дією зовнішніх факторів присутність іонів  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  активізує розчинення і диспергацію як зерен клінкеру, так і шлаку.

Твердіння шлаку так як і клінкеру включає адсорбцію, розчинення, диспергацію, гідратацію, коагуляцію, конденсацію і кристалізацію.

При цьому відбувається в першу чергу розрив зв'язків  $-\text{Me}-\text{O}-$  з високим ступенем іонності, потім зв'язків  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  і  $\text{Al}-\text{O}-\text{Si}$ , більш ковалентних. У результаті гідратації поверхня наночастинок шлаку всього через кілька хвилин покривається гелеподібним, важкопроникним шаром з  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$  інтенсивність процесів твердіння, структура і склад новоутворень залежать від умов твердіння і виду використаного активізатора цементу.

Прискорення процесу гідратації скловидних шлаків при наявності у воді замішування іонів  $\text{Ca}^{2+}$  зумовлене руйнуванням оболонки з  $\text{Al}(\text{OH})_3$  і  $\text{Si}(\text{OH})_4$  на гідратованих зернах в результаті взаємодії цих гідроксидів з кальцієм до утворення низькоосновних гідросилікатів і гідроалюмінатів. При цьому кристалізація оболонки супроводжується утворенням сітки капілярів,

по яким молекули води досягають негідратованої глибинної області частинок клінкеру і шлаку. До того часу, поки у розчині є вільні іони  $\text{Ca}^{2+}$ , утворення нових суцільних оболонок на частинках цементу не відбувається, що забезпечує повільне, але безупинне протікання процесів гідратації [44].

Терміни тужавлення цементів з добавками гранульованого шлаку дещо подовжені порівняно зі звичайним портландцементом [166]. Вони залежать від складу і властивостей клінкеру і шлаків, їх кількісного співвідношення.

Висока щільність бетонів пояснюється відмінностями в мікроструктурі цементної матриці. Пуцоланова реакція і гідратація активних шлакових стекел призводять до появи додаткової кількості новоутворень: CSH-фази і гідроалюмінатів [163]. Якщо навіть загальна пористість каменя на шлакопортландцементі порівнянна з пористістю на портландцементі, то розмір пор значно відрізняється. Збільшення вмісту шлаку у складі цементу обумовлює появу значної кількості гелевих пор малого розміру, що обмежує дифузію агресивних іонів в структурі цементного каменя. Всупереч тривалому впливу агресивних середовищ міцнісні показники бетонів, виготовлених на шлаковмісних цементах, збільшуються [162].

Використання вмісту шлаку в цементі від 35 до 80%, а також активних мінеральних наповнювачів вирішує задачу зниження: енергозатрат на випал і викид  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Але при цьому знижається швидкість набору як ранньої міцності, так і в більш пізні строки твердіння.

Теорія активізації твердіння шлаків з'єднаннями лужних металів були розроблені В. Д. Глуховським і в подальшому розвинуті в роботах П. В. Кривенка, К. К. Пушкарьової, Рунової Р.Ф. та ін. [40, 87, 147].

За П. В. Кривенком механізм процесів гідратації і твердіння лужних в'язучих представляє сукупність послідовно і паралельно протікаючих перетворень на стадії дисперсійно-коагуляційного, коагуляційно-конденсаційного і конденсаційно-кристалізаційного структуроутворення. При цьому гідролітична деструкція дисперсної фази в присутності лужного дисперсійного середовища ( $\text{pH} > 11$ ) обумовлена переважним розривом

ковалентних зв'язків  $\text{Si-O-Si}$ ;  $\text{Me}^{3+}\text{-O-Me}^{3+}$ ;  $\text{Si-O-Me}^{3+}$ , а не протонізацією іонних, що характерно для високоосновних систем. Лужний катіон на початкових стадіях є каталізатором деструкції ковалентних зв'язків, на пізніх приймає участь нарівні з оксидами  $\text{Me}^{2+}$  в будові структури [87].

В наш час розроблені і широко використовуються змішані цементи, що містять портландцемент і тонкомелений гранульований доменний шлак, зола-винесення, природні пуццолани активовані лужновмісними з'єднаннями. Ці лужноактивовані цементи займають проміжне положення між клінкерними і лужними цементами [89].

Сполуки лужних металів на початкових стадіях структуроутворення цих цементів інтенсифікують процеси деструкції твердої фази з формуванням переважно гідросилікатів низькою основності. На наступних стадіях вони беруть участь у формуванні гідратних новоутворень. Вміст сполук лужних металів в лужноактивованих цементах не перевищує 1-2 мас. % незалежно від вмісту мінеральних добавок.

При зменшенні вмісту клінкеру і відповідним збільшенням вмісту  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в її алюмосилікатному компоненті, необхідний вміст лугів ( $\text{R}_2\text{O}$ ) підвищується в ряді: не більше 0,6% (портландцемент), < 1...5% (лужний портландцемент), < 2...5% (композиційний цемент), < 2...8% (шлаколужний цемент). Вміст лугів у таких цементах визначається необхідністю забезпечення стехіометричного складу лужних або лужноземельних гідроалюмосилікатів [88].

#### **1.4 Активація твердіння добавками пластифікуючої дії**

В сучасному монолітному будівництві широко використовуються пластифікуючі добавки, які змінюють властивості бетонної суміші і бетону: легкоукладальність, в'язкість, транспортування бетононасосом,

водовідділення, регулюють швидкість набору міцності і нормативну міцність бетону.

Можливо виділити три групи поверхнево-активних речовин, які використовують в якості пластифікаторів [70, 113].

Перша група – це лігносульфонати, їх склад складний і представлений фенілпропанзаміщеним полімером з гідроксильними (-ОН), метоксильними (-ОСН<sub>3</sub>) групами, фенольними кільцями (-С<sub>6</sub>Н<sub>5</sub>) і сульфогрупами. Склад технічних лігносульфонатів (ЛСТ) нестабільний, що зв'язано з умовами його отримання. Вміст редуруючих речовин коливається від 1,5 до 7,6 %. Найбільш поширені лігносульфонати з заміщеним Н<sup>+</sup> в сульфогрупах катіоном Са<sup>2+</sup> чи Na<sup>+</sup>. Лігносульфонати натрію більш ефективні, однак лігносульфонати кальцію дешевше. Властивості ЛСТ залежать від валентності катіону, полімолекулярного складу, молекулярної маси фракцій, що сюди входять. Наявність в ЛСТ продуктів повної чи часткової деструкції целюлози (цукру, геміцелюлози та ін.) здійснюють негативний вплив на твердіння цементу.

Механізм дії гідрофобізуючих добавок аніонного класу, зокрема ЛСТ, зв'язаний з їх адсорбцією на поверхні виникаючих новоутворень і цементу.

Мінерали цементного клінкеру і шлакові мінерали мають різну здатність до адсорбції лігносульфонатів. Адсорбція лігносульфонатів здійснюється в наступній послідовності [113]:



Вплив лігносульфонатів на процеси розчинення, диспергації, гідролізу, виділення і кристалізації новоутворень в системах: портландцемент-вода-лігносульфонати заключається в адсорбції добавок на поверхні вихідного в'язучого і стабілізації зародків гідратів [77, 102]. При цьому адсорбція лігносульфонатів протікає переважно на гідратах, а не на безводному в'язучому [103, 104].

Передбачається що молекули ЛСТ розміщуються в міжшаровому просторі гідроалюмінатів [106].

Особливості впливу ПАР на механізм пластифікації цементних систем і модифікуюча дія на гідратацію і твердіння цементу зв'язано з їх будовою і властивостями. Структурна формула ЛСТ приведена на рисунку 1.1 [113].

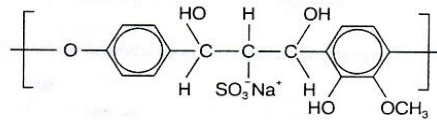


Рисунок 1.1 – Структурна формула ЛСТ

До другої групи відносяться суперпластифікатори - сульфовані меламін- та нафталінформальдегідні смоли, сульфонати ароматичних нафтових смол, модифіковані лігносульфонати та ін., рис 1.2.

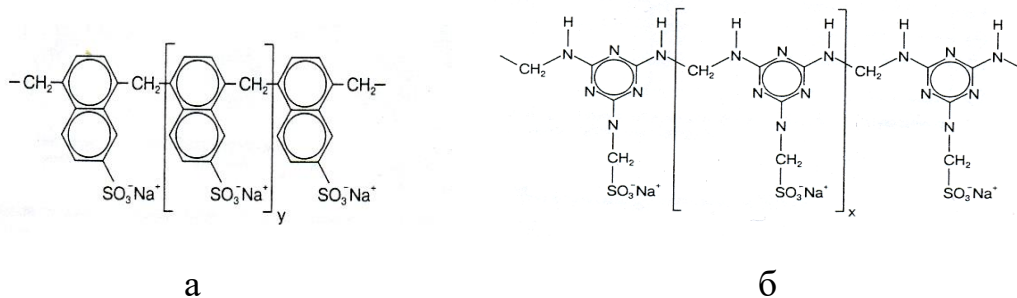


Рисунок 1.2 – Структурна формула: а) СНФ-

сульфонафталінформальдегід (С-3), б) СМФ-сульфомеламінформальдегід Melment F10.

Суперпластифікатори дозволяють зменшити кількість води замішування на 20-30% при збереженні заданої рухливості [69, 77]. Дія цих добавок полягає в створенні негативних зарядів на частинках портландцементу, що забезпечує їх диспергацію за рахунок електростатичного відштовхування. Механізм дії традиційних пластифікаторів пов'язаний з їх адсорбцією на гідратних новоутвореннях (перш за все, гідроалюмінатах), причому тривалість пластифікуючої дії



забезпечується надлишком суперпластифікатора в рідкій фазі. Утворення адсорбційного шару призводить до дефлокуляції, зміни електрокінетичного потенціалу і, як наслідок, до збільшення об'єму дисперсійного середовища і сил електростатичного відштовхування.

Недоліком ПАР цієї групи є те, що в процесі взаємодії портландцементу з водою молекули ПАР покриваються продуктами гідратації, в результаті чого їх пластифікуюча дія зменшується.

До третьої групи ПАР відносяться пластифікатори нового покоління на основі полікарбоксилатів, рис 1.3.

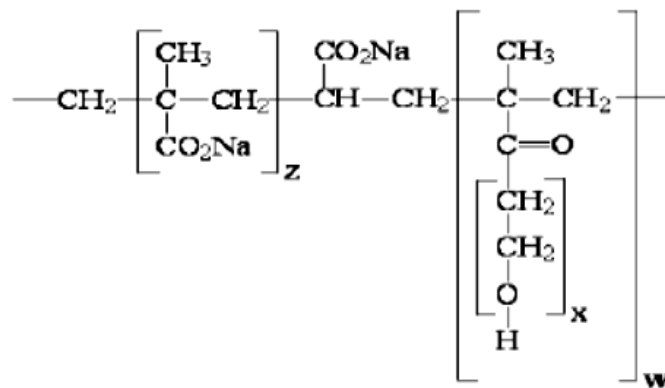


Рисунок 1.3 – Структурна формула полікарбоксилату

Використання таких суперпластифікаторів представляє значний практичний і теоретичний інтерес в будівельній практиці при виготовленні модифікованих бетонів [2, 39, 40]. Розробки в цьому напрямку проводяться багатьма провідними фірмами і в промислових масштабах випускається цілий ряд подібних добавок, які отримали комерційну назву «гіперпластифікаторів», оскільки реальні можливості зниження водоцементного відношення (до 40%) і розрідження бетонної суміші у них значно вищі, ніж у традиційних поліметиленафталінсульфонатів (ПНС) і поліметиленамеламінсульфонатів (ПМС). Нові високоефективні суперпластифікатори на базі модифікованих полікарбоксилатів суттєво відрізняються за механізмом дії. В той час як добавки II покоління

забезпечували пластифікацію за рахунок сил електростатичного відштовхування, нові полімери працюють комбіновано шляхом взаємодії сил просторового і електростатичного відштовхування. Полімери минулих поколінь достатньо швидко адсорбуються на поверхні цементних зерен і залишаються там постійно. При цьому, полікарбоксилатні типи добавок на початку не адсорбуються на поверхні цементних зерен. Властивостями таких полімерів (перш за все адсорбцією) можна управляти шляхом ціленаправленої варіації їх молекулярної структури та комбінації структурних елементів.

В основу молекулярного дизайну при створенні високоефективних водорозчинних полікарбоксилатних суперпластифікаторів закладена така хімічна модифікація карбоксилмісних полімерів, яка дозволяє ввести в ці макромолекули довгі бічні олігоалкіленоксидні ланцюги через утворення відповідних складноефірних або амідних груп [73, 128]. Це забезпечує практично необмежені можливості контролю хімічної та фізичної поведінки полімерів і їх взаємодії з цементними частинками за допомогою зміни довжини основного і бічного ланцюгів, електричних зарядів, щільності бічних ланцюгів, вільних функціональних груп. Оптимізація хімічної структури полікарбоксилатів за рахунок застосування нанотехнологій («збирання» молекул заданої будови) забезпечує краще використання всієї введеної кількості суперпластифікаторів, що помітно знижує їх дозування, а також дозволяє мінімізувати їх чутливість по відношенню до хімічного складу цементу. Так, наприклад, зменшення водопотреби бетонної суміші визначається електричними зарядами і бічними ланцюгами, збереженість пов'язана зі швидкістю адсорбції полімерів на частинках цементу, а розвиток ранньої міцності бетону - формою (конфігурацією) полімерної молекули, в цілому [39].

Іншою особливістю проектування складу бетону з полікарбоксилатами є необхідність збільшення частки піску в суміші заповнювачів і особливі вимоги щодо гранулометрії заповнювачів, в цілому. Полікарбоксилати

забезпечують досить високу збереженість бетонної суміші, що робить їх дуже привабливими для монолітного будівництва, при транспортуванні.

Легкоукладальність бетонної суміші при максимальному зниженні водовмісту забезпечує високу швидкість тверднення та значне підвищення міцності бетону [56, 99].

При використанні суперпластифікаторів підвищується ефективність використання портландцементу та збільшення його міцності за рахунок зменшення міжзернової та капілярної пористості, зниженні товщини прошарку цементного каменю між зернами наповнювача, та поглибленні процесів гідратації.

Механізм дії суперпластифікаторів на мінеральні в'язучі полягає не тільки в пластифікації, але і в диспергуванні продуктів, що утворюються.

При гідратації в'язучих з добавкою суперпластифікаторів протікають одночасно два протилежних процеса: один направлений на збільшення міцності за рахунок диспергації, зниження В/Ц і капілярної пористості більшої кількості контактів зростання в твердій фазі, а інший на зниження міцності за рахунок блокування частини контактів твердої фази.

### **1.5 Робоча гіпотеза, мета і завдання досліджень**

Одним з напрямків сучасного монолітного будівництва типових будівель є розробка швидкотверднучих бетонів середнього класу міцності з покращеними технологічними і експлуатаційними властивостями. Крім того з урахуванням енергозбереження і екологічного навантаження на навколишнє середовище у використовуваних цементах вміст клінкеру повинен бути знижений. В даний час для виготовлення бетонів середнього класу міцності застосовуються ПЦІ/А-Ш і ПЦ ІІ/Б-Ш. Вміст клінкеру в першому складає 80%, а в другому 65%. Тому, виходячи з економічних і екологічних міркувань пріоритетом є другий вид цементу при підвищенні

його міцності в ранньому віці. Підвищення міцності в ранньому і нормативному віці цементу може бути досягнуто за рахунок активації.

На основі аналізу наукових літературних джерел вчених: Ю. М. Баженова, І. В. Барабаша, В. І. Гоца, В. Н. Вирового, Л. Й. Дворкіна, В. І. Калашнікова, А. А. Кучеренко, П. В. Кривенко, М. І. Нетеси, О. А. Пługіна, К. К. Пушкарьової, Р. Ф. Рунової, М. А. Саницького, Х. С. Соболя, У. Д. Марущака, Т. П. Кропивницької, С. М. Толмачова, О. В. Ушерова-Маршака, Л. О. Шейніча, Л. Г. Зайченко, Ю. О. Степасюка, присвячених розробці швидкотверднучих цементуючих систем різними способами активації і закономірностей формування їх структури в бетонах можливо зробити висновок, що швидкотверднучі бетони на основі цементу ПЦ II/Б-III можуть бути розроблені шляхом комплексної фізичної і хімічної активації цементуючої системи. При цьому в якості фізичної активації цементуючої системи може бути використана її обробка в змінному електромагнітному полі, що є низькоенергетичним способом, а в якості хімічної – замішування цементу розчином, що містить 1%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  від маси цементу, який містить наночастинки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  і введенням в бетонну суміш пластифікуючої добавки. Обробка цементуючої системи в змінному електромагнітному полі є низькоенергетичною активацією, в результаті якої внаслідок Ларморової прецесії структура води частково руйнується до утворення молекул, які можливо частково дисоціюють утворюючи додаткові іони  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , а також знижається міцність зв'язків –  $\text{Me-O-}$ .

Іони  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , проникаючи в дефекти поверхні зерен клінкеру і шлаку інтенсифікують розчинення, диспергацію і гідратацію наночастинок гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію, що утворились.

Замішування цементуючої системи однопроцентним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  одночасно з Ларморовою прецесією підсилює розчинення і диспергацію поверхні зерен клінкеру і шлаку за рахунок більшої присутності в рідкій фазі іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  і розриву ослаблених зв'язків  $-\text{Me-O-}$ . При цьому

утворюється більша кількість гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію, контактів в одиниці об'єму твердої фази матриці бетону. Розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  представлено наночастинками  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а його рідка фаза насичена іонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ . Так як зі збільшенням часу концентрація  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в рідкій фазі цементуючої системи може підтримуватись за рахунок розчинення колоїдних часток  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Введення в бетонну суміш суперпластифікатора, за рахунок водоредуруючого ефекту, знижає В/Ц і, як наслідок капілярну пористість, що в комплексі з обробкою в змінному електромагнітному полі цементуючої системи в кінцевому результаті повинно призводити до значного підвищення міцності в ранньому і нормативному віці бетону.

У зв'язку з цим сформульована наступна **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, збільшенню 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.

Виходячи із запропонованої робочої гіпотези **метою** 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.

У відповідності до поставленої мети вирішувалися **наступні завдання дослідження:**

- 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 ефективною 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.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Використані матеріали

У якості матеріалу для дослідження використовувався портландцемент Криворізького цементно–гірничого комбінату марки ПЦ ІІ/ Б-Ш-400 по ДСТУ Б В.2.7-46-96. Мінералогічний склад цементу і його технологічні характеристики наведено в таблицях 2.1–2.3. Лабораторні випробування його проводилися відповідно до вимог ГОСТ 310-60.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад цементу

Найменування	Вміст основних оксидів, %					
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$SO_3$
Криворізький портландцемент ПЦ ІІ/ Б-Ш-400	25,42	8,14	3,12	57,12	2,50	1,38

Таблиця 2.2 – Мінералогічний склад цементу

Найменування	Мінералогічний склад, %			
	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_3AF$
Криворізький портландцемент ПЦ ІІ/ Б-Ш-400	55,00	20,00	6,5	11,7

Крупний заповнювач – *гранітний щебінь* Рибальського кар'єру (ДСТУ Б В.2.7-75-98). У дослідах використано щебінь крупністю 2,5-20 мм.

Таблиця 2.3 – Характеристики цементу

Марка цементу	Нормальна густота, %	Строки схоплювання, хв		Межа міцності у віці 28 діб, МПа	
		Початок	Кінець	при вигині	при стиску
ПЦ II/ Б-Ш-400	26,5	200	260	6,8	42,2

Для виготовлення зразків з важкого бетону використовували:

Дрібний заповнювач – дніпровський річковий пісок (ДСТУ Б В.2.7-32-95), хімічний і гранулометричний склад якого наведено в таблицях 2.4–2.5.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад річкового піску

Масовий вміст основних оксидів у дніпровському річковому піску, %									
п.п.п.	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$CaO$	$MgO$	$SO_3$	$Na_2O$	$K_2O$
0,3	98,0	0,6	0,1	-	0,3	-	0,2	0,1	0,1

Таблиця 2.5 – Гранулометричний склад річкового піску

Залишки в ситах	Вміст залишків, %					Модуль крупності	Питома поверхня, $m^2/kg$
	Розміри отворів сит, мм						
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14		
Часткові	0,5	0,8	1,5	84,5	12,6	1,34	11,3
Повні	0,5	1,3	2,8	87,3	99,9		

Вода – у якості замішувача застосовувалася Дніпровська водопровідна вода (ГОСТ 2874-82). Усереднений хімічний склад домішок у воді наведено в таблиці 2.6. Температура застосовуваної води підтримувалася постійною  $t = 18 - 20^{\circ}C$ .

Хімічна добавка: водяний розчин  $Ca(OH)_2$ , суперпластифікатор СП-3.



Для дослідження була приготована концентрована цементна суспензія активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Після обробки в електромагнітному полі концентрована цементна суспензія використовувалася для замішування зразків.

Таблиця 2.6 – Усереднений хімічний склад Дніпровської водопровідної води

№ з/п	Найменування	Од. вим.	Кількість
1	Залізо	мг/л	0,3
2	Лужність	мг-екв/л	2,6
3	Загальна жорсткість	мг-екв/л	3,5
4	Окис кальцію	мг/л	46,0
5	Окис магнію	мг/л	14,1
6	Хлориди	мг/л	21
7	Аміак	мг/л	0,08
8	Фтор	мг/л	1,00
9	Сульфати	мг/л	136
10	рН	мг/л	7,3
11	Розчинний кисень	мг/л	9,2
12	Загальний солевміст	мг/л	200-300

## 2.2 Методи дослідження, прилади й устаткування

Формування зразків здійснювалося на лабораторному вібростолі з регульованою амплітудою й частотою коливань. Випробування зразків цементного каменю проводилися на пресі П-10, а бетону на пресі П-125.

pH – метричні виміри в перші години твердіння проводили потенціометричним методом, використовуючи іонімір лабораторний I-160М.

Структурування цементного тіста вимірювали з допомогою конічного пластометра. Принцип дії оснований на зміни навантаження , необхідного для занурення конуса з кутом при вршині  $45^{\circ}$  в цементне тісто на глибину 5 мм. Необхідне навантаження для занурення конуса на вказану глибину і віднесена до площі зануреної частини конуса характеризує пластичну міцність цементного тіста в даний момент часу. Обчислення пластичної міцності проводиться по формулі:

$$P_m = (F/h^2) \cdot k_{\alpha},$$

де  $F$  – навантаження, що діє на конус;

$h$  – глибина занурення конуса, рівна 0,5 см;

$k_{\alpha}$  – постійний коефіцієнт для конуса при куту  $\alpha = 45^{\circ}$ .

Морозостійкість бетону оцінювали прискореним методом згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96, п. 6.2 (насичення й відтавання зразків бетону проводили в розчині хлористого натрію 5 %-ної концентрації).

Визначення рухливості бетонної суміші проводили згідно стандарту EN 12350-2, яким встановлено марки за легкоукладальністю S1 - S5, що характеризуються величиною осадки стандартного конуса (ОК).

Деформації усадки цементного тіста визначали на компараторі ІЗА-2 (№590303, СРСР).

Фазовий і хіміко-мінералогічний склад визначали за допомогою рентгенофазового й термічного аналізів.

Рентгенофазовий аналіз новоутворень по ДСТУ Б А.1.1-8-94 проводився на дифрактометрі ДРОН-3.

Це один з методів визначення міжплощинних відстаней і ідентифікації фаз по них. Рентгенівський фазовий аналіз заснований на тому, що кожна фаза має свої кристалічні ґрати зі строго певними параметрами і, отже, характеризується індивідуальним набором міжплощинних відстаней [22, 150]. На дифрактограмі відбиттю від кожної системи площин (hkl) відповідає дифракційний максимум під певним кутом ковзання  $\Theta$ .

Для ідентифікації фази, що присутня у зразку, по дифрактограмі були визначені значення міжплощинних відстаней  $d_i$ , ділені на порядок відбиття  $n$  від даної площини [22, 150]:

$$d_i / n = \lambda / 2 \sin \Theta, \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі характеристичного випромінювання, у якому проведена зйомка;

$\Theta$  – кут ковзання (кут між падаючим променем і площиною, що відбиває)  $i$ -го максимуму на дифрактограмі.

Отриманий набір експериментальних значень  $d/n$  порівнювали з довідковими значеннями  $d/n$  передбачуваних фаз. Порівняння починали з найбільш інтенсивних ліній. Якщо експериментальні значення  $d/n$  збігалися з наведеними в довіднику значеннями  $d/n$  трьох-чотирьох самих інтенсивних ліній передбачуваної фази, то її присутність у досліджуваному зразку було доведено. Крім того, враховувалася відповідність експериментальних і довідкових значень відносної інтенсивності ( $I$ ) порівнюваних ліній з однаковими (hkl). При дослідженні монолітних зразків, якими є зразки бетону, можливі відхилення  $I_{\text{експ}}$  від  $I_{\text{табл}}$  через наявність текстури й інших факторів. Якщо на дифрактограмі не виявлені

найсильніші лінії шуканої фази, то необхідно перейти до пошуку інших передбачуваних фаз.

На дифрактограмі твердих розчинів усі максимуми закономірно зміщені в область більших або менших значень кутів  $\Theta$ . Напрямок зсуву визначається не тільки типом твердого розчину, але й співвідношенням розмірів атомів матриці й розчиненого елемента. Тому всі експериментальні значення міжплощинних відстаней у твердих розчинах будуть відрізнятися від табличних на деяку величину, тому що в довідниках наведені значення  $d/n$  для чистих речовин.

Згідно наявним даним, чутливість методу (мінімальна кількість фази, яку ще можна визначити в багатофазних системах) становила для зразків 0,1-5%.

Загальний вид апарата ДРОН-3, а також його основні вузли (блоки), що входять у комплект, представлено на рис 2.1.

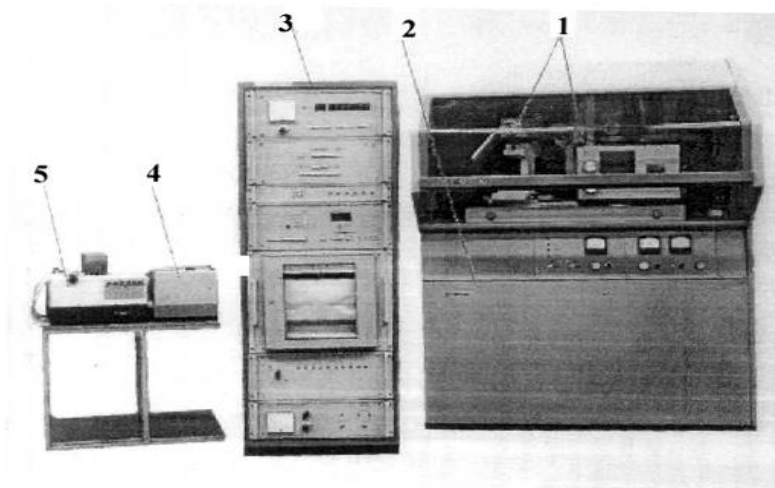


Рисунок 2.1 – Загальний вид дифрактометра ДРОН-3: 1 – стійка дифрактометрична з гоніометром, рентгенівською трубкою й детектором; 2– живильний пристрій рентгенівський ЖПР; 3 – пристрій електронно-обчислювальний уніфікований ПЕОУ; 4 – перфоратор; 5 – машинка цифропечатаюча.

Дифрактограми отримані на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3 з фокусуванням по Бреггу-Брентано, у якому фокус трубки й прийомна щілина блок детектування розміщуються на окружності гоніометра ( $R = 192$  мм), у центрі якої через вісь гоніометра проходить площина досліджуваного зразка. Пучок рентгенівських променів, що розходяться відбивається від площини зразка й фокусується на прийомній щілині блоку детектування. Зразок і блок детектування синхронно обертаються навколо осі гоніометра, при цьому швидкість повороту блоку детектування вдвічі більше швидкості повороту зразка. За таких умов фокус трубки, площина зразка й щілина лічильника увесь час перебуває на фокусуєчій окружності змінного радіуса  $r_f$  і відбувається фокусування дифрагированого пучка рентгенівських променів на прийомній щілині детектора. Реєстрація дифракційного спектра проводилася за допомогою сцинтиляційного лічильника. Була обрана постійна часу інтенсиметра  $RC = 5$  з метою зменшення флуктуацій інтенсивності. При більших значеннях  $RC$  і швидкості руху лічильника відбувається зрушення профілів ліній і збільшення їх асиметрії. Кут відбиття монохроматора  $13^\circ$ . Використовувалася рентгенівська трубка з мідним анодом БСВ-23. Зйомка проводилася в інтервалі кутів  $2\Theta = 4^\circ \div 70^\circ$  в  $\text{Cu}$  випромінюванні відфільтрованого за допомогою плоского графітового монохроматора, розміщеного на вторинному пучку перед лічильником. Напруга анода рентгенівської трубки 35 кВ, струм анода трубки 10 мА [101].

Цей режим роботи трубки використовувався для одержання всіх дифрактограмм. Відсутність ліній  $\text{Cu}_\beta$  випромінювання суттєво спростило аналіз дифрактограмм. Зразок також неспинно обертається щодо осі перпендикулярної його площини.

Диференційно-термічний аналіз проводився на дериватографі Q-1200 фірми МОМ. Швидкість нагрівання проби для ДТА становила  $10^\circ\text{C}/\text{хв}$ . У якості еталона застосовували прожарений  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Для проведення диференційно-термічного аналізу зразки цементного каменю розтиралися в порошок, промивалися спиртом для припинення гідратації й видалення вільної води й висушувалися до постійної ваги.

Електропровідність вимірювалася методом вольтметра-амперметра при напрузі 0,1-10 В/см. Цінність його полягає в тому, що електротехнічні характеристики вимірюються без перерв у подачі енергії. За цією методикою бетонна суміш укладається в текстолітову формочку, торцеві стінки якої виконані з металу і є електродами.

Для обробки води концентрованої цементної суспензії був виготовлений пристрій електромагнітної активації.

При виборі конструкції пристрою для електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії використовувалися наявні дослідні дані застосування їх при магнітній водопідготовці в парокотлових процесах [34].

Основними показниками таких приладів є:

1. Тип магніту (постійний або електромагніт, що живиться змінним або постійним струмом);
2. Параметри магнітного поля в його повітряному проміжку (напруженість, індукція, магнітний потік).
3. Кількість магнітних контурів.
4. Конструктивні розміри пристрою, що забезпечують його пропускну здатність і величина магнітних полів.

Статистика експериментальних даних свідчить про те, що тип магніту істотного впливу на ефект обробки не виявляє. У зв'язку із цим обрана конструкція пристрою на підставі електромагніту, що живиться змінним струмом [34, 43, 45, 46, 47], як найбільш зручна: по-перше, є можливість варіювати напруженістю поля, а по-друге, не потрібно спеціального устаткування для випрямлення струму. При розрахунках магнітного й електричного ланцюга лабораторного приладу ми виходили з даних про те, що для електромагнітної обробки цементної суспензії при

дотриманні всіх інших факторів, що впливають (швидкості руху її в магнітному проміжку в межах 1 кг/хв і наявності 1 магнітного контуру при загальній його довжині не менш 120 мм.) цілком достатня напруженість  $H=0,5-1,8 \cdot 10^5$  А/м.

Схема пристрою представлена на рис. 2.2.

Пристрій являє собою комбінацію електромагніту, що живиться змінним струмом  $f = 50$ Гц.,  $U = 220$ В (рис. 2.3), і шнекового живильника в його повітряному проміжку (рис. 2.4), по якому перпендикулярно силовим лініям електромагнітного поля проходить цементна суспензія. Магнітопровід пристрою набраний з листової електротехнічної сталі Е – 42 товщиною 0,5 мм. На нього намотана котушка дротом марки ПЕЛ діаметром 0,8 мм 617 витків. Індукція в електромагнітному полі регулювалася зміною сили струму в котушці, що намагнічується. Градуировочная крива I-B (струм-індукція), наведена на рис. 2.5. побудована за результатами вимірювання величини ЕРС, що індукується електромагнітним полем пристрою в одношаровій вимірювальній котушці (таблиця 2.7).

Величина індукції В обчислювалася по формулі:

$$B = \frac{e}{4,44 \cdot f \cdot \omega \cdot S}, \quad (2.2)$$

де  $e$  - величина ЕРС у вольтах, що вимірювалася мілівольтметром ВВ-13, сила струму вимірювалася мультиметром типу ДТ – 9208А;

$f$  - частота змінного струму, що живить прилад, 50Гц;

$\omega$  - кількість витків у вимірювальній котушці,  $\omega = 21$  (дріт ПЕЛ, діаметр 0,25 мм.);

$S$  - площа перетину котушки,  $S = 3,93 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>.

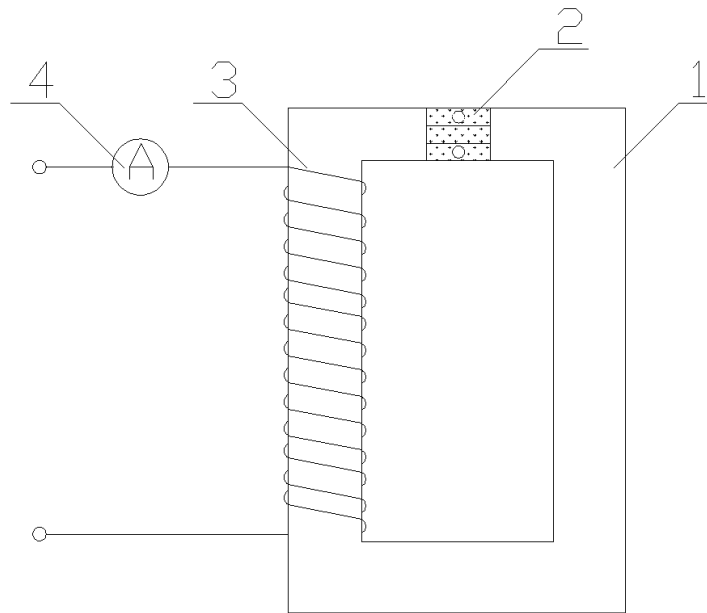


Рисунок 2.2 – Схема пристрою для електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії: 1-магнітопровід з листової електротехнічної сталі Е-42; 2-ємність із акрилового скла для пропускання суспензії в проміжку електромагніту; 3- обмотка котушок електромагніту; 4- амперметр.



Рисунок 2.3 – Експериментальна установка для електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії для бетонних сумішей



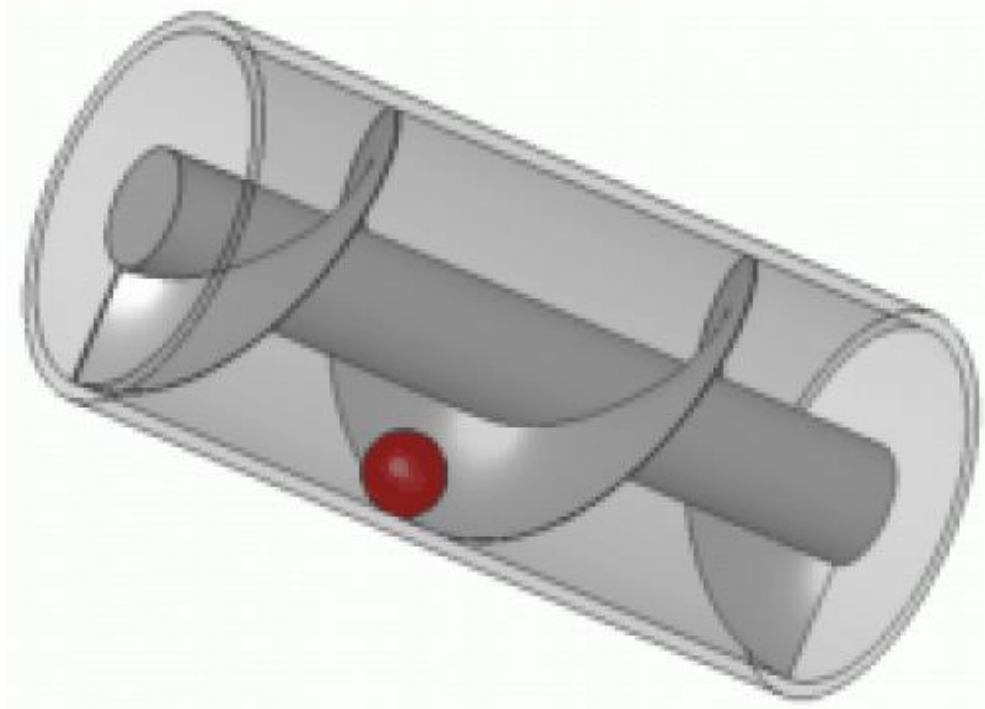


Рисунок 2.4 – Шнековий живильник розташований у повітряному проміжку пристрою для електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії

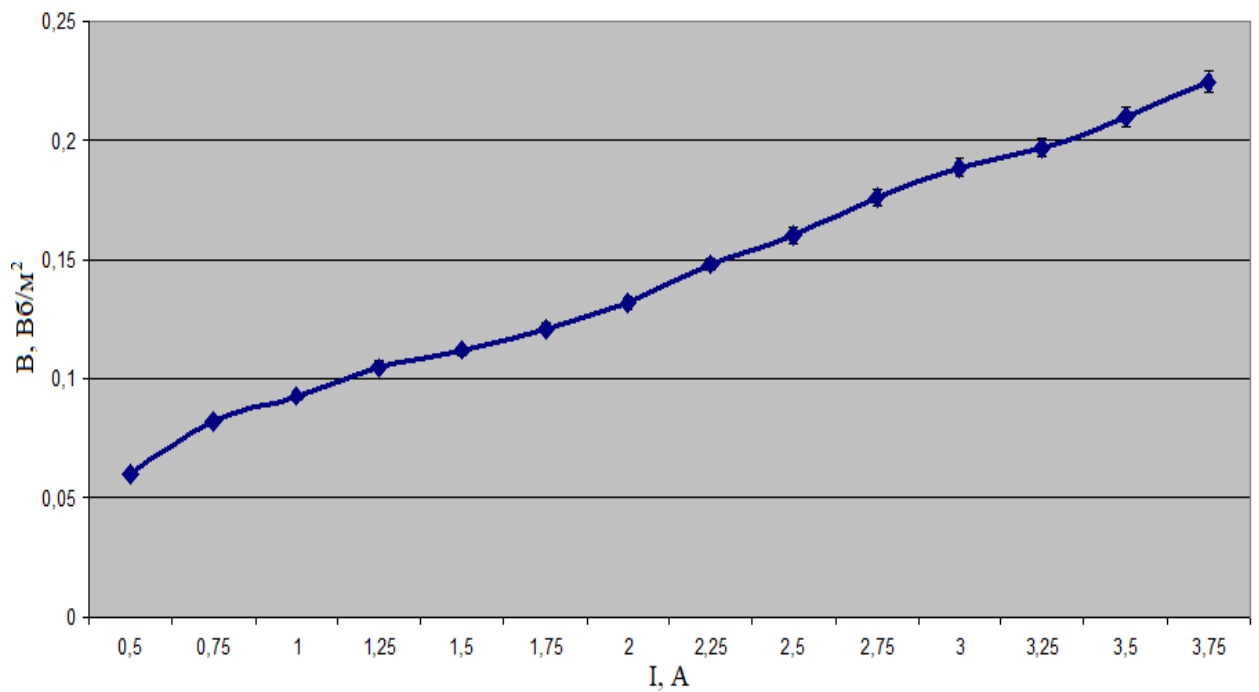


Рисунок 2.5 – Крива залежності I-B (струм – індукція)

Таблиця 2.7 – Електричні й магнітні характеристики пристрою електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії

Струм, А.	ЕРС, В	Індукція, Вб/м <sup>2</sup>	Н, А/м·10 <sup>5</sup>
0,50	1,1	0,060	0,5
0,75	1,5	0,082	0,6
1,00	1,9	0,093	0,7
1,25	2,3	0,105	0,8
1,50	2,7	0,112	0,9
1,75	3,1	0,121	1
2,00	3,5	0,132	1,1
2,25	3,9	0,148	1,2
2,50	4,3	0,160	1,3
2,75	4,7	0,176	1,4
3,00	5,1	0,189	1,5
3,25	5,5	0,197	1,6
3,5	5,9	0,210	1,7
3,75	6,3	0,225	1,8

Кількість змін полярностей полюсів у полі електромагніту не є самостійним чинником і визначається в цьому випадку частотою змінного струму  $f=50$  Гц, і часом знаходження концентрованої цементної суспензії в просторі, де проводиться обробка.

Кількість пар полюсів пристрою для електромагнітної обробки:

$$n = \frac{2 \cdot f \cdot l}{V} \quad (2.3)$$

На підставі вищевикладеного, оптимальними для обробки концентрованої цементної суспензії параметрами магнітного поля даного приладу були прийняті:

середня швидкість руху концентрованої цементної суспензії в повітряному зазорі  $V=0,035$  м/хв; струм у котушках приладу, що

намагнічуються  $I=3,75$  А.; напруженість магнітного поля в повітряному проміжку  $H=0,5-2,2 \cdot 10^5$  А/м.; кількість пар полюсів  $n=4$

### 2.3 Планування експерименту й математична обробка результатів досліджень

З метою скорочення кількості експериментів при виборі раціональних складів в'язучого застосовувалося планування експерименту на симплексі, а точніше симплекс-решітчасте, призначене для визначення екстремума в багатокомпонентних системах "склад-властивість", описане І. Г. Зедгенідзе [68].

Для систем із сумішей різних компонентів змінні  $X_i$  ( $i=1,2,3\dots q$ ) служать пропорціями суміші й задовольняють умові:

$$\sum X = 1, 1 < i < q. \quad (2.4)$$

Геометричне місце точок, що задовільняють умові нормованості суми змінних (2.1), являє собою  $(q-1)$ -мірний правильний симплекс (трикутник для  $q=3$ , тетраедр для  $q=4$  і т.д.). Кожній точці симплекса відповідає суміш певного складу й навпаки, будь-якій комбінації відносного складу компонентів відповідає певна точка симплекса. При плануванні експерименту використані плани, що забезпечують рівномірне розкидування експериментальних точок по тривимірному симплексу.

При побудові діаграми "склад-властивість" зручно оперувати факторним простором у вигляді симплексів. Доцільно визначити координати компонентів не в абсолютній системі координат, а в спеціальній - симплексній, у якій відносні склади кожного компонента відкладаються уздовж відповідних сторін (граней) симплекса від 0 до 1. Для визначення

рівня першого компонента, що відповідає будь-якій точці М суміші, проводиться через точку М пряма, паралельна стороні  $X_3$  і береться відрізок  $X_1$ , що відтинається нею (рис. 2.6). Аналогічно визначаються пропорції другого й третього компонентів.

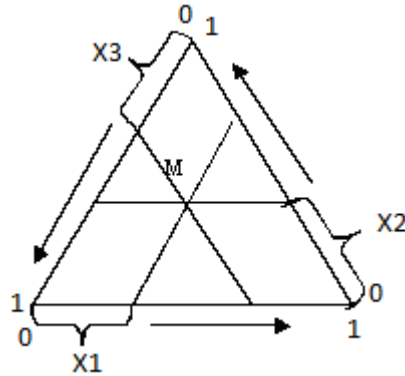


Рисунок 2.6 – Тривимірний симплекс

Для побудови математичної моделі "склад-властивість", що включає три компоненти системи, використовується поліном 2<sup>го</sup> ступеню, а за умови його неадекватності - поліном 3<sup>го</sup> ступеню. Для оцінки коефіцієнтів апроксимуючого полінома 2<sup>го</sup> і 3<sup>го</sup> ступеню у всіх точках плану, що відповідають вузлам квадратичних чи неповно-кубічних ґрат реалізуються досліди й визначаються відгуки системи  $\hat{Y}$ .

Під  $\hat{Y}$  мається на увазі середнє значення декількох визначень якої-небудь властивості системи, наприклад, межі міцності при стиску.

Для трикомпонентної системи модель другого порядку буде мати вигляд:

$$\hat{Y} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3, \quad (2.5)$$

$$\text{де } \beta_1 = Y_1; \beta_2 = Y_2; \beta_3 = Y_3$$

$$\beta_{12} = 4Y_{12} - 2Y_1 - 2Y_2$$

$$\beta_{13} = 4Y_{13} - 2Y_1 - 2Y_3$$

$$\beta_{23} = 4Y_{23} - 2Y_2 - 2Y_3$$

Неповно-кубічна модель 3-х компонентної суміші описується поліномом 3-го ступеню:

$$\hat{Y} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_2 X_3 X_3, \quad (2.6)$$

де  $\beta_{123} = 27Y_{123} - 12(Y_{12} + Y_{13} + Y_{23}) + 3(Y_1 + Y_2 + Y_3)$ .

Обчисливши значення  $Y$  в кожній точці моделі, при якому-небудь фіксованому кроці компонентів  $X_1, X_2, X_3$  від 0 до 1, можна побудувати контурні криві поверхні відгуку.

Одержання апроксимуючої моделі різних порядків може бути використане для прогнозування відгуків у будь-якій точці симплекса. Точність прогнозування відгуку якою-небудь фіксованою моделлю різна в різних точках симплекса, і крім координат точки залежить від експериментальної ситуації (дисперсії досліду, кількості паралельних спостережень у вузлах симплексних решіток).

Число коефіцієнтів наведеного полінома точно відповідає числу точок симплексних ґрат, для перевірки отриманої математичної моделі на адекватність відображення експериментальних результатів проводилися додаткові перевіірочні досліди. Адекватність у перевіірочних точках перевірялася за критерієм Ст'юдента:

$$t = \frac{\left(\bar{Y} - \hat{Y}\right) \cdot \sqrt{r}}{\sigma\{Y\} \cdot \sqrt{1 + \xi}}, \quad (2.7)$$

де  $t$  – критерій Ст'юдента;

$\bar{Y}$  – середньоарифметичне значення експериментальних результатів у перевіірочній точці;

$\hat{Y}$  – розрахункове значення в перевірочній точці;  
 $r$  – число паралельних дослідів;  
 $\xi$  – величина дисперсії пророкування властивості, береться по контурній карті, наведеній в [67];  
 $\sigma\{Y\}$  – середньоквадратична помилка:

$$\sigma\{Y\} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y})^2}{r-1}} . \quad (2.8)$$

При експериментальних значеннях менше табличних, що залежать від числа ступенів свободи  $f$  і від рівня значимості (звичайно  $\alpha = 0,95$ ), модель другого порядку є адекватною.

Якщо модель адекватно описує систему, то за обчисленими значеннями будуються контурні криві властивості  $\hat{Y}$ . Отримані криві успішно можуть бути застосовані не тільки для вибору складу суміші, що дає потрібну міцність, але й для розв'язку зворотного завдання – пророкування міцності для сумішей певного складу.

При математичній обробці результатів експерименту, застосовувався метод кореляційного аналізу [68], який вивчає усереднений закон поведінки кожної з величини, а також міру залежності між розглянутими величинами. Зіставляючи кожному значенню однієї величини середнє з відповідних значень іншої величини, одержують функцію регресії, яка зображується графічно лінією регресії. Міра залежності між величинами характеризується коефіцієнтом кореляції.

Коефіцієнт кореляції  $\chi$  між випадковими величинами  $x$  і  $y$  – це математичне очікування добутку їх нормованих відхилень

$$\chi = M\left(\frac{x-a}{\sigma_x} \cdot \frac{y-b}{\sigma_y}\right), \quad (2.9)$$

де  $a=Mx$  і  $b=My$  – центри розподілу величин  $x$  і  $y$ ;

$\sigma_x$  і  $\sigma_y$  – їхні дисперсії.

Коефіцієнт кореляції змінюється від -1 до +1. при прямій лінійній залежності, тобто коли зі зростанням значень  $x_i$  збільшуються значення  $y_i$ ,  $\chi_{xy} = +1$ . При зворотній лінійній залежності, тобто коли зі зростанням значень  $x_i$ , значення  $y_i$ , зменшуються  $\chi_{xy} = 0$ .

Для експериментального вивчення залежності між 2 величинами  $x$  і  $y$  робили деяку кількість дослідів  $n$  незалежних випробувань. Тобто результати  $i$ -го випробування дають парі значень  $x_i$  і  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). За цими значеннями визначалися точкові оцінки, як середніх значень, так і коефіцієнта кореляції.

Усі отримані експериментальні дані для кореляційного аналізу були оброблені пакетом "Microsoft Office Excel".

### РОЗДІЛ 3

## ТВЕРДІННЯ КОНЦЕНТРОВАНОЇ ЦЕМЕНТНОЇ СУСПЕНЗІЇ, АКТИВОВАНОЇ РОЗЧИНОМ ГІДРОКСИДУ КАЛЬЦІЮ І ОБРОБЛЕНОЮ В ЗМІННОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

### 3.1 Дослідження впливу параметрів електромагнітного поля на активацію концентрованої цементної суспензії, що твердіє

Великий вплив на властивості бетонів виявляє міцність цементного каменю. Цементний камінь формується в результаті фізико-хімічних процесів описаних раніше, при замішуванні цементу водою. Вода значно впливає на структуру цементного каменю, а отже і його властивості. Відомо кілька напрямків керування формуванням структури й властивостей цементного каменю: механохімічною активацією, модифікацією різними добавками, армуванням волокнами, введенням мікронаповнювачів типу мікрокремнезему, у тому числі й електромагнітною активацією води замішування цементу. Вище викладено вплив електромагнітного поля на властивості води і процеси твердіння цементної суспензії. При обробці в електромагнітному полі відбувається руйнування асоціатів і мікроагрегатів води, а також її дисоціація і утворення іонів у результаті чого вільні молекули води здобувають більшу рухливість і легше проникають через зовнішній шар поверхні зерен цементу, що підвищує розчинність і ступінь гідратації в'язучого.

Упорядкування або розупорядкування структури води під дією фізико-хімічних факторів - температури, тиску, введення електролітів, часток мінеральних домішок, магнітних, електричних полів при деформуванні системи приводить до нерівноважного стану й зміни її властивостей як розчинника, хімічного й структуроутворюючого компонента.

Водопідготовка, яка направлено змінює властивості води, є потужним



чинником у керуванні технологічним процесом. Інтенсивність процесів взаємодії води з поверхнею в'язучих залежить від енергії міжмолекулярних зв'язків у структурі води, від інтенсивності руху молекул і іонів води. Вплив електромагнітного поля на воду приводить до зниження рівня міжмолекулярних і хімічних зв'язків і, в остаточному підсумку, до її дисоціації на іони. Взаємодія дисоційованої води з поверхнею в'язучої речовини приводить до хемосорбції іонів  $H^+$  і  $OH^-$ , і інших іонів на поверхні силікатів і алюмосилікатів кальцію з наступним їхнім розчиненням та диспергацією.

Більш істотні ефекти можуть бути отримані при обробці не тільки води замішування, але й концентрованої цементної суспензії в цілому. В. І. Міненко відзначає "... при впливі електромагнітного поля на концентровану цементну суспензію й бетонну суміш, безсумнівно, відбуваються більш складні явища, ніж при магнітній обробці води" [100].

Зважаючи на те, що час релаксації частково зруйнованої кластерної структури води незначний, а отже, водневі зв'язки швидко відновлюються, обробці в змінному електромагнітному полі піддається не вода, а концентрована цементна суспензія.

Цементна суспензія є дисперсною системою, у якій діелектричні мінеральні компоненти розподілені в провідному дисперсійному середовищі. У концентрованій цементній суспензії на границі фаз виникає подвійний електричний шар. У результаті впливу магнітного поля на електропровідне середовище змінюється розподіл щільності електронних хмар іонів і відбувається поляризація електронних хмар молекул води [100].

При намагнічуванні часток дія сил притягання поширюється на відносно більші відстані й обумовлює виникнення періодичних колоїдних структур при наявності бар'єра відштовхування, одна зі складових якого обумовлена проявом структурних сил відштовхування в прошарках води між гідрофільними поверхнями [119].

З точки зору впливу електромагнітного поля весь процес твердіння системи "цемент-вода" можна розділити на два періоди. У першому періоді - на стадії формування структури - електромагнітне поле впливає на структурні характеристики системи, що визначають розчинність і диспергацію поверхні зерен цементу. У другому періоді - після моменту переходу до стадії зміцнення структури - система вже не є релаксаційно-поляризованою, і вплив електромагнітного поля залишається непомітним. При цьому питома магнітна сприйнятливність, що є мірою зміни намагніченості системи "цемент - вода" під дією поля, залежить від виду цементу (дисперсності, хіміко-мінералогічного складу), води замішування, водоцементного відношення, способу виготовлення й умов твердіння [82], а ступінь впливу поля залежить від магнітофізичних характеристик компонентів цементу [119].

Важливим показником, що визначає якість обробки концентрованої цементної суспензії, є швидкість її руху й час знаходження в електромагнітному полі під певною напруженістю.

При вивченні ступеня впливу необхідно виявити оптимальні співвідношення параметрів, що впливають на концентровану цементну суспензію. Для створення оптимальних умов електромагнітної обробки необхідно визначити оптимальну напруженість електромагнітного поля  $H$ , швидкість проходження концентрованої цементної суспензії  $V$  і час електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії  $t$ . Виявлення оптимальних параметрів обробки цементуючої системи проводились з урахуванням попередніх досліджень. Зміна напруженості змінного електромагнітного поля проводилось в діапазоні 120000-220000 А/м, час обробки 20-40 с з інтервалом 5 с.

Замішування цементу омагніченою водою призводить до значного підвищення міцності цементного каменю. Причому залежність міцності від напруженості поля має екстремальний характер. Збільшення міцності також залежить від швидкості потоку води. Електромагнітна обробка води

замішування помітно прискорює наростання пластичної міцності та твердіння й збільшення кінцевої міцності цементного каменю.

Більш інтенсивне диспергування часток цементу та швидкості гідратації при використанні електромагнітної обробки цементу сприяє одержанню більш щільної структури каменю [169].

Омагнічування води замішування знижає обсяг контракційних і капілярних пор і водопроникність і підвищує щільність і морозостійкість гідротехнічного бетону [181].

У значній мірі електромагнітна обробка впливає на процеси, пов'язані з фазовими перетвореннями (розчиненням, кристалізацією і т.д.).

Результати дослідів показують, що в омагніченій воді, порівняно зі звичайною, значно підвищується рН і електропровідність розчинів. Про краще розчинення в омагніченій воді карбонатів кальцію й магнію й інших неорганічних речовин свідчать дані, наведені в роботі [89].

Результатами магнітної обробки є: підвищення швидкості формування кристалів, зменшення їх розмірів і зростання кількості в порівнянні із цими показниками при кристалізації у звичайних умовах [86].

На нашу думку найбільший ефект від електромагнітної обробки може бути досягнутий не від обробки тільки води замішування, а від обробки в змінному електромагнітному полі всієї цементуючої системи. При цьому, впливу змінного електромагнітного поля піддається не тільки вода, але і всі компоненти цементуючої системи.

При визначенні раціональних параметрів електромагнітного поля і часу обробки в ньому концентрованої цементної суспензії на процеси розчинення, диспергації і гідратації оцінювались по зміні рН і питомої електропровідності  $\chi$  протягом першої стадії її твердіння цементуючої системи.

Показники рН визначалися для концентрованої цементної суспензії, підданої обробці в електромагнітному полі впродовж 20-40 с.

Результати зміни рН, що характеризує процеси, що протікають у першій стадії, наведено на рис. 3.1. З графіка випливає, що показники рН змінюються залежно від напруженості електромагнітного поля.

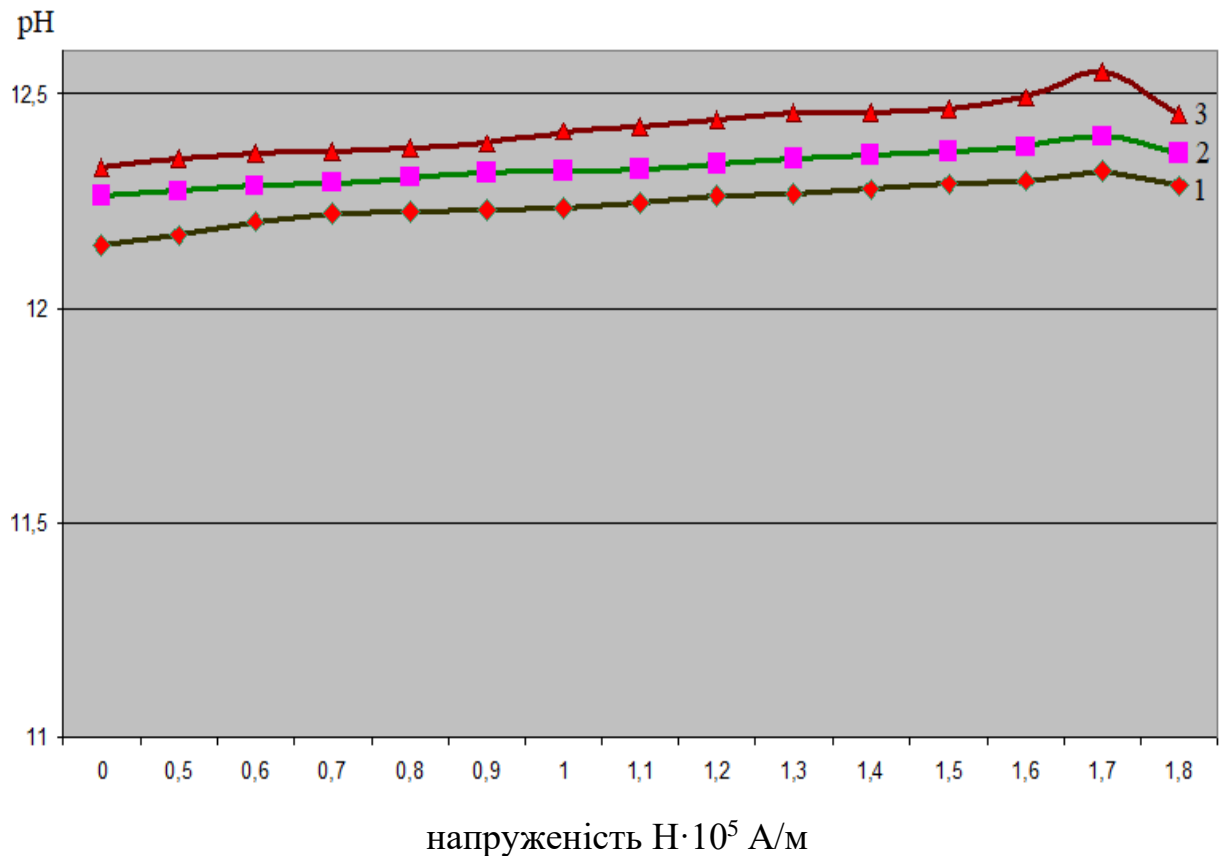


Рисунок 3.1 – Залежність рН цементуючої системи від напруженості електромагнітного поля, цементуюча система, оброблена в змінному електромагнітному полі протягом: 1 – 25 с; 2 – 35 с; 3 – 30 с.

На рис. 3.1 видно, що, максимальний ефект досягається при обробці концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі напруженістю  $H = 1,7 \cdot 10^5$  А/м. Збільшення рН здійснюється за рахунок підвищення концентрації  $\text{OH}^-$  іонів, що утворюються при дисоціації води і за рахунок  $\text{OH}^-$  іонів, що утворюються в результаті протонізації атомів кисню. Тому подальші дослідження проводилися при напруженості:  $H = 1,7 \cdot 10^5$  А/м;  $t = 30$  сек.

### 3.2 Дослідження впливу активації цементу розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і обробкою в змінному електромагнітному полі

Розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  представлено наночастинками  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а рідка фаза насиченим водяним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  у вигляді іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ . Один відсоток вапна для отримання колоїдного розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  прийнято в зв'язку з тим, що розчинення  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  складає 0,17-0,18% і концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  в рідкій фазі при взаємодії іонів з поверхнею зерен шлаку з часом буде зменшуватись. Тому концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  в рідкій фазі деякий час буде підтримуватись за рахунок розчинення наночасток  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  замішували цемент і отриману концентровану суспензію піддавали обробці в змінному електромагнітному полі при його напруженості  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м. протягом 30 секунд.

Дослідження впливу на активацію концентрованої цементної суспензії колоїдного розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і змінного електромагнітного поля оцінювали по зміні рН і електропровідності на ранній першій стадії розчинення, диспергації і гідратації.

Результати досліджень приведені в таблиці 3.1 і на рис. 3.2, 3.3. На рис. 3.2 представлено інтегральні криві зміни рН до початку схоплення, а на рис.3.3 диференціальні зміни рН.

Дослідження проводились на концентрованих суспензіях з водоцементним відношенням рівним 0,5, для оцінки впливу активації цементуючої системи на її розчинення і диспергацію по зміні рН та питомої електропровідності. Приведені на рис. 3.2 графічні залежності свідчать про те, як в неактивованій цементуючій системі, так і в системах активованих розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і додатково обробленою в змінному електромагнітному полі найбільше збільшення рН спостерігається в перші 20 хвилин з моменту активації і більш повільне до моменту схоплювання. Активація цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  знижує час початку схоплювання з 80 хвилин, для неактивованої системи, до 60 хвилин, а комплексна активація доповнена

обробкою в змінному електромагнітному полі до 50 хвилин. Слід зазначити, що активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  збільшує рН на всьому діапазоні часу спостереження і ще більше рН зростає при комплексній активації.

Таблиця 3.1 – Експериментальні значення зміни рН у процесі формування структури цементного каменю.

Неактивована суспензія	рН1	12,56	12,68	12,74	12,78	12,80	12,81	12,815	12,82
Активована суспензія $\text{Ca}(\text{OH})_2$	рН2	12,64	12,8	12,87	12,91	12,94	12,96		
Суспензія з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активована в ЕМП	рН3	12,7	12,89	12,96	13,00	13,03	13,05		
t, хв		0	10	20	30	40	50	60	70

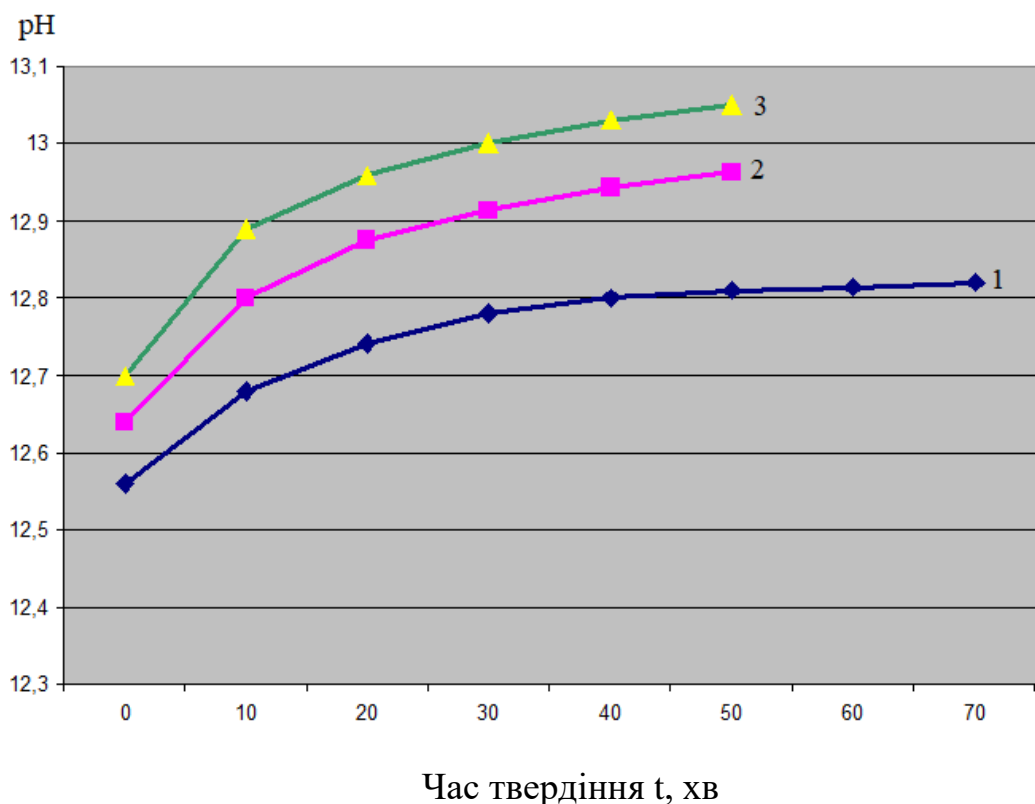


Рисунок 3.2 – Кінетика величини рН в залежності від активації цементної системи: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – цементуюча система, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – концентрована цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і додатково оброблена в змінному електромагнітному полі.

Більша кількість гідратованих часток різного рівня в одиниці об'єму приводить до більш інтенсивної коагуляції й формуванню зв'язнодисперсної системи, у якій вони зв'язані Ван дер Ваальсовими силами й водневими зв'язками, а також утворенню і кристалізації гідросульфоалюмінатів кальцію,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  розташованих як на поверхні, так і між гідратованими зернами цементу.

Ще більш наочна інформація про зміну рН протягом 30 хвилин з моменту замішування цементу водою і розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  представлена на рис. 3.3.

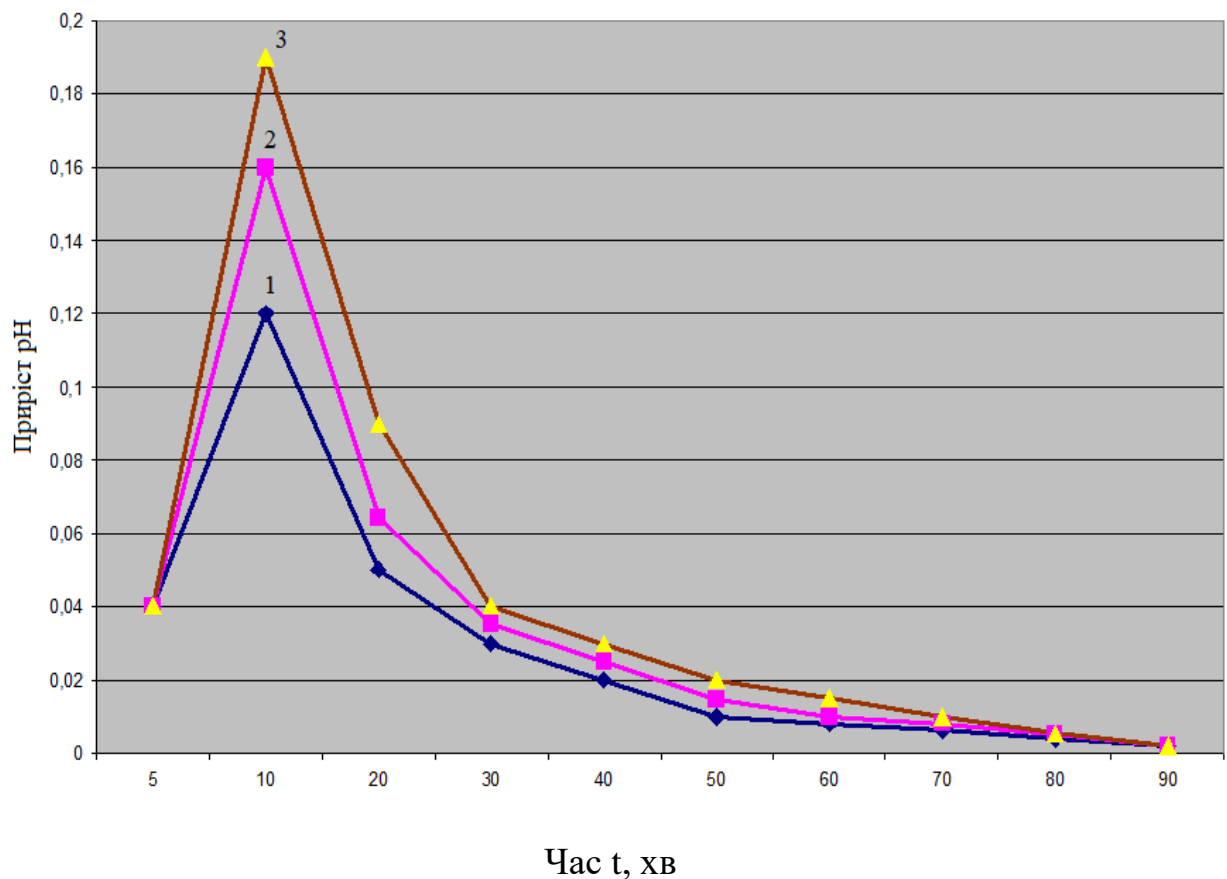


Рисунок 3.3 – Кінетика зміни величини рН в залежності від активзації цементу: 1 – цемент замішаний звичайною водою; 2 – цемент замішаний колоїдним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – цемент замішаний розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і активований у змінному електромагнітному полі.

На рис. 3.3 видно, що найбільш інтенсивно рН збільшується в перші 30 хвилин після замішування цементу рідиною і збільшується в ряді:

- замішування цементу водою;
- замішування цементу колоїдним розчином, що містить 1%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- замішування цементу колоїдним розчином, що містить 1%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі.

Збільшення рН свідчить про підвищення ступеня розчинності, диспергації і гідратації мінералів поверхневого шару часток клінкеру і шлаку.

Вище приведено характер активації розчинення, диспергації, гідратації і колоїдації цементуючої системи, що підтверджує результати досліджень електропровідності тверднучих цементуючих систем, що приведені в табл.3.2 і рис. 3.4.

Таблиця 3.2 – Зміна електропровідності  $\chi$  цементної суспензії із плином гідратації

Неактивована цементна система	$\chi \cdot 10^3$ $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	4,4	5,17	5,66	5,92	6,053	6,2	6,5	6,52
Концентрована цементна суспензія активована $\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\chi \cdot 10^3$ $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	4,73	5,45	5,94	6,2	6,26	6,31	6,33	6,35
Концентрована цементна суспензія, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$ активована в змінному е.м.п.	$\chi \cdot 10^3$ $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	5	5,787	6,17	6,40	6,435	6,48	6,25	6,28
Час гідратації t, хв		0	60	120	180	270	300	330	360

Слід відмітити, що зміна електропровідності має коливальний характер, але на кривих рисунка 3.4 приведені середні показники результату вимірювання.



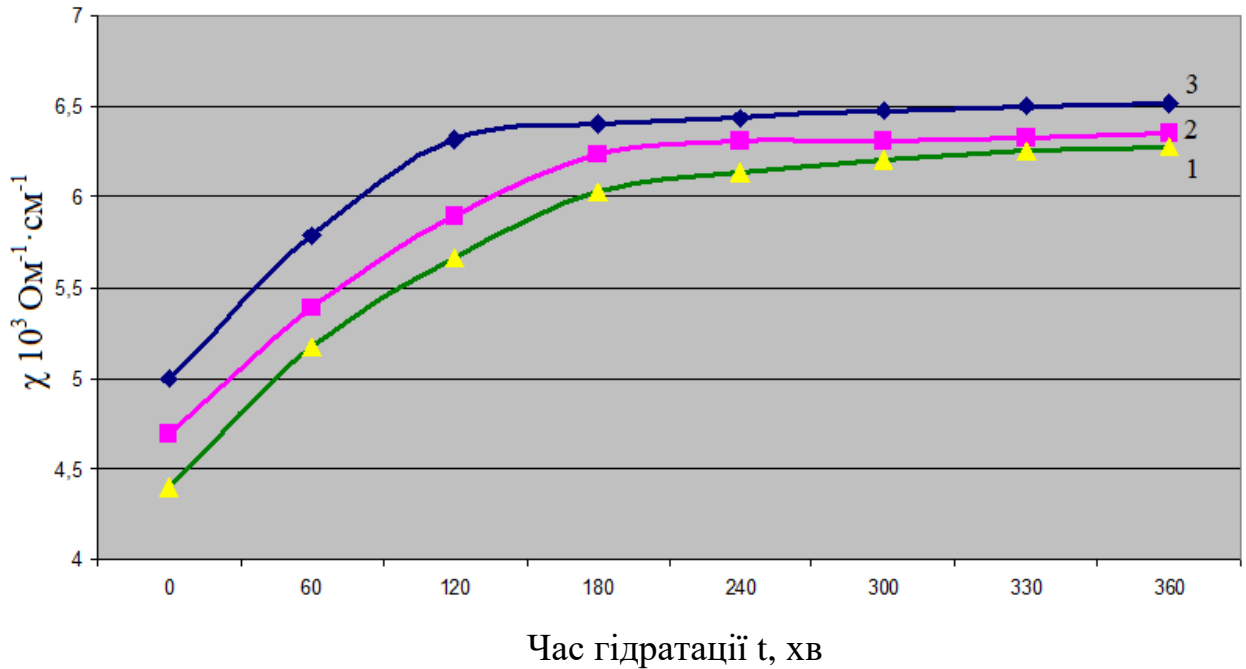


Рисунок 3.4 – Крива зміни електропровідності  $\chi$  у процесі формування структури цементуючої системи: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – концентрована цементна суспензія, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і додатково оброблена в змінному електромагнітному полі.

Через 210 хвилин з моменту замішування цементу на кривих електропровідності (рис 3.4, табл. 3.2) спостерігається різкий перелом кривої 1. Швидкість розчинення впала до рівня швидкості викристалізування.

На приведених кривих електропровідності рис. 3.4 видно, що найбільша електропровідність концентрованої цементної суспензії активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  досягається через 180 хв, а додатково оброблена в змінному електромагнітному полі досягається через 150 хвилин з моменту замішування.

При цьому швидкість відводу речовини з розчину настільки мала, що з надлишком перебивається швидкістю розчинення. По мірі виділення новоутворень і осідання їх на поверхні вихідних часток цементу, подальше розчинення в'язучого вповільнюється.

Це свідчить про насичення рідкої фази розчиненою речовиною і продуктами гідратації. З ростом концентрації при пересиченнях, з розчину починають виділятися зародки гідратних новоутворень.

На концентрованій цементній суспензії обробленій в електромагнітному полі (рис. 3.4, крива 3) початковий процес розчинення йде значно інтенсивніше. Прискорення процесу насичення рідкої фази в воді обробленій в електромагнітному полі пояснюється, очевидно, зниженням енергетичного бар'єру, розчиненню за рахунок деструктування води електромагнітним полем і підвищенням її адсорбційної здатності.

Перелом кривої росту електропровідності спостерігається на 30 хв. раніше, ніж у контрольній суспензії, і при значно більших перенасиченнях. Очевидно, процес утворення зародкових кристалів твердої фази в концентрованій цементній суспензії активованої  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в електромагнітному полі, починається значно раніше, ніж у звичайній, але довго не виявляється внаслідок більш високої швидкості розчинення, яка перекриває швидкість викристалізування.

Прискорення процесу розчинення в'язучого в концентрованій цементній суспензії обробленій в електромагнітному полі пояснюється, очевидно, не тільки перерахованими вище причинами, але ще й тим, що викристалізування цементних новоутворень відбувається не тільки на поверхні зерен цементу, але й в об'ємі розчину, внаслідок утворення в ньому додаткових центрів кристалізації. У результаті цього, ріст і ущільнення захисних гідратних оболонок на зернах вихідного в'язучого, уповільнюється й ослабляється їх гальмуюча дія процесу розчинення.

Однак, після перелому кривих електропровідність зростає вже повільніше, ніж спочатку. Це свідчить про зростаючу швидкість викристалізування твердої фази.

Рівномірне наростання електропровідності в суспензії на воді обробленій в електромагнітному полі свідчить про те, що виділення твердої фази йде безпосередньо в розчині, не покриваючи зерна вихідного в'язучого.

Зниженням гальмуючого дії гідратних плівок новоутворень на цементних зернах пояснюється також більш високий рівень перенасичення, що досягається в суспензії активованій  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в змінному електромагнітному полі, і деяке збільшення сумарної швидкості реакції.

### 3.3 Дослідження впливу активації цементуючої системи на її пластичну міцність

Обробка концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі, особливо великий вплив, виявляє на процес коагуляційного структуроутворення в другій стадії. Її тривалість скорочується за рахунок більш швидкого структуроутворення в концентрованій цементній суспензії активованій  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в електромагнітному полі.

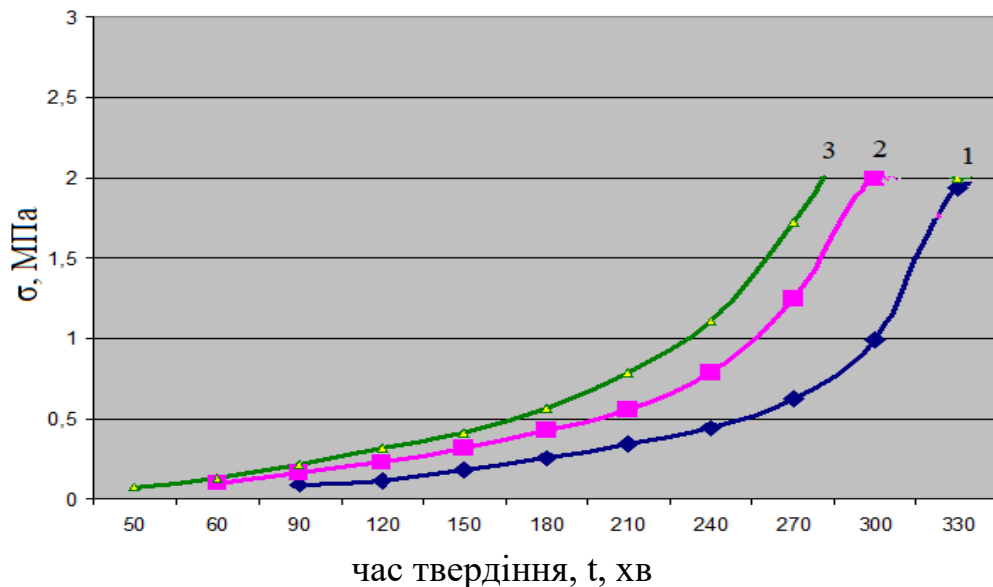


Рисунок 3.5 – Крива кінетики процесу структуроутворення  $\sigma$  (МПа) цементуючої системи протягом 5,5 годин: 1 – неактивована цементна система; 2 – концентрована цементна суспензія активована  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – концентрована цементна суспензія, що містить  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активована в змінному електромагнітному полі.

При змішуванні зерен цементу з водою за рахунок іонів, що утворюються при дисоціації води відбувається диспергація, а потім і гідратація поверхні силікатів і алюмінатів кальцію. Утворюються гідросилікати, які вступають через присутні на поверхні зерен цементу прошарки дисперсійного середовища в коагуляційні контакти за рахунок дії Ван дер Ваальсових сил. Більша швидкість структуроутворення в концентрованій суспензії активованій  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і додатково обробленій в змінному електромагнітному полі свідчить про утворення більшої кількості гідросилікатів. В концентрованій цементній суспензії активованій  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і додатково обробленій в змінному електромагнітному полі збільшує кількість активних центрів кристалізації. Для виникаючих гідросилікатів такими центрами є присутні у концентрованій цементній суспензії наночастки гідроксидів кальцію.

На початку другої стадії високоосновні гідросилікати й аморфний гідроокис кальцію покривають плівкою не прореаговані зерна трикальцієвого силікату і загальмовують подальшу гідратацію. Виниклі коагуляційні контакти нестабільні, активні центри змінюються в процесі гідратації, що приводить до утворення нових контактів і порушенню існуючих. Крім того, високоосновні гідрати переходять у вторинні, метастабільні, у результаті чого також ліквідуються раніше утворені контакти й виникають нові.

Деструкції в другій стадії спостерігаються не тільки на її початку, але й пізніше, так як вищезгадані явища відбуваються тривалий час. Крім того, на величині деструкції може позначатися й розрив гідратних плівок або їх відторгнення від не гідратованих зерен. Вторинна деструкція, мабуть, пов'язана з переходом високоосновного гідрату у вторинний, метастабільний з більшою питомою поверхнею [45, 89]. У результаті переходу, коагуляційна структура, що утворилася перетерплює значні зміни внаслідок зміни поверхневої енергії часток, що вступають у контакти. Після деструкції виникають нові, очевидно, більш міцні контакти, оскільки вторинний гідрат значно активніше первинного (вибіркове утворення контактів) [45, 89]. Виявляється також і збільшення кількості контактів по зародках вторинного

гідрату, що утворюються до цього часу. Вторинна деструкція також у кілька разів більше в дисперсіях на воді обробленій в електромагнітному полі і настає значно раніше.

Однак до кінця другої стадії переважає все ще коагуляційна структура.

Третя стадія, як і у випадку цементно-водних дисперсій, характеризується інтенсивним зростанням  $\sigma$ , який можна пояснити утворенням хімічних зв'язків між волокнами гідросилікатів кальцію в місцях контакту. Такі зв'язки можуть виникати за допомогою іонів кальцію або водневих зв'язків, а також, можливо, шляхом конденсації поверхневих кінцевих груп  $\text{Si}(\text{OH})_4$  з утворенням силосанових зв'язків [1, 86]. Крім того, зміцненню виникаючого просторового каркасу конденсаційно-кристалізаційної структури сприяють, також випадаючі із пересиченого розчину кристалики, що зростаються  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Вторинні метастабільні гідрати характеризуються низьким відношенням  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  і високою питомою поверхнею, що дає можливість припустити, що вони складаються з листочків товщиною в один і два молекулярні шари [43, 139, 155].

Вторинні гідрати, поглинаючи іони  $\text{Ca}^{2+}$  з розчину, утворюють стабільні гідросилікати кальцію, кількість яких наростає в часі. Цей процес супроводжується конденсацією гідросилікатів [43, 139, 155], що також підсилює процес структуроутворення. До кінця захоплення закінчується формування просторового каркаса конденсаційно-кристалізаційної структури, що на кривій кінетики процесу структуроутворення відзначається швидким збільшенням пластичної міцності. Цей момент настає трохи раніше для суспензій активованих  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і додатково обробленій в електромагнітному полі.

Далі створений просторовий каркас обростає новими гідратами, заповнюється гелевидними продуктами й кристалами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що забезпечує основний ріст міцності. Як видно з наведених даних, зміни, що пройшли в другій стадії, позначаються потім у період кристалізаційного

структурування і розчинення частини нерівноважних контактів у результаті змін умов перенасичення.

Зменшення деструктивних явищ на четвертій стадії, при застосуванні концентрованої цементної суспензії обробленої в змінному електромагнітному полі, більш яскраво виражене при реакції трикальцієвого алюмінату, який у процесі гідратації утворює просторову структуру, що швидко зміцнюється з перевагою кристалізаційних контактів. Внаслідок переходу метастабільних гідратних фаз у стабільні, росту окремих кристалів, розчинення дрібних кристалів і зростків, а також розвитку кристалізаційного тиску. Після застосування концентрованої цементної суспензії обробленої в електромагнітному полі кількість і величина деструкції різко зменшується.

Деструкція, що спостерігається, у зразках на концентрованій цементній суспензії свідчить про процеси росту, що безупинно відбуваються, перекристалізації й розчинення, які, імовірно, і пояснюють різні результати випробувань затверділих зразків на міцність.

Тривалість першої стадії, пов'язана з виникненням гексагональних метастабільних гідратів колоїдного ступеня дисперсності й утворенням просторового каркасу коагуляційної структури, протікає дуже швидко – близько десяти хвилин. Тривалість другої стадії визначається спадом  $\sigma$  протягом 1 – 2 хв: у результаті швидкого росту кристалів гідроалюмінатів кальцію практично відразу ж після коагуляції розвивається кристалізаційна структура в результаті безпосереднього зрощення кристалів і утворення зростків кристаликів гексагональних гідроалюмінатів.

Швидкий ріст величини  $\sigma$  у третій стадії закінчується через 1 год 10 хв – 1 год 20 хв, після чого починаються деструктивні явища четвертої стадії, описані вище. Слід зазначити, що в процесі реакції трикальцієвого алюмінату, де продуктами гідратації є, в основному, кристалічні з'єднання, величини  $\sigma$  у третій стадії вище для дисперсії на воді обробленій в електромагнітному полі, ніж на звичайній. Останнє свідчить про більшу швидкість утворення кристалізаційних контактів, що може бути викликане спрямованим ростом

кристалів у результаті орієнтуючої дії електромагнітного поля на центри кристалізації. Міцність затверділого матеріалу із  $C_3A$  незначна, тоді як зразки  $C_4AF$  відрізняються досить високою міцністю, і зміцнення їх відбувається в часі дуже різко.

Порівняння експериментальних даних (рис. 3.5) показує, що вода, оброблена в електромагнітному полі, впливає на процес структуроутворення трикальцієвого силікату. У дисперсій трикальцієвого алюмінату цей вплив на перших стадіях структуроутворення незначний, а при формуванні просторового каркасу кристалізаційної структури внаслідок більших деструктивних явищ зразки, отримані на обробленій концентрованій цементній суспензії, дають більші розбіжності у величинах міцності.

Найбільший вплив концентрованої цементної суспензії обробленої в електромагнітному полі на процес структуроутворення трикальцієвого силікату можна пояснити, виходячи з уявлень про дію електромагнітного поля на концентровану цементну суспензію замішування, який полягає в збільшенні кількості центрів кристалізації в результаті орієнтуючої дії, електромагнітного поля на іони розчинених у воді речовин.

Додаткові активні центри зародків новоутворень приводять до росту їх кількості й дисперсності. Чотирьохкальцієвому алюмофериту (як і трикальцієвому алюмінату) властива яскраво виражена залежність наростання міцності гідратаційних структур твердіння і її кінцевого значення від дисперсності новоутворень, причому підвищення міцності відбувається через максимум. При подальшому прискоренні кристалізації кристалики зменшуються, крім того, дуже швидкий процес супроводжується збільшенням пористості [1, 43, 47]. Міцність затверділих в'язучих речовин тем вище, чим більше число кристалізаційних агрегатів в одиниці об'єму твердого тіла і чим менше число кристаликів в одному агрегаті [47]. Додаткові центри кристалізації в швидкотвердіючому чотирьохкальцієвому алюмофериті, безумовно, викликають утворення більшої кількості кристаликів в одному агрегаті, що в остаточному підсумку приводить до незначного збільшення

міцності. Згідно з уявленнями Т. К. Пауерса [120], міцність окремих кристаликів, що перебувають в одному агрегаті, обернено пропорційна довжині окремих кристаликів. Можна припустити, що при обробці дисперсії в електромагнітному полі відбувається спрямований ріст кристалів, що збільшує довжину окремих кристаликів.

У трикальцієвому силікаті, де тривалий час існує значна частина гелеподібної маси, кристалізаційний тиск незначний, просторова структура має еластичність і певною пластичністю, тому додаткові центри кристалізації сприятливо впливають на міцність затверділого матеріалу. Крім того солі кальцію, що перебувають у водопровідній воді, а також введений водяний розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  сприяють збільшенню дисперсності новоутворень у процесі гідратації трикальцієвого силікату [45].

Особливості структуроутворення водних дисперсій мінеральних в'язючих речовин, приготовлених на концентрованій цементній суспензії обробленій в електромагнітному полі, дозволяють судити про кінцеву міцність затверділих зразків, а саме: приріст міцності в результаті застосування концентрованої цементної суспензії обробленої в електромагнітному полі найбільший для трикальцієвого силікату [186].

При твердінні концентрованої цементної суспензії, у ній протікають складні фізико-хімічні процеси, що приводять її до каменеvidного стану. Процес твердіння концентрованої цементної суспензії включає розчинення й диспергацію поверхні зерен цементу, гідратацію мінералів цементу й формування, спочатку, коагуляційної структури, наступну конденсацію й кристалізацію. Процес розчинення супроводжує і гідроліз мінералів цементного клінкера. В результаті розчинення в рідкій фазі присутні іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  [66, 88].

При цьому в остаточному підсумку формується капілярно-пориста структура цементного каменю, відповідальна за його властивості. Керування структурою цементного каменю здійснюють різними технологічними



прийомами, що впливають на різні стадії твердіння концентрованої цементної суспензії [49].

### 3.4 Дослідження активації цементуючої системи на її міцність

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. Результати досліджень приведені на рис. 3.6. 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 П/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.

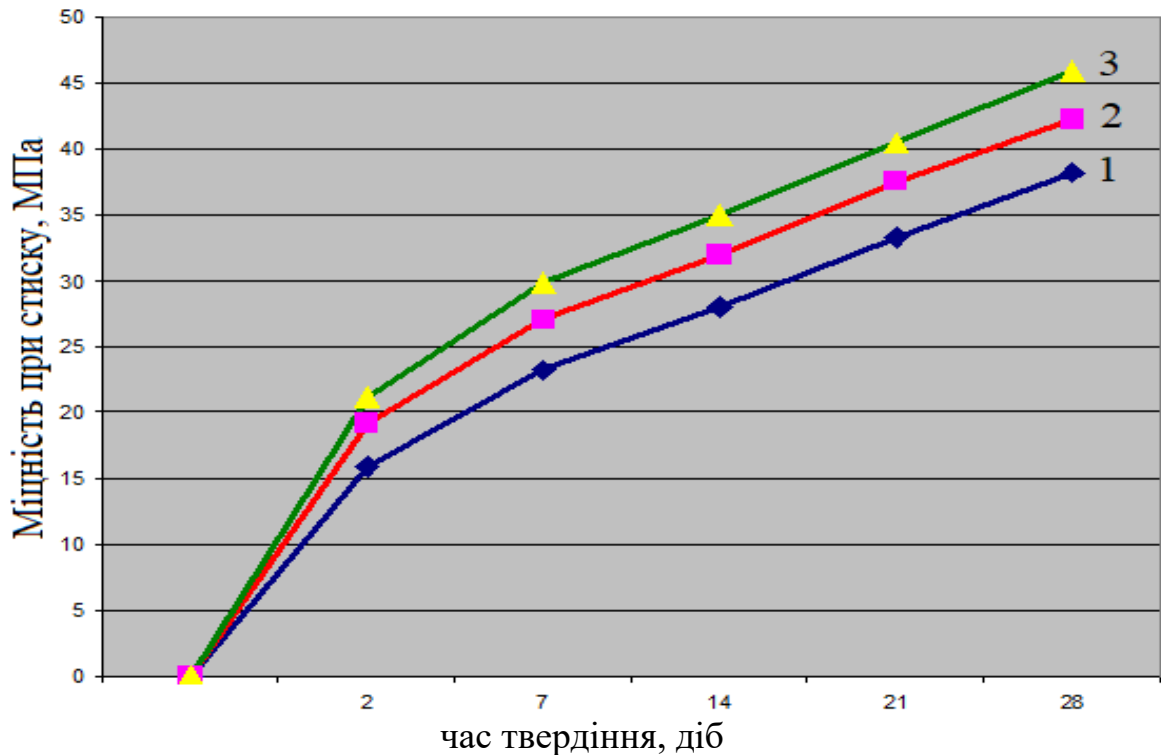


Рисунок 3.6 – Вплив активації концентрованої цементуючої системи на її міцність в залежності від часу твердіння: 1 – неактивована цементуюча система; 2 – цементуюча система, активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – цементуюча система, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активована в змінному електромагнітному полі.

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 рисунку 3.7, 3.8.

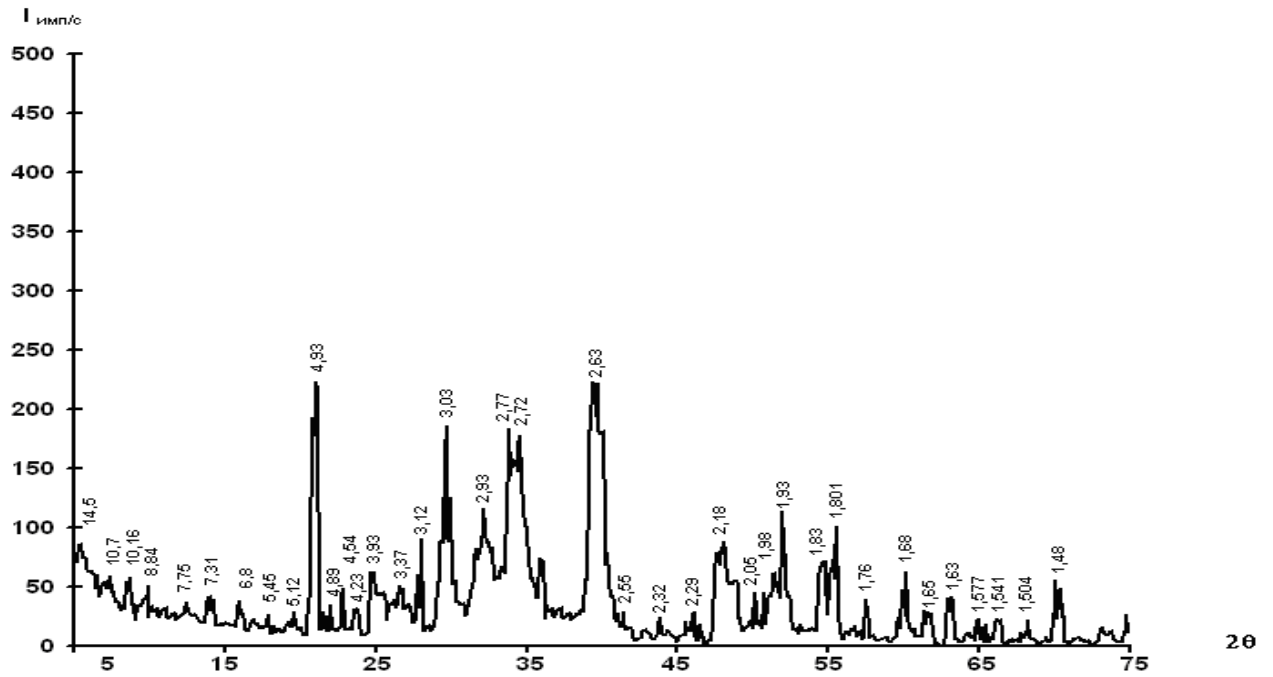


Рисунок 3.7 – Дифрактограми зразків цементного каменю – контрольного, отриманого замішуванням цементу водою.

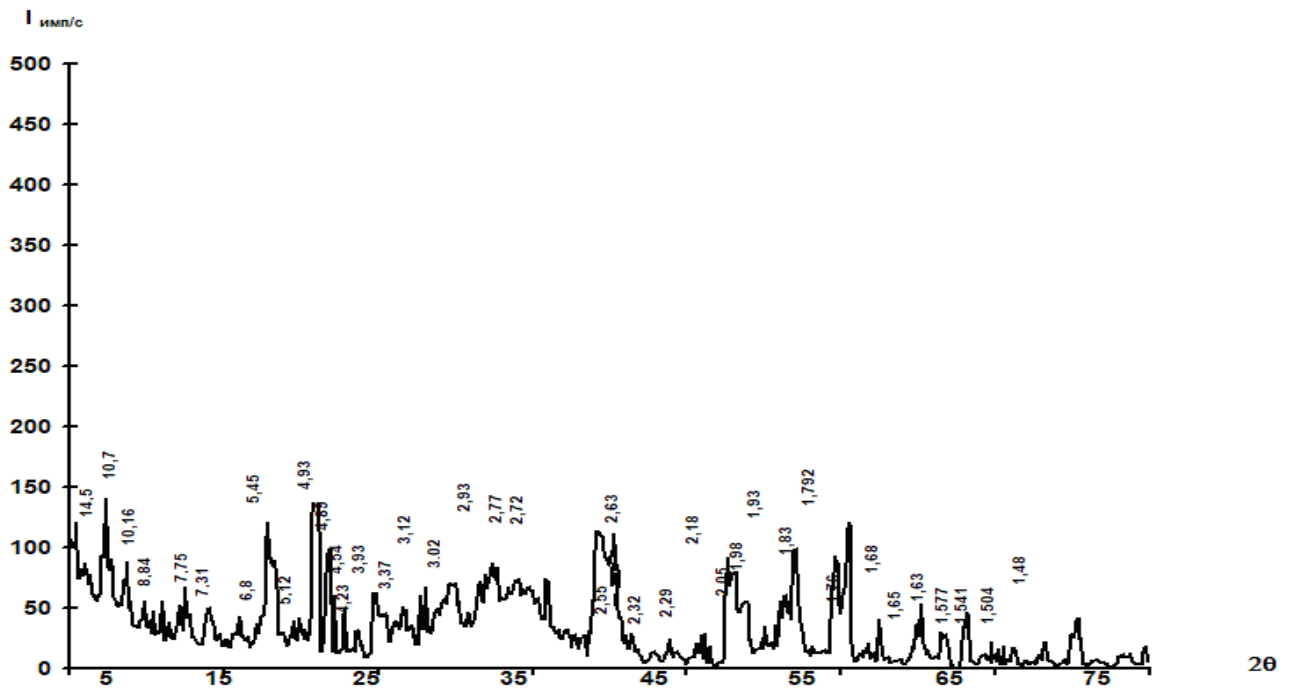


Рисунок 3.8 – Дифрактограми зразків цементного каменю – активованого, отриманого замішуванням цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в електромагнітному полі.

На дифрактограмах видно, що дифракційні максимуми, що відносяться до  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , (0,493; 0,263; 0,93; 0,79 нм) менше у зразків отриманих

замішуванням цементу насиченим водяним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з подальшою обробкою в електромагнітному полі, ніж у контрольних зразків, і максимумами, що 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 цементного каменю і менше нерозчинного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

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

Результати диференційно-термічного аналізу в'язучих представлені на рис. 3.9, рис. 3.10. Вони дають можливість побачити підвищення ступеня гідратації в'язучого обробленого в електромагнітному полі.

Термічному аналізу піддавалися порошкоподібні проби зразків висушених при 100 °С.

Як видно з рис. 3.9, рис. 3.10 при нагріванні в'язучого в інтервалі 100...300 °С відбувається видалення адсорбційної вологи, вологи з коагуляційних контактів, що видно по втраті маси на кривій TG.

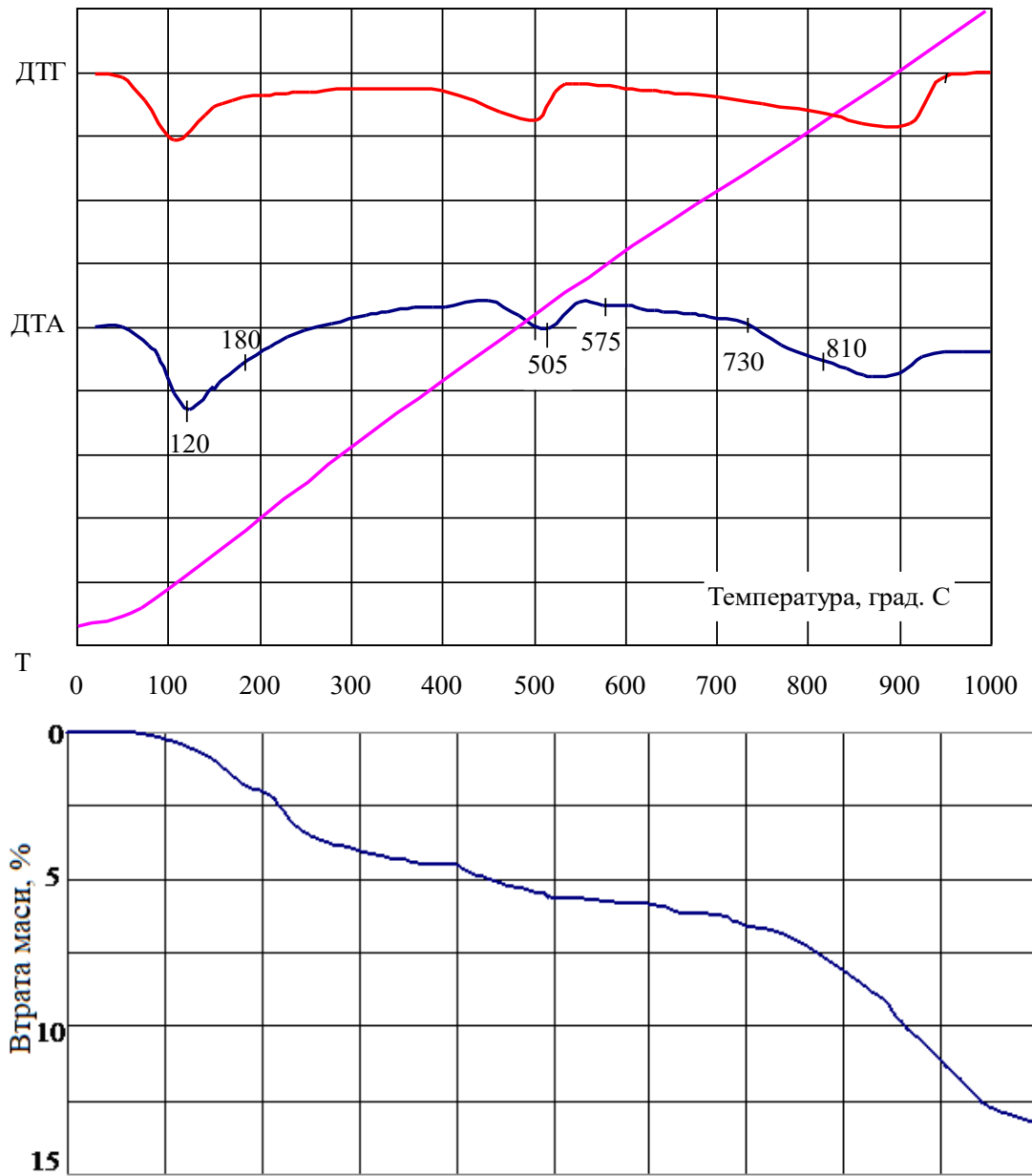


Рисунок 3.9 – Дериватограма в'яжучого контрольного зразка на основі портландцементу.

Втрата маси при прожарюванні складає 13,1 %

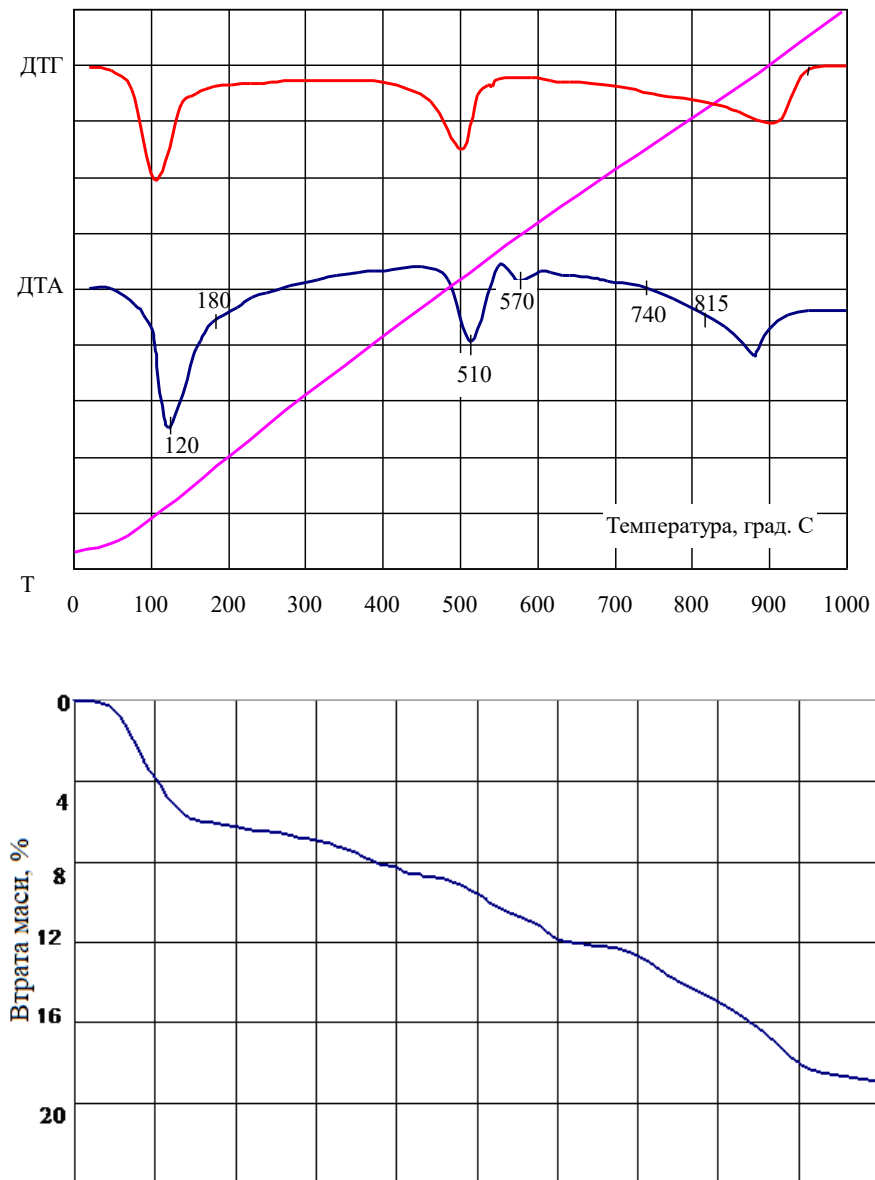


Рисунок 3.10 – Дериватограма в'яжучого замішаного на обробленій в електромагнітному полі концентрованої цементній суспензії.

Втрата маси при прожарюванні складає 19,3 %

При цьому загальні втрати маси в результаті прожарювання навіски склали 19,3 % у порівнянні з таким же значенням 13,1 % для контрольних зразків, що показує більшу ступінь гідrataції цементної складової.

### 3.5 Усадочні деформації при твердінні цементуючої системи

Процес твердіння цементуючої системи супроводжується змінами об'єму, що призводять до усадки. Усадка є одним з основних показників якості цементуючої системи і бетону одночасно з міцністю і морозостійкістю.

Величина усадки при твердінні залежить від мінералогічного складу цементу, його питомої поверхні, водоцементного відношення, умов твердіння, наявності в складі різноманітних добавок і корелюється з величиною контракції цементу. При підвищенні водоцементного відношення і дисперсності цементу значно зростають деформації при твердінні.

Усадка цементного каменю зазвичай коливається в межах 3-5 мм/м, цементних розчинів від 0,6 до 1,4 мм/м, важких бетонів 0,3-0,5 мм/м. Основна частина усадочних деформацій припадає на перші 3-4 місяці твердіння [122]. Визначення усадки цементуючих систем при твердінні проводилось на зразках-балочках з розмірами 2x2x8 см, що тверділи в нормальних умовах. Зразки контрольного складу виготовлялись з портландцементу ПЦШ/Б-Ш замішаного водою.

Результати визначення характеру розвитку деформацій цементуючих систем представлені на рис. 3.11.

Із рис. 3.11 видно, що активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  знижує усадку в 7 добовому віці на 43 %, а в 28 добовому віці на 20 %. Ще більшому зниженню усадки при твердінні цементуючої системи сприяє сумісна активація розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі. При цьому усадка у віці 7 діб складає 50 %, а у віці 28 діб 25 % в порівнянні з контрольними зразками.

Зменшення усадки при твердінні цементуючої системи може призвести до зниження рівня виникаючих в ній і бетоні локальних напружень, що являються початковою причиною утворення тріщин.

Цементуючі системи, що характеризуються пониженою усадкою необхідні для бетонів, що використовуються в монолітному будівництві.

Зниження усадки цементуючої системи в результаті її комплексної активації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі ймовірно зв'язано з більшою контракційною усадкою за рахунок розчинення і диспергації зерен цементу в початковий період твердіння і меншою вологісною усадкою, за рахунок утворення більш щільної структури в першому періоді.

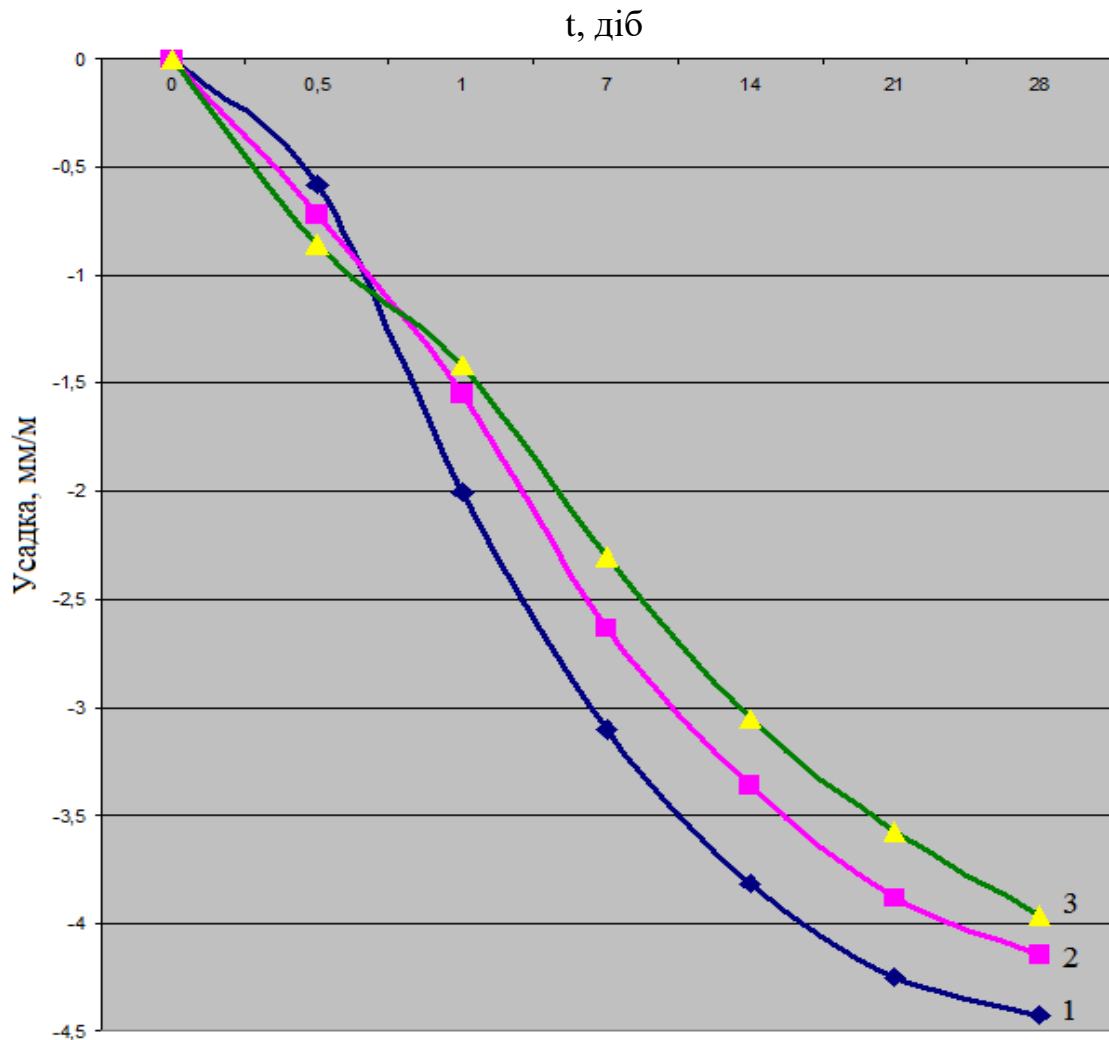


Рисунок 3.11 – Усадка цементуючих систем при їх твердінні: 1 – усадка контрольного зразка; 2 – усадка цементу активованого колоїдним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 - усадка цементу з сумісною активацією колоїдним розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі.



### Висновки до розділу 3

1. Виявлено, що при замішуванні цементу з водою вона хемосорбується на поверхні в'язучого в вигляді іонів  $H^+$  і  $OH^-$  з подальшим частковим її розчиненням, диспергацією і гідратацією.

2. Дослідним шляхом визначено, що зміна структури води при обробці концентрованої цементної суспензії в змінному електромагнітному полі викликає більш інтенсивну її дисоціацію з утворенням більшої кількості іонів  $H^+$  і  $OH^-$ , збільшенню їх рухомості, а отже більш глибокому проникненню в поверхневий шар зерен цементу, більшої його диспергації і розчинення з подальшою гідратацією мінералів цементу.

3. Встановлено раціональні параметри електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії, які складають: напруженість електромагнітного поля  $H = 1,7 \cdot 10^5$  А/м; час електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії  $t = 30$  с при  $V/C=0,5$ .

4. Виявлено, що приріст рН при оптимальних параметрах електромагнітної обробки збільшується на 58 %, за рахунок підвищення концентрації  $OH^-$ , в результаті дисоціації води і протонізації атомів кисню.

5. Встановлено, що в ранньому віці міцність цементного каменю підвищується на 35,8 %, з 14,8 до 20,1 МПа, активованого розчином  $Ca(OH)_2$  обробленого в змінному електромагнітному полі, а в віці 28 діб – на 20,1 %, з 38,2 до 45,9 МПа при активації цементуючої системи розчином  $Ca(OH)_2$ , і подальшою обробкою в змінному електромагнітному полі.

6. Встановлено, що у віці 2-х діб міцність цементуючої системи при активації  $Ca(OH)_2$  підвищується на 14,3 %, з 14,6 до 16,7 МПа, а при комплексній активації  $Ca(OH)_2$  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  $Ca(OH)_2$ , і на 20,3 %, з 38,3 до

46 МПа при комплексній активації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі.

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

8. Активація цементу розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  знижає усадку в 7 добовому віці на 43 %, а в 28 добовому віці на 20 %. Ще більшому зниженню усадки при твердінні цементуючої системи сприяє сумісна активація розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі. При цьому усадка у віці 7 діб складає 50 %, а у віці 28 діб 25 % в порівнянні з контрольними зразками.

9. Фізико-хімічними методами дослідження встановлено, що обробка цементної суспензії, 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 збільшенню гідросилікатів кальцію, як в ранньому, так і в нормативному віці (низькоосновних і високоосновних).

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ ОТРИМАНИХ НА КОНЦЕНТРОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СУСПЕНЗІЇ, ОБРОБЛЕНІЙ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

#### 4.1 Дослідження впливу зернового складу щебеню і заповнювача на їх міжзернову пористість

Одним з напрямків підвищення якості бетону є зниження складу в ньому цементної матриці. Зниження складу цементної матриці в бетоні призводить до підвищення його міцності, морозостійкості, корозійній стійкості, водонепроникності, зниження усадки і водопоглинення.

На склад цементної матриці в бетоні значний вплив надає гранулометричний склад заповнювачів. Застосування двофракційних заповнювачів не завжди вирішує задачу зниження їх між зернової пористості. Міжзернова пористість може бути знижена при використанні декількох фракцій щебеню, як мінімум трьох, з формою зерен близькою до кубічної. У зв'язку з цим при проектуванні складів бетону був прийнятий три фракційний склад щебеню, що включає фракції 10-20, 5-10 і 2,5-5. Мінімізація його пористості проводилась по найбільшій насипній щільності з використанням математичного методу планування експерименту на симплексі, а саме, симплекс - гратчастого методу. Нижче наведені результати дослідження залежності міцності вмісту компонентів за допомогою симплекс - гратчастих планів, що забезпечують рівномірний розподіл експериментальних точок по симплексу.

Математична модель неповних кубічних грат описується формулами (2.6) і (2.7). Вихідними даними були прийняті: фракція щебеню 10-20 мас. % –

X1, фракція щебеню 5-10 мас. % – X2, фракція щебеню 2,5-5 мас. % – X3.

У якості вихідного параметра розглядалася межа міцності при стиску після електромагнітної обробки, так як при такій обробці відбувається посилення адгезійних властивостей матеріалу і структура досягає найбільшого ущільнення. Матриця планування й результати експерименту наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Матриця планування і вихідні параметри щебенів

№ складу	Вміст компонентів у кодованому масштабі			Натуральний вміст компонентів, мас. % X			Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> Y
				X1 (10-20)	X2 (5-10)	X3 (висівка)	
1	1	0	0	70	25	5	1400
2	0	1	0	55	40	5	1355,8
3	0	0	1	55,0	25	20	1500
4	0,5	0,5	0	62,5	32,5	5	1390,5
5	0,5	0	0,5	62,5	25	12,5	1447,5
6	0	0,5	0,5	55	32,5	12,5	1452,5
Перевірка	0,333	0,333	0,333	60	30	10	1439,5

У кожній точці плану було проведено по 6 вимірів, середні значення яких записані в табл. 4.1. Границі варіювання фракцій щебенів були встановлені на підставі попередніх експериментів.

За даними таблиці 4.1. згідно з формулами (2.7) розраховувалися коефіцієнти впливу  $\beta_i$  й  $\beta_{ij}$ :

$$\beta_1 = R_1 = 1400; \beta_2 = R_2 = 1355,8; \beta_3 = R_3 = 1500;$$

$$\beta_{12} = 4 \cdot R_{12-2} \cdot R_{1-2} \cdot R_2 = 4 \cdot 1390,5 - 2 \cdot 1400 - 2 \cdot 1355,8 = 50,4 \quad (4.1)$$

$$\beta_{13} = 4 \cdot R_{13-2} \cdot R_{1-2} \cdot R_3 = 4 \cdot 1447,5 - 2 \cdot 1400 - 2 \cdot 1500 = -10$$

$$\beta_{23} = 4 \cdot R_{23-2} \cdot R_{2-2} \cdot R_3 = 4 \cdot 1452,5 - 2 \cdot 1355,8 - 2 \cdot 1500 = 98,4$$

Підставляючи розраховані коефіцієнти у формули 4.1, одержимо математичну модель щільності упакування щебеню, що має наступний вигляд:

$$\rho = 1400 \cdot X_1 + 1355,8 \cdot X_2 + 1500 \cdot X_3 + 50,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - 10 \cdot X_1 \cdot X_3 + 98,4 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (4.2)$$

З метою перевірки адекватності отриманої моделі було реалізовано 6 паралельних дослідів у перевіірочній точці, розташованій в центрі симплекса. Для перевіірочної точки обчислювали математичне очікування параметра виходу, як різниця між розрахунковим і експериментальним значенням.

$$\alpha R = (R_{\text{експ}} - R_{\text{розн}}), \quad (4.3)$$

де  $R_{\text{експ}}$  – експериментальне значення;

$R_{\text{розн}}$  – чисельне значення функції;

$\alpha$  – математичне очікування або нормальна випадкова величина.

$$\alpha R = (R_{\text{експ}} - R_{\text{розн}}) = 1439,5 - 1432,57 = 6,93$$

Перевіряємо адекватність моделі за критерієм Ст'юдента згідно формули (2.9).

$$t = \frac{(R_p - R_{\text{э}}) \cdot \sqrt{r}}{\sigma \cdot \{Y\} \cdot \sqrt{1 + \xi}} = 1,94,$$

де  $r$  – число паралельних дослідів

$\xi$  - величина, узята з контурної карти й рівна для перевіірочної точки 0,6;

$\sigma \cdot \{Y\}$  - помилка досліду.

Так як експериментальні значення t-критерію менше табличних при 5 % рівні значимості ( $t_{\text{табл}} = 2,447$ ), то отримана модель адекватна.

По даній моделі розрахована й побудована діаграма залежності насипної щільності суміші фракцій щебенів від їхнього вмісту. (рис. 4.1). З діаграми видно, що найбільш ефективний діапазон вмісту фракцій щебеню лежить в області: фракція 10-20 – 55-58 %; фракція 5-10 – 25-28 %; фракція 2,5-5 – 17-20 %.

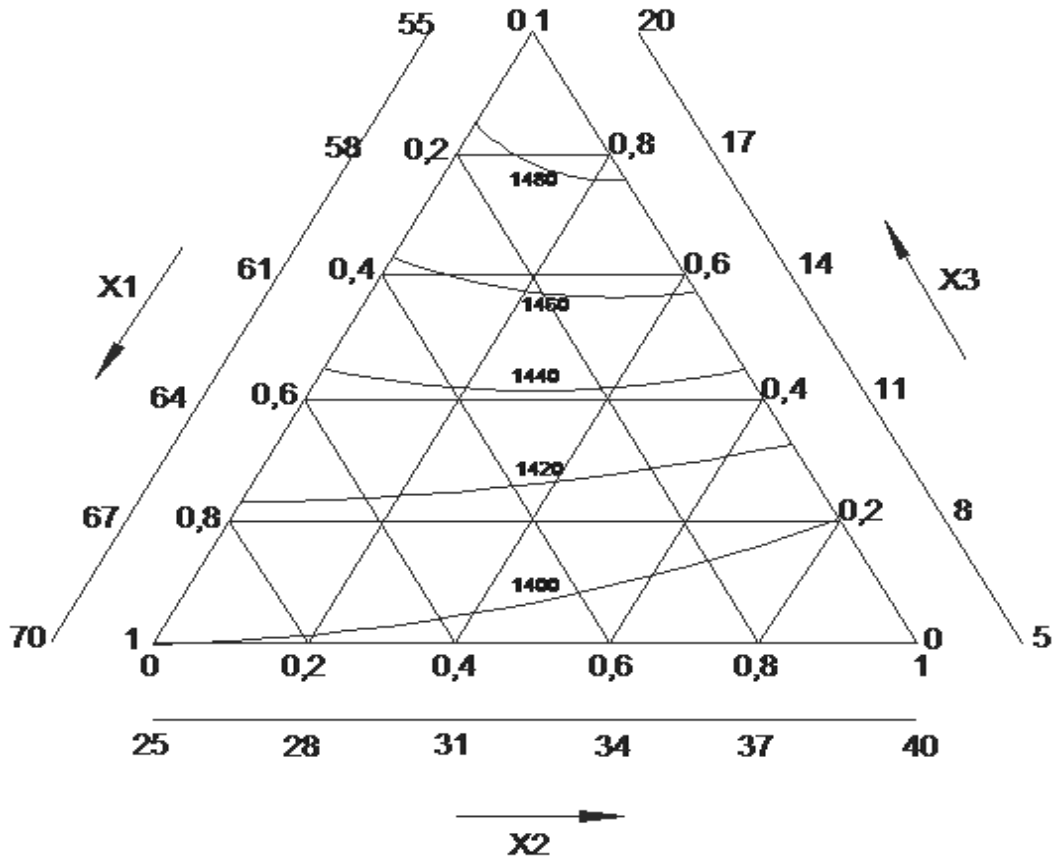


Рисунок 4.1 – Склад-насипна щільність щебеню

В результаті проведених досліджень був прийнятий слідуєчий гранулометричний склад щебеню. Вміст фракцій (10-20) - 55 %; фракція (5-10) - 25 %; фракція (2,5-5) - 20 %, при цьому пустотність складає 43 %.

Цей гранулометричний склад щебеню був прийнятий при проектуванні складів бетонів на активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи з наступною її обробкою в змінному електромагнітному полі.

Далі проводилося дослідження впливу вмісту піску в піщано-щебеновій суміші на її насипну щільність для визначення його раціонального вмісту.

Дослідження впливу зернового вмісту піску на об'ємно-насіпну щільність не проводилася, та як для застосовуваного річкового піску вона практично не змінювалася і рівна  $1550 \text{ кг/м}^3$ .

Вплив вмісту піску на щільність піщано-щебеневої суміші наведено на рис. 4.2 з якого видно, що раціональний вміст річкового піску в піщано-щебеновій суміші становить 36%. Збільшення вмісту піску з 25 до 36 % веде до підвищення щільності з 1755 до 1845, тобто збільшення вмісту піску на 5,1 % збільшує щільність на  $90 \text{ кг/м}^3$ , а збільшення вмісту піску більше 36 % також на 5 % збільшує всього лише щільність на  $10 \text{ кг/м}^3$ . Звідси випливає, що оптимальний вміст піску, що приводить до підвищення щільності приводить до зниження порожнинності.

Оптимальний склад дрібного заповнювача Дніпровського піску також визначався по найбільшій щільності і склав 36 % рис. 4.2.

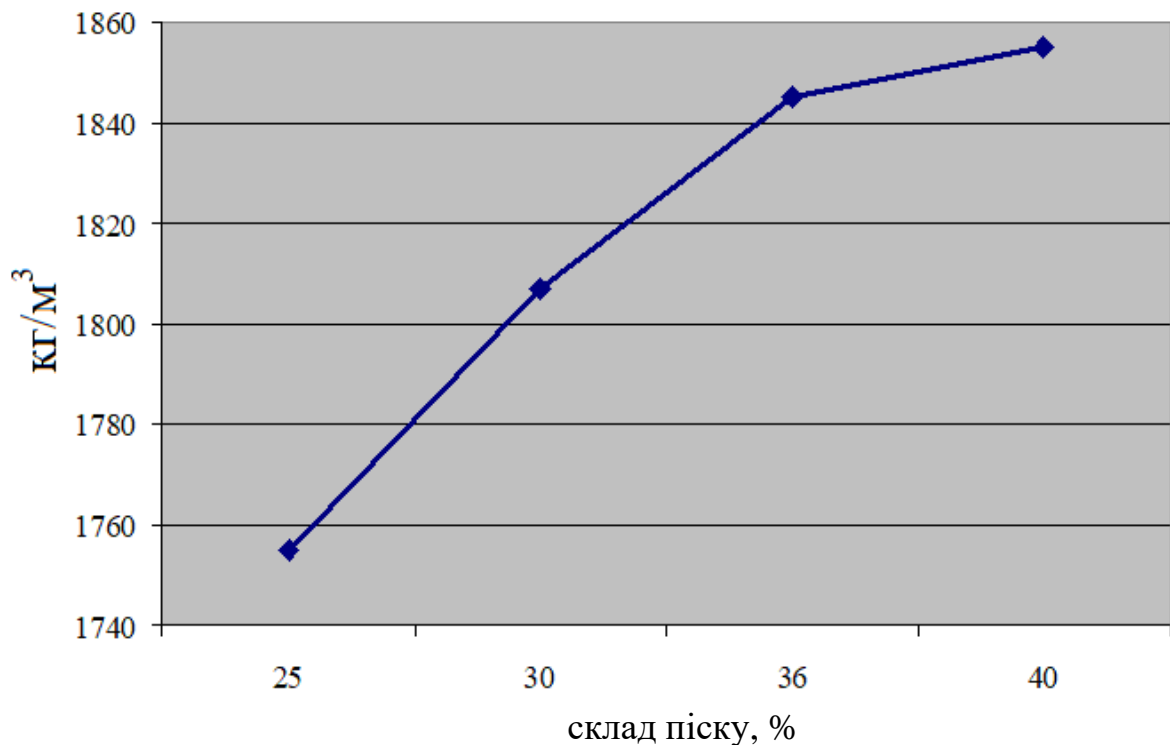


Рисунок 4.2 – Вплив вмісту піску на насипну щільність заповнювачів

Далі проводимо підбір складу бетону для найбільш затребуваного в будівництві класу С20/25 та С25/30 при найбільш застосовуваній рухливості бетонної суміші S4, наведений у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Склад бетонної суміші

Клас бетону	Цемент	Пісок	Вода	Щебінь	Щільність
Базовий	454	570	235	1180	2439
C20/25S4	350	670	200	1175	2395
C25/30S4	415	640	200	1145	2400

Наведені розрахунки складу бетону і випробування зразків (табл. 4.2, рис. 4.3) на їхній основі показали, що витрата цементу в складі бетонної суміші на концентрованій цементній суспензії активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в електромагнітному полі більш економічний і склав 26 % для бетонної суміші C20/25 з рухливістю S4 і 11% для бетонної суміші C25/30 з рухливістю S4.

#### **4.2 Дослідження впливу на міцність бетону комплексної активації цементуючої системи розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , з обробкою в змінному електромагнітному полі, і введенні в бетонну суміш пластифікатора**

Експлуатаційні властивості бетону визначаються його оптимальною структурою, яка багато в чому залежить від технології його виготовлення. Отримання бетону оптимальної структури, що забезпечує його довговічність закладається в рівномірному розподілу по об'єму заповнювачів і безперервного прошарку цементуючої системи (матриці), при мінімально можливому водоцементному відношенні.

При цьому, як відмічалось вище, необхідною умовою є щільна упаковка зерен заповнювач, яка в даній роботі забезпечується в щебені вмістом фракцій в кількості: 2,5-5 – 20 %, 5-10 – 25 % і 10-20 – 55 %, а піску в загальному об'ємі заповнювачів 36 %. Одним з основних факторів, що впливають на експлуатаційні властивості бетонів є властивості контактів (їх тип) між мікро- та наночастинками цементуючої системи і характер її пористості, а також контакти між цементуючою системою і заповнювачами.



Зміна властивостей контактів цементуючої системи в даній роботі забезпечується її активацією. Необхідна рухомість бетонної суміші для її укладки в опалубку, або форму при мінімальному водоцементному відношенні і зниженні капілярної пористості, забезпечується введенням в бетонну суміш суперпластифікатора СП-3. При цьому суперпластифікатор вводить в попередньо приготовану вологу бетону суміш. Це зв'язано з тим, що вуглеводневі радикали пластифікуючої добавки блокують зерна цементу і шлаку, а також гідратованих наночасток мінералів, в тому числі в контактах, що приводить до зниження міцності контактів в твердій фазі цементуючої системи бетону.

В зв'язку з цим підбір складу бетонів середніх класів по міцності, при дослідженні впливу на їх міцність активації цементуючої системи, проводився розрахунково-експериментальним способом, з наступною перевіркою міцності на отриманих зразках-кубах з ребром 10 см, і приведенням отриманої міцності до міцності зразків стандартного розміру.

В процесі активації розчинення, диспергації і гідратації за рахунок сумісної дії Ларморової прецесії, що призводить до часткової дисоціації молекул води і ослаблення зв'язків -Me-O-, що полегшує їх розрив в більшій кількості в насиченій рідкій фазі  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  у вигляді іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ .

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, приведені на рис. 4.3, для рухомості бетонної суміші S4.

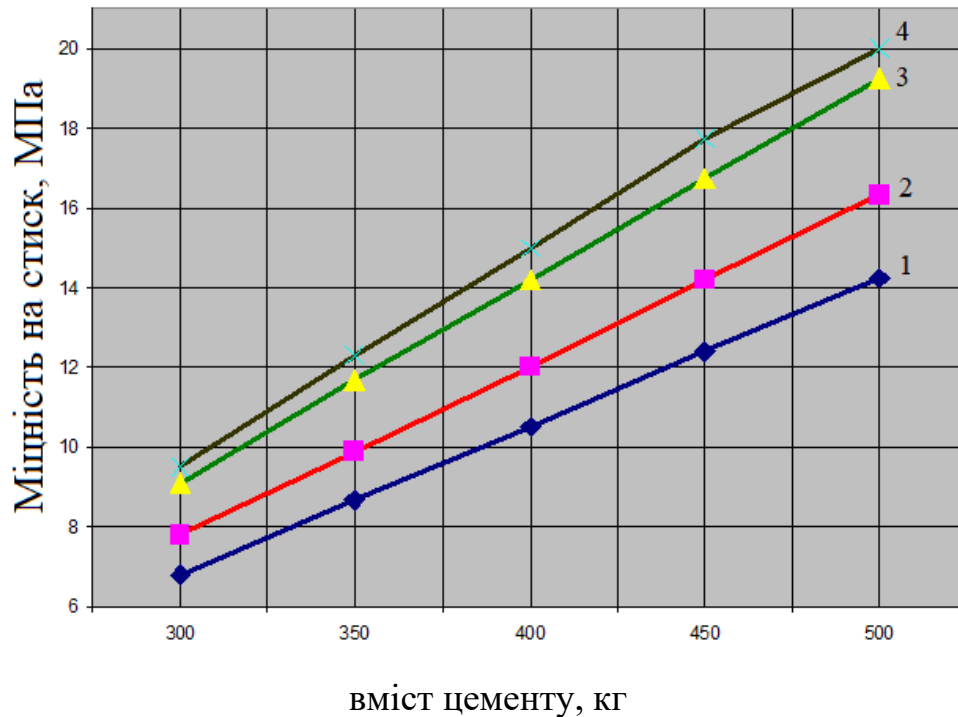


Рисунок 4.3 – Залежність міцності бетону у віці 2 діб від вмісту цементу: 1– бетон із неактивованої цементуючої системи; 2 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи; 3 – бетонна суміш на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 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, рис. 4.3.

При виготовленні залізобетонних конструкцій на будівельному майданчику важливою задачею є збереження рухливості бетонної суміші.

Активация цементующей системы раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 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 схоплювання і живучості бетонної суміші. Одним зі способів збереження рухливості бетонної суміші є введення в неї пластифікуючої добавки, у зв'язку з цим після змішування заповнювачів з цементуючою системою, в вологу бетонну суміш, як відмічалось раніше, 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 і сприяє уповільненню зниження рухливості. Дослідження впливу пластифікуючої добавки СП-3, в кількості 0,5 % від маси цементу, на рухливість бетонної суміші С20/25, С25/30 приведені на рис. 4.4.

Результати досліджень свідчать про те, що рухливість бетонних сумішей з пластифікуючою добавкою СП-3, в кількості 0,5 % від маси цементу знижується повільніше, ніж у бездобавочних, і рухливість бетонних сумішей марки S4 зберігається протягом 2-х годин.

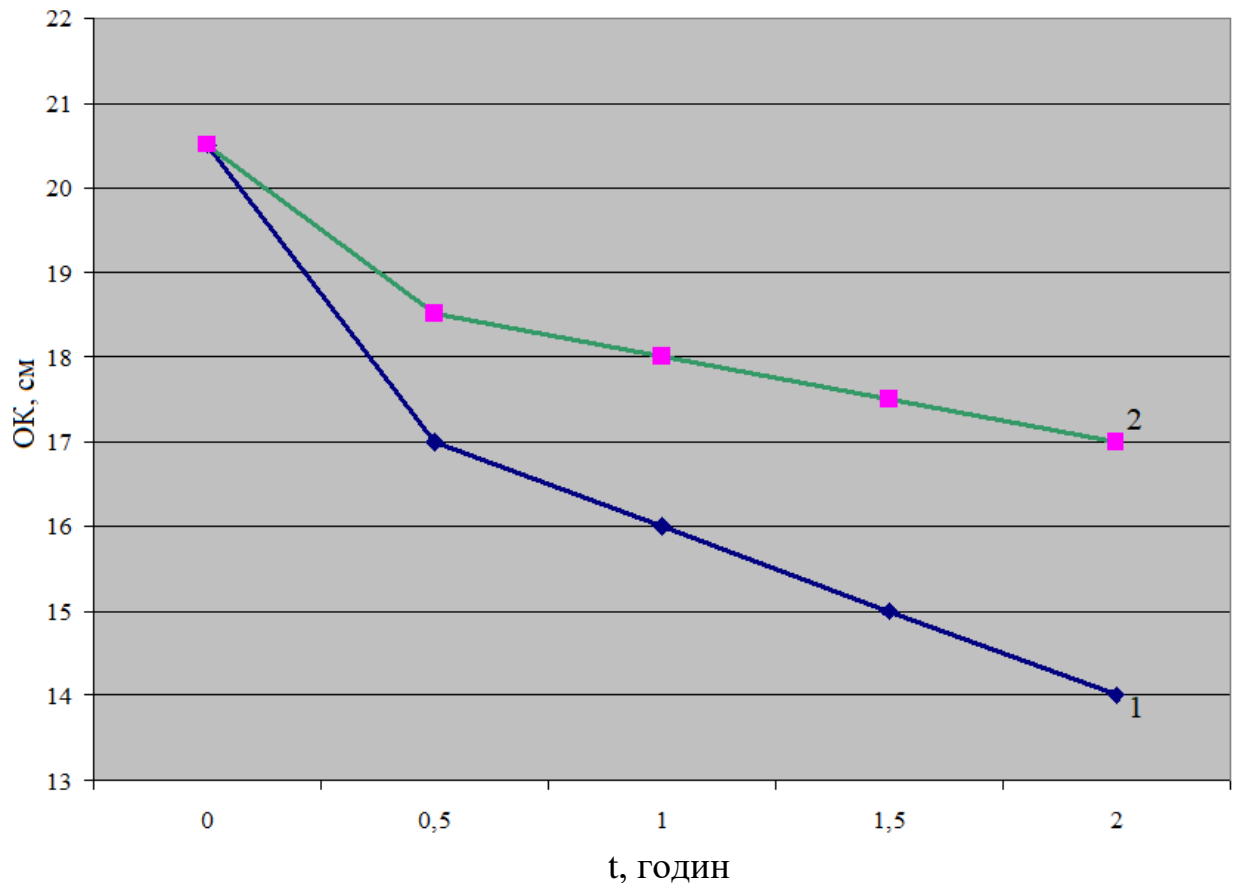


Рисунок 4.4 – Кінетика зміни рухливості бетонної суміші в часі: 1– бетон із неактивованої цементуючої системи; 2- бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи, і введеної в неї 0,5% СП-3.

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. 4.5.

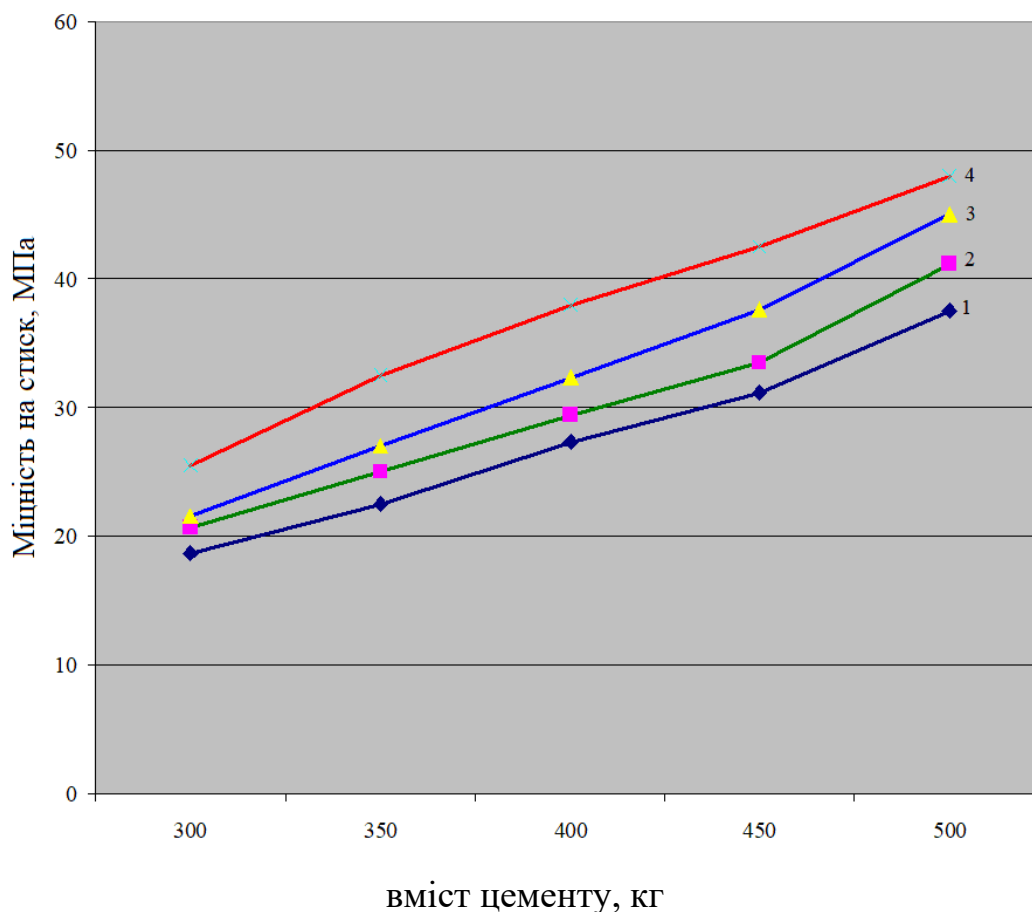


Рисунок 4.5 – Залежність міцності бетону, у віці 28 діб, від вмісту цементу, для рухомості бетонної суміші S4, при активації цементуючої системи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі, з її пластифікацією добавкою СП-3: 1– бетон із неактивованої цементуючої системи; 2 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи; 3 – бетонна суміш на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , обробленій 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.

У віці 28 діб міцність бетону з використанням цементуючої системи активованої  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищується, при вмісті в ньому  $300 \text{ кг/м}^3$  цементу, – на 9,6 %, з 18,7 до 20,5 МПа, а при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$  – на 9,8 %, з 37,5 до 41,2 МПа (рис 4.5).

При використанні цементуючої системи, комплексно активованої  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з обробкою в змінному електромагнітному полі міцність бетону підвищується на 15 %, з 18,7 до 21,5 МПа, при вмісті цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 20 %, з 37,5 до 45 МПа, при вмісті в бетоні  $500 \text{ кг/м}^3$  (рис 4.5).

Введення в бетонну суміш суперпластифікуючої добавки СП-3, в кількості 0,5 % від маси цементу, підвищує міцність бетону у віці 28 діб відповідно на 16,3 %, з 21,5 до 25,0 МПа по відношенню до бетону з використанням комплексно активованої цементуючої системи, при витратах цементу  $300 \text{ кг/м}^3$ , і на 33,6 %, з 18,7 до 25 МПа, по відношенню до бетону на неактивованій цементуючій системі, а при вмісті цементу  $500 \text{ кг/м}^3$  відповідно на 6,7 %, з 45 до 48 МПа, і по відношенню до міцності бетону на неактивованій цементуючій системі на 28 %, з 37,5 до 48 МПа.

Таким чином, проведені дослідження показали можливість підвищення міцності бетону для монолітного будівництва, як в ранньому, так і в нормативному віці при використанні цементу, що містить 65 % клінкеру і 35 % доменного гранульованого шлаку, за рахунок комплексної його активації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробкою в змінному електромагнітному полі з наступною активацією бетонної суміші введенням пластифікуючої добавки.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей пластифікованих бетонів з використанням активованої цементної суспензії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі з її пластифікацією добавкою СП-3 приведені в таблиці 4.3, 4.4.

Таблиця 4.3 – 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 4.4 – 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

### 4.3. Дослідження водопоглинання бетону

Водопоглинання по масі є одним з найважливіших властивостей бетону, від чисельного значення водопоглинання бетону залежать інші

основні фізико-технічні показники, такі, як морозостійкість, корозійна стійкість, деформаційні характеристики.

Водопоглинання характеризує здатність бетону всмоктувати вологу в краплинно-рідкому стані; воно залежить головним чином від характеру пор. Водопоглинання тим більше, чим більше в бетоні капілярних сполучених між собою пор. Максимальне водопоглинання важких бетонів на щільних заповнювачах досягає 4...8 % за масою.

В зв'язку з вищесказаним було проведено експериментальні дослідження по водопоглинанню бетону для монолітного будівництва виготовленого на основі цементуючої системи активованої  $\text{Ca(OH)}_2$  і обробленої в змінному електромагнітному полі. Результати досліджень представлені в табл. 4.5, рис. 4.6.

Таблиця 4.5 – Водопоглинання бетону

№ з/п	Найменування зразка	Кінетика водопоглинання W, %					
		1	7 діб	14	28	56	90
1	Контрольний	2,14	2,21	2,41	2,53	3,72	4,51
2	Бетон на цементуючій системі, активованій розчином $\text{Ca(OH)}_2$	1,59	1,72	2,18	2,45	3,51	4,12
3	Бетон на цементуючій системі, активованій розчином $\text{Ca(OH)}_2$ і оброблений в змінному електромагнітному полі	1,38	1,65	1,89	2,03	3,18	3,79
4	Бетон на цементуючій системі, активованій розчином $\text{Ca(OH)}_2$ і оброблений в змінному електромагнітному полі з СП-3	1,06	1,51	1,74	1,82	2,53	2,95



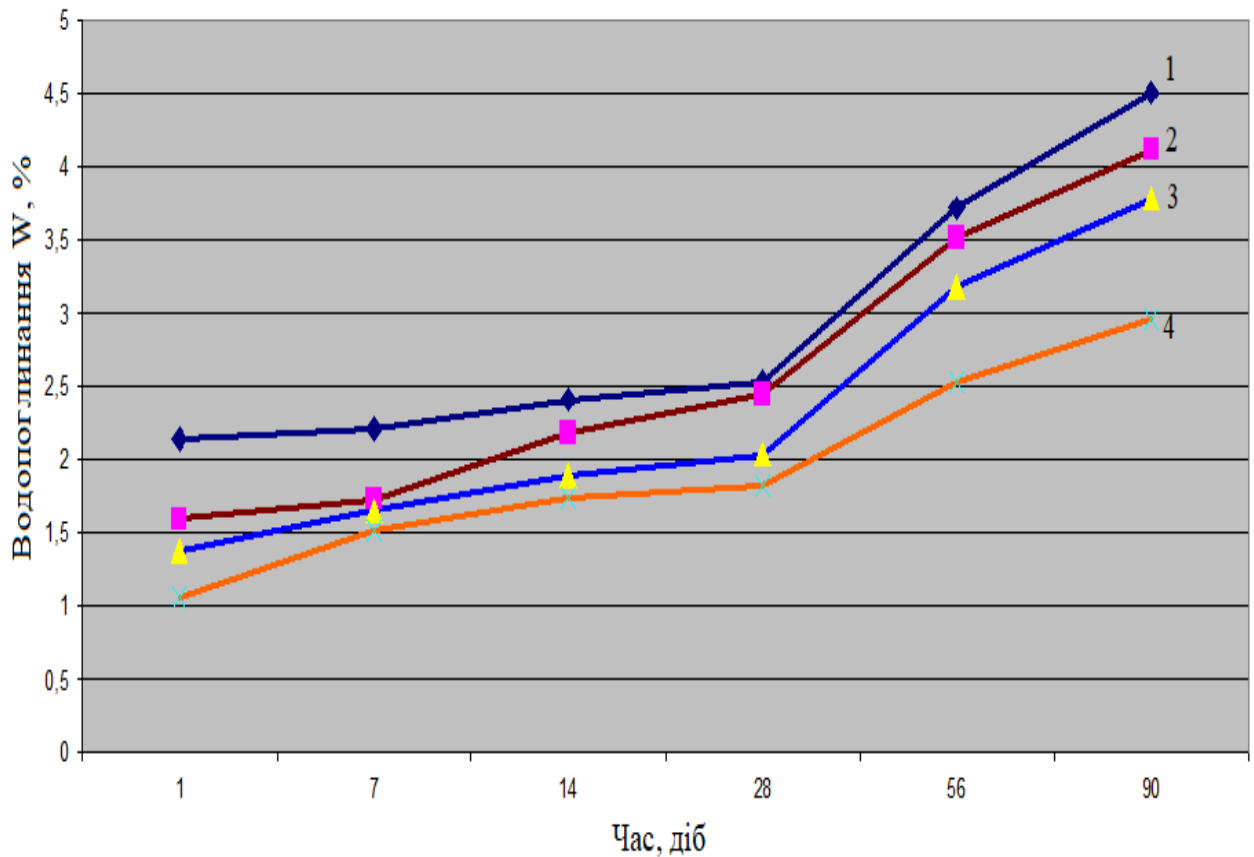


Рисунок 4.6 – Водопоглинання бетону: 1 – бетонна суміш, на неактивованій цементуючій системі; 2 – бетонна суміш, з використанням активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементуючої системи; 3 – бетонна суміш на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , обробленій в 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.

Досить низьке водопоглинання матеріалу зразка №4 пояснюється одержанням більш щільної мікроструктури цементного каменю за рахунок активації цементуючої системи, зниження В/Ц, електромагнітної обробки цементуючої системи, що у свою чергу знижає капілярну пористість і водонасичення та позитивно позначається на строках експлуатації.

#### 4.4. Усадка бетону

Твердіння і висихання цементного каменю супроводжуються усадкою, що виявляється в зменшенні його обсягу. Лінійні розміри зразків з цементного каменю за рік або кілька років зменшуються приблизно на 2 мм/м.

Усадка бетону може виникнути не тільки внаслідок випаровування води зі складу. Чималу роль в даному процесі відіграє дія капілярних сил в структурі цементного каменю. Коли випаровування води відбувається з капілярів, діаметр яких менше 200 нанометрів, вони звужуються, що призводить до ряду наслідків. Одним з них є ущільнення матеріалу, що і викликає усадку бетону. Таким чином, можна відзначити, що волога грає ключову роль в якості причини виникнення даного процесу.

Заповнювачі в бетоні, перешкоджаючи усадочним деформаціям цементного каменю, пручаються їм і в результаті опиняються обтиснутими, тоді як цементний камінь піддається розтягненню.

При стисненні зерен заповнювача їх деформації обернено пропорційні модулю пружності. Так, щільні заповнювачі деформуються менше, так як їх опір силам, що виникають при зменшенні об'єму цементного каменю, більше. Тому усадка важких бетонів на щільних жорстких заповнювачах дає усадку не більше 0,3-0,4 мм/м.

На усадочні деформації бетону впливає не тільки якість, але і склад наповнювачів. Чим більше наповнювачів в бетоні і менше цементного каменю, тим менше усадка. Найбільше насичення об'єму бетону заповнювачем досягається при оптимальному його зерновому складі і найбільшою граничною крупністю. Заповнювачі з переривчастим зерновим складом забезпечують найменшу усадку бетону.

Результати експериментальних досліджень усадки товарного бетону виготовленого на основі концентрованої цементної суспензії активованої

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленої в змінному електромагнітному полі представлені в табл. 4.6, рис. 4.7

Таблиця 4.6 – Усадка бетону

№ з/п	Час, діб	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Найменування зразка	Усадка бетону, мм/м								
1	Контрольний	-0,332	-0,35	-0,356	-0,36	-0,38	-0,387	-0,393	-0,394	-0,4
2	Бетон на цементній суспензії, активованій розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$	-0,325	-0,336	-0,342	-0,355	-0,35	-0,364	-0,369	-0,37	-0,375
3	Бетон на цементній суспензії, активованій розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і оброблений в змінному електромагнітному полі	-0,319	-0,328	-0,336	-0,342	-0,355	-0,357	-0,362	-0,359	-0,369
4	Бетон на цементній суспензії, активованій розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і оброблений в змінному електромагнітному полі з СП-3	-0,315	-0,32	-0,325	-0,33	-0,337	-0,337	-0,339	-0,342	-0,35

Для бетону контрольного зразка виготовленого при  $V/C=0,5$  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 оброблений 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.

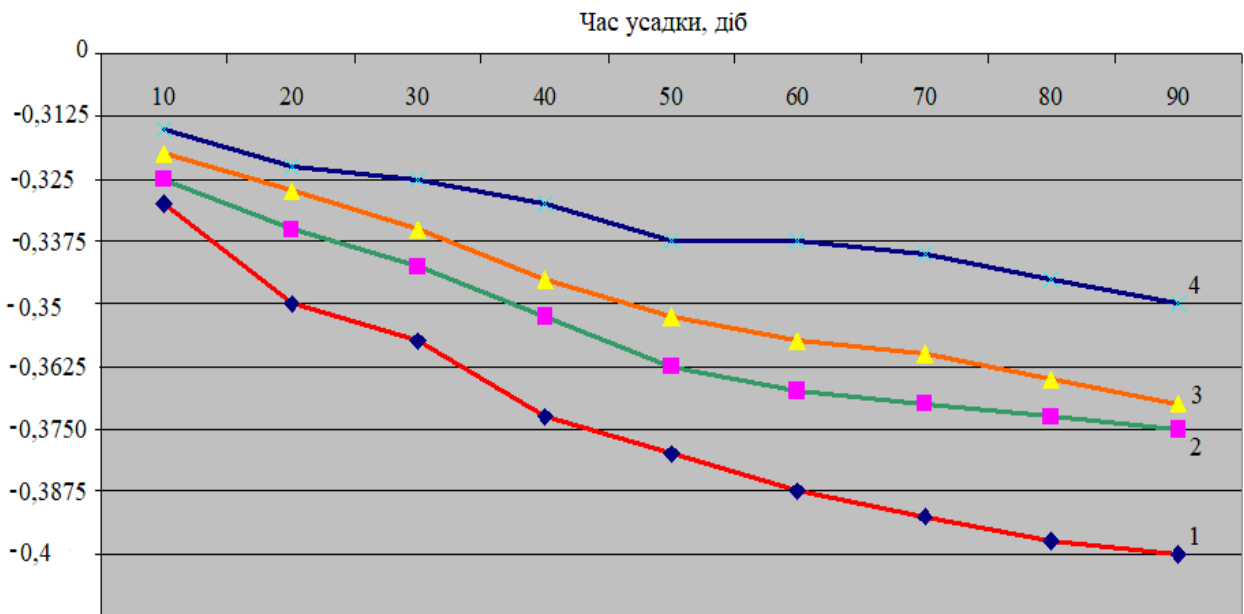


Рисунок 4.7 – Усадка бетону: 1 – бетонна суміш на неактивованій цементній суспензії; 2 – бетонна суміш на активованій цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – бетонна суміш комплексно активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і оброблена в змінному електромагнітному полі; 4 – бетонна суміш комплексно активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , і оброблена в змінному електромагнітному полі, і введенням в неї 0,5 % СП-3.

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

#### 4.5. Морозостійкість бетону

Морозостійкість залежить від співвідношення в структурі бетону умовно-замкнених і відкритих капілярних пор, тому що вони будуть визначати обсяг і розподіл льоду, що утворюється в бетоні при негативних температурах, і, отже, значення виникаючих напруг і інтенсивність протікання процесу ослаблення структури бетону [182, 186].

Інтенсифікація процесів структуроутворення бетону, підвищення ступеня гідратації портландцементу в результаті активації концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі для замішування бетонних сумішей повинні позитивно позначатися на підвищенні стійкості бетону до впливу негативних температур і змінних циклів замороження-відтавання. Це припущення ґрунтується на тому, що бетони на обробленій в електромагнітному полі концентрованої цементній суспензії характеризуються більш високою міцністю на стиск, що забезпечить їх підвищений опір до виникаючих у структурі бетону внутрішніх напружень від тиску льоду. Відзначене зниження водопоглинання і, як наслідок, підвищення морозостійкості бетону.

Для визначення морозостійкості бетону приготовлені зразки-куби з розміром ребра 100 мм, які тверділи в нормальних умовах при температурі навколишнього повітря 18-22°C и відносній вологості середовища не нижче 90 %. Склади бетону наведені в табл. 4.4.

Морозостійкість бетону оцінювали прискореним методом згідно ДСТУ Б В.2.7-47-96 (Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги), ДСТУ Б В.2.7-49-96 (Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні й відтаванні), п. 6.2 (насичення й відтавання зразків бетону робили в розчині хлористого натрію 5 %-вій концентрації) через 3 години після витягання з розчину. По другому методу визначення морозостійкості було приготовлено й випробувано по 6 контрольних і 6 основних зразків у кожній серії.

Критеріями морозостійкості виступили показники зміни межі міцності при стиску бетонних зразків у порівнянні з контрольними (зниження міцності більш 5 %), а також ознаки руйнування встановлені візуальним оглядом зразків (тріщини, лушпиння, закруглення кутів і ребер і т.п.).

Міцність зразків визначали після п'яти циклів попереминого заморожування-відтавання (табл. 4.7, рис. 4.8.), що відповідало марці бетону по морозостійкості F200.

Таблиця 4.7 – Показники межі міцності при стиску зразків важкого бетону після попереминого заморожування-відтавання

№ складу	Межа міцності бетону після циклів попереминого заморожування-відтавання, МПа					
	Кількість циклів					
	50	75	100	150	200	300
1 C20/25 S4(к)	32,2	31,1	30,8	30	29,8	-
2	36,8	35,1	34,3	32,7	32,1	30,5
3	42,2	40,5	39,2	38,4	36,1	35,6
4	43,4	43,1	42,7	41,5	41,2	39,2
1 C25/30 S4(к)	33,4	33,2	32,7	31,1	30	-
2	38,6	38,2	36,6	34,9	33,8	32,2
3	46,4	45,3	43,4	42,6	41,3	37
4	48,1	48	47,6	47	45,4	44

Встановлено, що контрольні зразки важкого бетону (к) витримали без характерних ознак руйнування 200 циклів попереминого заморожування-відтавання за прискороною методикою, що відповідає марці бетону по морозостійкості – F200. Для зразків, приготовлених на обробленій в електромагнітному полі концентрованій цементній суспензії, ця величина склала 300 циклів (о) - марка бетону по морозостійкості F300.

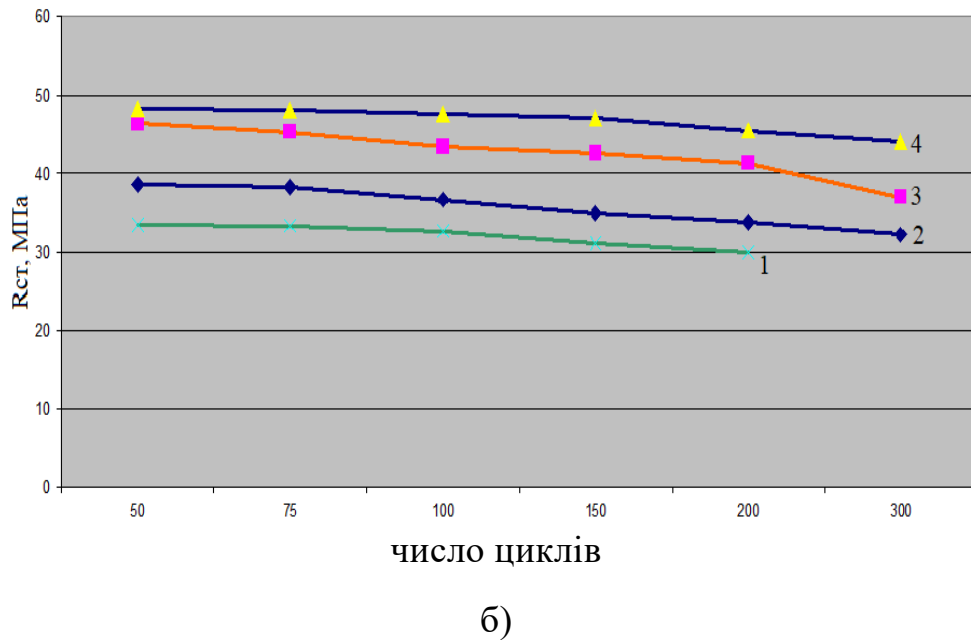
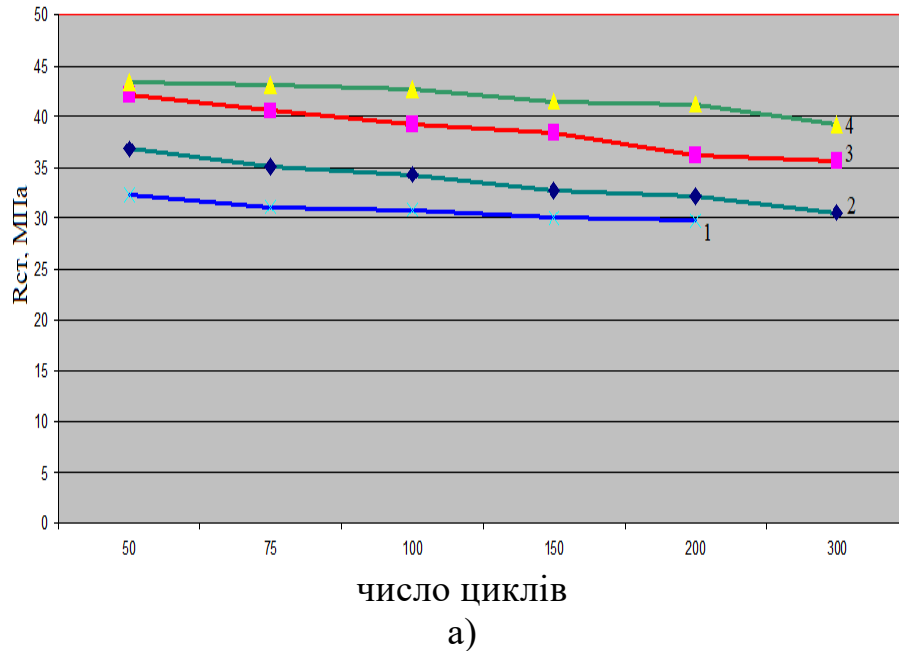


Рисунок 4.8 – Межа міцності на стиск зразків бетону після поперемінного заморожування-відтавання: а) зразки з бетону C20/25 S4, б) зразки з бетону C25/30 S4: 1 – бетонна суміш на неактивованій цементній суспензії; 2 – бетонна суміш на концентрованій цементній суспензії, яка містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 – бетонна суміш на концентрованій цементній суспензії, що містить розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , активованій в змінному електромагнітному полі; 4 – бетонна суміш на концентрованій цементній суспензії, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , оброблений в змінному електромагнітному полі і введений в неї 0,5 % СП-3.

У той же час після такої ж кількості циклів поперемінного заморожування-відтавання спостерігалось більше зниження показника міцності при стиску й поява незначних ознак руйнування, які визначалися візуальним оглядом. Обробка концентрованої цементної суспензії для бетонних сумішей електромагнітним полем приводить до невеликої їхньої пластифікації.

Морозостійкість бетону оцінювали згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96, п. 6.2, який для бетону є базовим. Показники міцності бетону після 300 циклів поперемінного заморожування-відтавання наведені в табл. 4.7, рис. 4.8. Дані, наведені в табл. 4.7, рис. 4.8, свідчать про те, що в результаті підвищення міцності зразків бетону, виготовлених на обробленій в електромагнітному полі концентрованій цементній суспензії, досягається підвищення їх морозостійкості на одну марку.

#### **Висновки до розділу 4**

1. З використанням симплекс-решітчастого методу 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.

2. Визначено раціональні склади бетонів класу C20/25 S4, що характеризуються витратами цементу  $360-380 \text{ кг/м}^3$ , і для бетонів класу C25/30 рухомістю S4, витратами цементу  $420-440 \text{ кг/м}^3$ .

3. 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 кг/м<sup>3</sup>. 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 кг/м<sup>3</sup>, і на 39,8 %, з 14,3 до 20 МПа, при вмісті цементу 500 кг/м<sup>3</sup>.

4. Визначено, що у віці 28 діб, активація цементу розчином Ca(OH)<sub>2</sub>, підвищує міцність бетону при вмісті в ньому цементу 300 кг/м<sup>3</sup> на 9,6 % з 18,7 до 20,5 МПа, а при вмісті 500 кг/м<sup>3</sup>, на 9,9 %, з 37,5 до 41,2 МПа, комплексна активація розчином Ca(OH)<sub>2</sub> з наступною обробкою в змінному електромагнітному полі підвищує міцність бетону, при вмісті цементу 300 кг/м<sup>3</sup> – на 15 %, з 18,7 до 21,5 МПа і при вмісті цементу 500 кг/м<sup>3</sup> – 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 кг/м<sup>3</sup>, і на 28 %, з 37,5 до 48 МПа, при вмісті цементу 500 кг/м<sup>3</sup>.

5. Виявлено, що у віці 2-х діб приріст міцності від спільної активації цементуючої системи за рахунок комплексної активації розчином Ca(OH)<sub>2</sub> і наступною обробкою в змінному електромагнітному полі і суперпластифікатором, не залежить від вмісту цементу в бетоні, в той же час, як і у віці 28 діб, приріст міцності бетону зі збільшенням вмісту цементу знижується.

6. Виявлено, що обробка концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі приводить до підвищення щільності бетону і зниженню його водопоглинання з 2,14 до 1,06 у добовому віці, і з 4,51 до 2,95

у віці 90 діб, в порівнянні з контрольним зразком, що відповідає марці по водопоглинанню W8.

7. Виявлено, що обробка концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі приводить до зниження усадки бетону з -0,4 до -0,35 мм/м на цементуючій системі, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в змінному електромагнітному полі з СП-3.

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

**РОЗДІЛ 5**  
**ДОСЛІДНО–ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ БЕТОНУ**  
**ОТРИМАНОГО НА КОНЦЕНТРОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СУСПЕНЗІЇ**  
**ОБРОБЛЕНІЙ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ ТА ЙОГО**  
**ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО**

Отримані результати проведених досліджень щодо розробки бетонів для монолітного будівництва на цементній суспензії обробленій в змінному електромагнітному полі дали можливість перейти до наступного етапу роботи – дослідно-промислового впровадження результатів досліджень, що полягало у виготовленні бетонів для монолітного будівництва в промислових умовах та оцінці їх економічної ефективності використання.

**5.1 Виготовлення у промислових умовах бетонних сумішей**

Дослідно-промислове випробування розроблених товарних бетонів на цементній суспензії обробленій в змінному електромагнітному полі здійснювали в період з 10 серпня 2015 року по 25 серпня 2018 року. (Додаток А).

Були виготовлені бетонні суміші, модифіковані активною добавкою розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , пластифікатором СП-3 та оброблені і змінному електромагнітному полі. Виготовлено по 75 м<sup>3</sup> бетонів для монолітного будівництва C20/25 S4 і C25/30 S4 (Україна) за 1 зміну.

Марка бетонної суміші відповідала C20/25 S4 W8 F300 та C25/30 S4 W8 F300 згідно нормативних документів, а її компонентний склад наведено в таблиці 5.1 – 5.2.

Таблиця 5.1 – Склад бетонів для монолітного будівництва на цементній суспензії обробленій в змінному електромагнітному полі C20/25 S4 (на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші).

№ з/п	Найменування компоненту	Одиниці виміру	Кількість
1	Портландцемент ПЦ II/ Б-III-400	кг	350
2	Вода	л	200
3	Пластифікатор СП-3	кг	1,63
4	Дніпровський річковий пісок	кг	670
5	Щебінь фр. 2,5-5	кг	165
6	Гранітний щебінь фр. 5-10	кг	340
7	Гранітний щебінь фр. 10-20	кг	670
8	СаО	кг/м <sup>3</sup>	0,65

Таблиця 5.2 – Склад бетонів для монолітного будівництва на цементній суспензії обробленій в змінному електромагнітному полі C25/30 S4 (на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші).

№ з/п	Найменування компоненту	Одиниці виміру	Кількість
1	Портландцемент ПЦ II/ Б-III-400	кг	415
2	Вода	л	200
3	Пластифікатор СП-3	кг	1,63
4	Дніпровський річковий пісок	кг	640
5	Щебінь фр. 2,5-5	кг	162
6	Гранітний щебінь фр. 5-10	кг	296
7	Гранітний щебінь фр. 10-20	кг	687
8	СаО	кг/м <sup>3</sup>	0,65

Приготування бетонної суміші відбувалось згідно технологічної схеми, рис. 5.1 в бетонозмішувачах примусової дії.

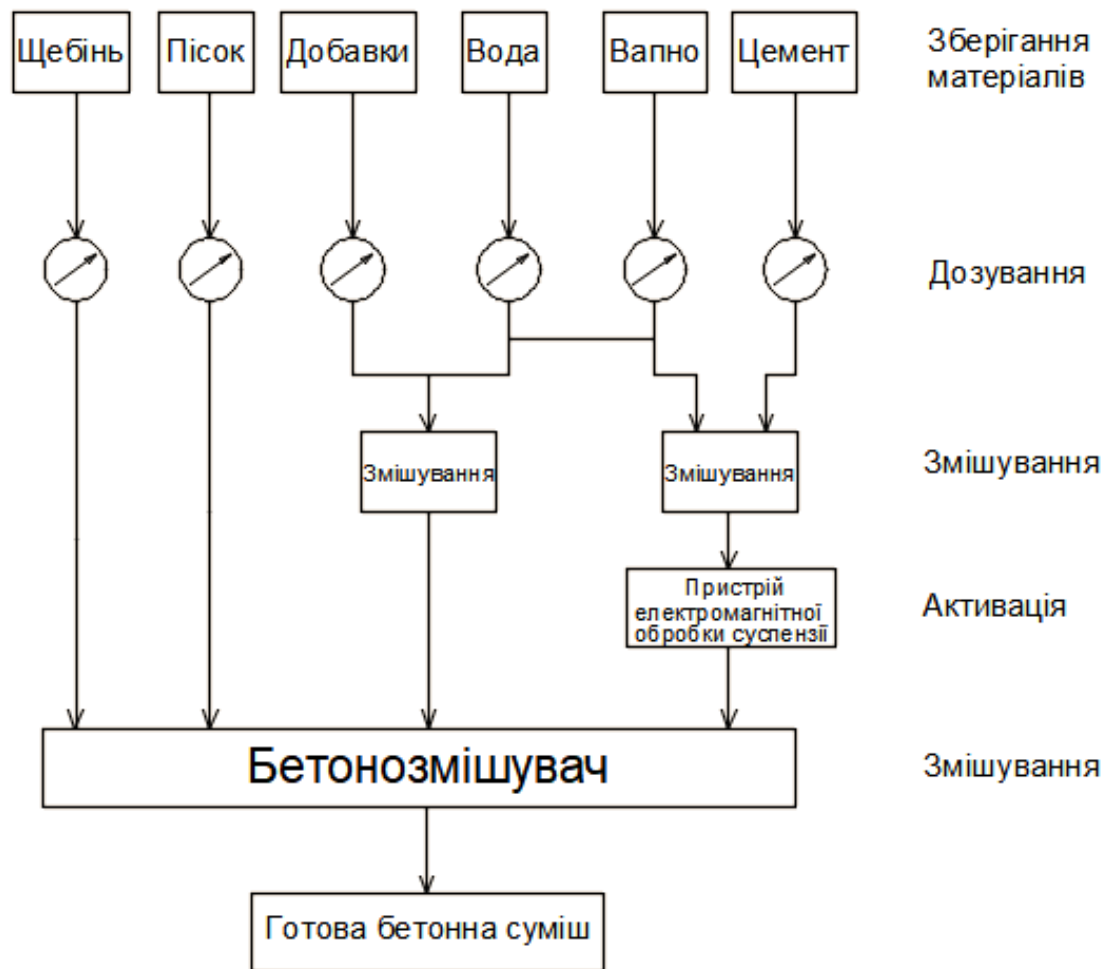


Рисунок 5.1 – Технологічна схема активації бетонної суміші.

Із бункерів зберігання матеріалів, відповідно рецепту, матеріал дозується, і потрапивши в бетонозмішувач, доводиться до однорідної маси. Нами було внесено зміни в технологічну схему у вигляді пристрою для електромагнітної обробки цементної суспензії, так, щоб втручання в технологічний процес було мінімальним і несло мінімальні капіталовкладення. На початку, вапно і вода змішуються для отримання розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Готовим розчином замішується цемент, а потім отримана цементна суспензія проходить через пристрій для електромагнітної обробки, де відбувається обробка протягом 30 секунд, після чого подається в бетонозмішувач. Добавка змішується з частиною води і подається у вологу бетонну суміш, що знаходиться в бетонозмішувачі з деякою затримкою,

завдяки цьому затримується гальмування диспергованих часток, що сформували колоїдну структуру. В бетонозмішувач на початку подаються заповнювачі, а потім активована розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , концентрована цементна суспензія, після чого вже подається суміш пластифікатора з водою, що в подальшому дає можливість не тільки збільшити міцність бетонної суміші, але і подовжити його живучість. В процесі застосування бетонних сумішей вони показали себе технологічними, а процес їх приготування, транспортування, укладання в опалубку не відрізнявся від процесу бетонування з використанням звичайних бетонних сумішей. З розроблених бетонних сумішей було виготовлено по 75 м<sup>3</sup> бетонів для монолітного будівництва за зміну на цементній суспензії активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленій в змінному електромагнітному полі з пластифікатором СП-3.

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.

Результати випробувань в лабораторії розроблених бетонних сумішей і бетонів на їх основі наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати випробувань важких бетонів

Клас бетону	Міцність бетону при стиску, МПа	Марка бетону за:	
	28 діб	водонепро- никністю	морозо- стійкістю
C20/25 S4	33,8	8	300
C25/30 S4	42,3	8	300

Технічні результати дослідно–промислового впровадження розроблених бетонів виявились позитивними. Це дозволяє перейти до їх техніко-економічної оцінки.

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.

## **5.2 Техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії для розробки бетонів для монолітного будівництва**

Для оцінки техніко-економічної ефективності застосування електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії для розробки бетонів для монолітного будівництва і її впливу на фізико-механічні властивості бетонів було розраховано економічну доцільність застосування електромагнітної обробки для виготовлення бетонів для монолітного будівництва (Додаток А). Оцінку економічної ефективності застосування електромагнітної обробки виконано згідно [71] за стандартною формулою з урахуванням витрат на додаткові капітальні вкладення в обладнання поста електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії та нормативного коефіцієнту ефективності:

$$E_{\text{досл.}} = (C1 - C2) \cdot P_{\text{досл.}} - E \cdot \Delta K, \quad (5.1)$$

де  $C1$  – собівартість  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші по базовому варіанту;

$C2$  – собівартість  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші по новому варіанту;

$P_{\text{досл.}}$  – дослідно - промислова партія,  $\text{м}^3$ ;

$E$  – нормативний коефіцієнт ефективності (0,12);

$\Delta K$  – додаткові капітальні вкладення в обладнання поста електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії (7000 грн.).

Склад бетону та відповідний розрахунок собівартості компонентів бетонів для монолітного будівництва, на концентрованій цементній суспензії, з використанням розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і оброблений в змінному електромагнітному полі і введеної в неї 0,5 % СП-3, наведено в таблиці 5.4 – 5.5.

Таблиця 5.4 – Показники якості товарного бетону С20/25 і С25/30

№ з/п	Найменування показників	Од. вим.	Базовий варіант	С20/25 S4	С25/30 S4
1.	Склад бетону	кг/м <sup>3</sup>	Ц – 454 Щ – 1180 В – 235 П - 570	Ц – 350 Щ – 1175 В – 200 П – 670 СП-3 – 1,63	Ц – 415 Щ – 1145 В – 200 П – 640 СП-3 – 1,63
2.	Середні витрати матеріалу	кг/м <sup>3</sup>	2430	2395	2400
3.	Клас бетону		С20/25	С20/25	С25/30

Розрахунки економічної ефективності товарного бетону, виготовленого на концентрованій цементній суспензії оброблений в електромагнітному полі, наведено в табл. 5.5.



Таблиця 5.5 – Розрахунки економічної ефективності бетону виготовленого на концентрованій цементній суспензії оброблений в електромагнітному полі

Базовий варіант	C20/25 S4	C25/30 S4
1. Витрата матеріалів на 1 м <sup>3</sup> бетонній суміші, кг:		
цемент – 454	цемент – 350	цемент – 415
щебінь – 1180	щебінь – 1175	щебінь – 1145
вода – 235	вода – 200	вода – 200
пісок – 570	пісок – 670	пісок – 640
	СП-3 - 1,63	СП-3 - 1,63
2. Випуск бетону, м <sup>3</sup> у зміну:		
- Об'єм: V=75 м <sup>3</sup> /зміну;		
3. Дослідно-промислова партія (1 робочий день)		
П <sub>досл</sub> =75x1=75 м <sup>3</sup>		
4. Калькуляція собівартості продукції ( по основних матеріалах) на 1 м <sup>3</sup> :		
Вартість матеріалів: - цемент (Ц) – 2072 грн./т - щебінь (Щ) – 270 грн./т - вода (В) – 7,98 грн./м <sup>3</sup> - пісок (П) – 65 грн./т -пластифікатор (СП-3) – 32 грн./кг		
- Ц- 2072x0,454 = 940,69 грн.;	- Ц- 2072x0,350 = 725,2 грн.;	- Ц- 2072x0,415 = 859,88 грн.;
- Щ - 270x1,180 = 318,6 грн.;	- Щ - 270x1,175 = 317,25 грн.;	- Щ - 270x1,145 = 309,15 грн.;
- В – 7,98 x0,235 = 1,88 грн.;	- В – 7,98 x0,2 = 1,59 грн.;	- В – 7,98 x0,2 = 1,59 грн.;
- П - 65x0,57= 37,05 грн.	- П - 65x0,67= 43,55 грн.	- П - 65x0,64= 41,6 грн.
	- СП-3 – 32x1,63=52,16 грн.	- СП-3 – 32x1,63=52,16 грн.
Разом: 1298,22 грн./м.	Разом: 1139,75 грн./м <sup>3</sup>	Разом: 1264,38 грн./м <sup>3</sup>
	Додаткова витрата електроенергії на обробку концентрованої цементної суспензії в електромагнітному полі: На 1 м <sup>3</sup> бетону P <sub>індукт.</sub> ≈ 1 кВт/м <sup>3</sup> (1,79 грн./м <sup>3</sup> )	
Разом: 1298,22 грн./м <sup>3</sup> .	Разом: 1141,54 грн./м <sup>3</sup>	Разом: 1266,17 грн./м <sup>3</sup>

6. Економічний ефект від випуску дослідної партії бетону за зміну:

$$E_{\text{досл.}} = (C1 - C2) \cdot P_{\text{досл.}} - E \cdot \Delta K,$$

де  $C1$  – собівартість  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші по базовому варіанту;

$C2$  – те ж, по новому варіанту;

$P_{\text{досл.}}$  – дослідно-промислова партія,  $\text{м}^3$ ;

$E$  – нормативний коефіцієнт ефективності (0,12);

$\Delta K$  – додаткові капітальні вкладення в устаткування поста електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії (7000 грн.)

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

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

При однозмінній роботі цеху по виробництву бетону економічний ефект на ПП «Експрес-буд» (м. Дніпро) становить **10911** грн. для C20/25 S4 та **1563,75** грн. для C25/30 S4. (див. акт впровадження. Додаток А).

Орієнтовний економічний ефект від випуску дослідної партії бетонів для монолітного будівництва за місяць складе:  $E_{\text{міс.}} = E_{\text{зміни}} \cdot n$  ( $n$  – кількість робочих днів на місяць).

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

$$E_{\text{міс.}}(C25/30 \text{ S4}) = 393,75 \cdot 22 = 34402,5 \text{ грн/міс.}$$

## Висновки до розділу 5

1. 1. Проведеними випробуваннями бетону на основі концентрованої цементної суспензії, активованої розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і обробленої в змінному електромагнітному полі з пластифікатором СП-3, в умовах підприємства ПП «Експрес-буд» показано, що їх використання дозволяє підвищити міцність бетону в ранньому віці при одержанні зразків класу C20/25 і C25/30.

2. Виконано впровадження бетонів на концентрованій цементній суспензії, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і оброблений в змінному електромагнітному полі з СП-3 для виготовлення дослідної партії бетону для монолітного будівництва. Впровадження цементуючих систем дало можливість вирішити завдання одержання бетонних сумішей з високою ранньою та проектною міцністю, 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.

3. З допомогою техніко-економічного розрахунку приготування бетонів на концентрованій цементній суспензії, активованій розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і оброблений в змінному електромагнітному полі з СП-3 досягнуто економічний ефект на  $1 \text{ м}^3$  для С20/25 S4– 156,68 грн. і для С25/30 S4 – 32,05 грн., а також орієнтовного загального ефекту від випуску дослідної партії бетону за місяць, що становить для С20/25 S4 – 240042 грн. і для С25/30 S4 – 34402,5 грн. відповідно, за рахунок зниження витрат цементу.

## 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  $\text{Ca(OH)}_2$  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  $\text{Ca(OH)}_2$ , оброблені в змінному електромагнітному полі з наступним змішуванням з заповнювачами і пластифікатором, характеризуються підвищенням рухомості, життєздатності, зменшенням розшаровуваності, а бетони класу C20/25 характеризуються витратами цементу, відповідно  $350 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300, та водопоглинанням W8, а для класу C25/30 – витратами цементу  $415 \text{ кг/м}^3$ , морозостійкістю F300 та водопоглинанням W8.

10. Результати промислового впровадження підтверджують перспективність застосування активованої цементуючої системи розчином  $\text{Ca(OH)}_2$  і обробки в змінному електромагнітному полі для отримання бетонів середніх класів по міцності. Економічний ефект від впровадження цементуючої системи, активованої розчином  $\text{Ca(OH)}_2$ , з наступним змішуванням її з заповнювачами і пластифікатором, та подальшої обробки в змінному електромагнітному полі становить 10911 грн для C20/25 S4 та 1563,75 грн для C25/30 S4 за зміну.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Азелицкая Р. Д., Приходченко Н. А., Черных В. Ф. Повышение прочности изделий из вяжущих строительных материалов за счет применения при приготовлении этих изделий омагниченной воды. *Акустическая и магнитная обработка веществ*. Новочеркасск: 1966. 203 с.
2. Aitchin P. C. High Performance Concrete. London: *T&F e-Library*, 2004. 591p.
3. Амелинкс С. Методы прямого наблюдения дислокаций: Пер. с англ. - М.: Мир, 1968. 440 с.
4. Арадовский Я. Л., Тер-Осипянц Э. М., Данич Н. Т. Изделия из тяжелых бетонов на магнитообработанной воде. *Строительство и архитектура Узбекистана*. 1969. Вып. №2. С. 18-25.
5. Арадовский Я. Л., Тер-Осипянц Р. Г., Арадовская Э. М. Свойства бетона на магнитнообработанной воде. *Бетон и железобетон*. 1972. Вып. 4. С. 32-34.
6. Арбенъев А.С. Основы комплексной энергообработки бетонной смеси в строительстве. *Энергообработка бетонной смеси в строительстве: тез. докл.* Владимир, Владим. гос. техн. ун-т, 1996. С. 8-12.
7. Астреева О. М. Петрография вяжущих материалов. М.: Госстройиздат, 1959. 228 с.
8. Афанасьев Н. Ф., Целуйко М. К. Добавки в бетоны и растворы. – К.: Будівельник, 1989. 128 с.
9. Ахвердов И. Н. Высокопрочный бетон. М.: Госстройиздат, 1961. 418 с.
10. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

11. Аяпов У. А. Труды Алма-Атинского научно-исследовательского и проектного института строительных материалов. 1970. Вып. 12. С. 83-92.
12. Бабаевская Т. В., Ушеров-Маршак А. В. Комплексные добавки в бетон. Система «Релаксол». Запорожье: «Планета», 2008. 100 с.
13. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
14. Баженов Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
15. Баженов Ю. М. Технология бетона: Учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 1987. 415 с.: ил.
16. Байков А. А. Сборник трудов, т.5, изд. АН СССР, М.-Л., 1965.
17. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1998. 768 с.
18. Бэкон Дж. Дифракция нейтронов. ИЛ, 1957.
19. Bernal J. D., Fowler R. H. J.Chem.Phys. 1933. V.1. P.513.
20. Бокий Г. Б., Порай-Кошиц М. А.. Практический курс рентгеноструктурного анализа. М.: Изд. МГУ, 1951. 429 с.
21. Большаков В. І., Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство: навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей вузів. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-VAL», 2004. 677 с.
22. Браун Л. С., Треш Х. Рентгеноспектральный микроанализ. *Приборы и методы физического металловедения*: Пер. с англ. М.: Мир, Вып. 2, 1973. С. 221-270.
23. Briggs A. Acoustic Microscopy. Univ. of Oxford. 1992.
24. Будников П. П., Гинстлинг А. М. Реакция в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат, 1971. 488 с.



25. Булгаков М. Г. Влияние суперпластификаторов на основные свойства бетонов в конструкциях. *Химические добавки для бетонов*. М.: НИИЖБ, 1987. С. 30-40.
26. Бургер М. Д. Рентгеновская кристаллография. М.: ИЛ, 1948. 484 с.
27. Бутт Ю. М., Тимашев В. В., Лукацкая Л. А. Влияние магнитной обработки воды на скорость гидратации и твердения вяжущих. *Гидратация и твердение цементов*. Челябинск, 1969. 110 с.
28. Burg R. G., Ost V. W. Engineering Properties of commercially Available High-Strength concretes. *Portland cement Association. Bulletin* RDID 4TSNI.914. 1992. p. 56-57.
29. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих веществ. М.: Высш. шк., 1980. 472 с.
30. Вавржин Ф., Крчма Р. Химические добавки в строительстве. М.: Стройиздат, 1964. 288 с.
31. Вайнштейн Б. К. Структурная электрография. Изд. АН СССР, 1956. 314 с.
32. Василик П. Г., Голубев И. В. Особенности применения поликарбоксилатных гиперпластификаторов Melflux. *Строительные материалы*. 2003. Вып. 9. С. 24-26.
33. Вегман Е. Ф., Руфанов Ю. Г., Федорченко И. Н. Кристаллография, минералогия, петрография, рентгенография. М.: Металлургия, 1990. 262 с.
34. Вермайрен Т. Магнитная обработка жидкостей средство борьбы с коррозией и образованием накипи. *Реферативный журнал (хим.)*, перевод Б. И. Казанджана "Энергетика за рубежом", ЦБТИ, 1960, 322 с.
35. Владимиров В. И., Романов А. Е. Дислокации в кристаллах. Ленинград: Наука, 1986. 224 с.
36. Вознесенский В. А., Выровой В. Н., Керш В. Я. Современные методы оптимизации композиционных материалов. К.: Будівельник, 144 с.

37. Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Огарков Б. Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Выща школа. Головное изд-во, 1989. 328 с. Библиогр.: с. 318-320.
38. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества. Москва, Стройиздат, 1986 г. 463 с.
39. Глекель Ф. Л., Копп Р. З., Ахмедов К. С. Регулирование гидратационного структурообразования поверхностно-активными веществами. Ташкент: ФАН, 1986. 224 с.
40. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев, Будівельник, 1978. 184 с.
41. Гордеев Г. М., Матусевич Н. П., Ржевская С. П., Фертман В. Е. Электрические свойства магнитных жидкостей. *Сб. науч. трудов «Физические свойства магнитных жидкостей»*, Свердловск, 1983. С. 98-102.
42. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. М.: Металлургия, 1970. 366 с.
43. Горленко Н. П., Еремина А. Н., Саркисов Ю. С. Электромагнитная обработка жидкости затворения цементных композиций. *Физика и химия обработки материалов*. 2004. Вып. 5. С. 98-102.
44. Горчаков Г. И., Беженов Ю. М. Строительные материалы: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1986. 688 с., ил.
45. Горшков В. С., Тимашев В. В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Госстройиздат, 1963. 205 с.
46. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 333 с.
47. Гранковский И. Г. Структурообразование в минеральных в'язучих системах. К.: Наук. думка, 1984. 300 с.

48. Грушко И. М., Бирюков В. А. Влияние комплексной ультразвуковой и магнитной обработки слабоконцентрированных водно-цементных суспензий, используемых для затворения бетонов, на структурообразование. *Тезисы докл. республ. конф. «Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов»*. К.: Наук, думка. 1980. С. 323-324.
49. Грушко И. М., Михайлов А. Ф., Белова Л. А. О стабилизации интенсифицирующего действия омагничивания водных растворов на процессы структурообразования в бетоне. *Тезисы докл. республ. конф. «Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов»*. К.: Наук, думка. 1980. 210 с.
50. Гульков А. Н., Заславский Ю. А., Ступаченко П. П. Применение магнитной обработки воды на предприятиях Дальнего Востока. Владивосток: изд-во Дальневосточного университета. 1990. 134 с.
51. Давидсон М. Г. Водонепроницаемый бетон. Л., «Лениздат», 1965. 99 с.: ил.
52. Дворкин Л. А., Дворкин О. Л., Житковский В. В. Эффективность химических добавок в бетон. *Сб. труд. научно-практ. конф. «Дни современного бетона»*. Запорожье, 2012. С. 33-37.
53. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей. М.: Издательство иностранной литературы, 1950. 583 с.
54. Домокеев А. Г. Строительные материалы: Учеб. для строит. вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1989. 495 с.: ил.
55. Дорш К. Е. Твердение и коррозия цементов. *Научно-техническое издательство*. Изд. Харьков, 1936. 137 с.
56. 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.
57. Дубов Т.Н. Омагничивание в различных сферах деятельности человека. *Інноваційний потенціал української науки XXI сторіччя: збірник доп. учасн. V Всеукр. наук.-практ. конф., 20-27 трав. 2009 р. Запоріжжя: ПГА, 2009. С. 80-83*
58. Дубов Т. Н. Оценка влияния омагниченной воды на свойства бетона, применяемого в надземном и подземном строительстве. *Геотехнічна механіка*. 2006. Вып. 66. С. 209-213.
59. 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.
60. Jolicoeur C. Chemical Admixture-Cement Interactions: Phenomenology and Physic-chemical Concepts. *Cement and Concrete Composites*. C. Jolicoeur, M.-A. Simard. Cem. and Concr. Res. 1998. Vol. 20. P.87–101.
61. 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.
62. 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.
63. 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.
64. 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.
65. Ершова Н. М. Обработка данных спостережень засобами Excel. Для студентов, магистров, аспирантов академии всех форм навчання Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. 160 с.
66. Ефанов Л. Н. К вопросу об уровне взаимодействия воды с внешним магнитным полем. *Вопросы теории и практики магнитной обработки воды*. М., 1971. С 40-44.
67. Зайченко Л. Г. Мелкозернистые цементные бетоны, активированные во вращающемся электромагнитном поле. Автореферат диссертации кандидата технических наук по специальности 05.23.05. Макеевка. 2007.
68. Зедгенидзе И. Г. Планирование эксперимента при исследовании многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. 216 с.
69. Зоткин А. Г. Критерии эффективности золы в бетоне. *Технологии бетонов*. 2010. Вып. 7-8. С. 38-39.
70. Изотов В. С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Казан. арх. строит. унив.: Издательство «Палеотип», 2006. 244 с.
71. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: Госстрой СССР, 1979. 65 с.
72. Калашников В. И. и др. Особенности процессов гидратации и твердения цементного камня с модифицирующими добавками. *Известия вузов. Строительство*. Новосибирск, 2003. Вып. 6. С. 26–29.
73. Каприелов С. С. и др. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона. *Бетон и железобетон*. 1992. Вып. 7. С. 4–7.

74. Карибаев К. К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. Алма-Ата: «Наука», 1980. 336 с.
75. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие. 2 изд. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 221 с.
76. Киргинцев А. Н., Соколов В. М., Бурлакова Н. И. О механизме процесса магнитной обработки воды. Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. хим. наук, 1963, вып. 1, №3, с 25-29.
77. Китайгородский А. И. Рентгеноструктурный анализ. ГТТИ, 1950. 651 с.
78. Китайгородский А. И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. ГТТИ, 1952. 588 с.
79. Классен В. И. Вода и магнит. М.: Наука, 1973. 110 с.
80. Классен В. И. Омагничивание водных систем, издание II М.: Химия, 1982. 284 с.
81. Классен В. И. Состояние и задачи развития проблемы физической активации водных систем. *Электромагнитная обработка водных систем в химико-технологических процессах*. Ред.-изд. совет Красильникова Н.А. М.: ГИГХС, 1982. с. 5-9.
82. Klug H., Alexander L. X-Ray Diffraction procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials. New York, 1954.
83. Colleparidi M. The new concrete. Italy, 2006. 421 p.
84. Колесниченко Л. К., Горфинкель Ц. З. К исследованию цементных растворов и бетонов при магнитной обработке воды затворения. Южгипроцемент. Труды института. Сб. IX., М.: 1967. с. 112-125.
85. Комарова Т. А. Исследование кинетики кристаллизации солей из растворов. М.: изд. МУ 1963. 203 с.
86. Кошмай А. С., Мчедлов-Петросян О. П. Электрохимическая интерпретация процессов схватывания цементных паст. *Цемент*. 1980. Вып. 7. С. 4-5.

87. Кривенко П. В. Специальные шлакощелочные цементы. Киев: Строитель, 1992. 192 с.
88. Кропивницька Т. П., Саницький М. А., Гев'юк І. М. Пластифіковані композиційні цементи з карбонатними наповнювачами. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць*. Рівне, 2013, Вип. 25. С. 97-102.
89. Круглицкий Н. Н. и др. Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях. К.: Наукова думка, 1976. 196 с.
90. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Машиностроение, 1983. 424 с.
91. Кульский Л. А., Душкин С. С., Магнитное поле и процессы водообработки. Киев.: Наука, 1988. 110 с.
92. Лазарев В. Н., Эриванцев И. Н., Джунь В. А., Толстых В. В., Устройства для магнитной обработки жидкостей. Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. «*Разработка ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов и конструкций и ведения строительно-монтажных работ*». Д.: 1988. с.150.
93. Лазаренко Л. Н., Ложка Г. В., Оноприенко Д. М. Активация воды в производстве бетона. Известия ВУЗов. *Строительство и архитектура*. 1990.
94. Лазаренко Л. Н., Резниченко И. П. Магнитная обработка воды в производстве бетона. *Строительные материалы и конструкции*. 1987. Вып. 4. с.34-35.
95. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
96. Лейзеганг З. Электронная микроскопия: Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1960. 240 с.
97. Ли Ф. М. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. с. 263.

98. Лыков А. В., Романовский С. Г. Термическая обработка бетонов в электромагнитном поле. Известия АН ВССР, серия физико-химических наук, Вып. 2, 1968.
99. Мацкевич Л. И., Скалозубов М. Ф. Изменение магнитных свойств растворов электролитов в зависимости от магнитной обработки. *Акустическая и магнитная обработка веществ*. Новочеркасск. 1966.
100. Миненко В. И., Петров С. М., Миц М. Н. Магнитная обработка воды. Х.: Теплоэнергетика, 1962. с 264.
101. Митчелл С. М. Рентгеноструктурный анализ. *Приборы и методы физического металловедения*: Пер. с англ. М.: Мир, Выпуск 1, 1973. С. 332-423.
102. Міхановський Д. С., Арадовський Я. Л., Леус Э. Л. Пластифікація бетонної суміші магнітної обробкою води затворення на домостроительных заводах. М.: Стройиздат. 1970. 47 с.
103. Москвин В. М. Коррозия бетона. М. : Госстройиздат, 1952. 344 с.
104. Мощанский Н. А. Труды НИИЖБ, вып. 1, М.: 1957.
105. Мурадов Э. Г. Материалы для приготовления бетонной смеси и строительного раствора. М.: Стройиздат, 1987. 112 с.
106. Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат, 1977. 224 с.
107. Nawy E. G. Fundamentals of high-performance concrete. New-York: J. Wiley and Sons, 2001. 441 p.
108. Нахмансон М. С. Диагностика состава минералов рентгенодифракционными и спектральными методами. Л.: Стройиздат, 1990. 390 с.
109. Невилль А. М. Свойства бетона. М.: Издательство литературы по строительству, 1972. с 345.
110. Neville A. M. Właściwości betonu. Wyd.5. Krakov: Wydawnictwo Polski



- Cement, 2012. 931 s.
111. Несветаев Г. В. Оценка эффективности суперпластификаторов. Сб. труд. научно-практ. конф. «Дни современного бетона». Запорожье, 2012. С. 19 -27.
  112. Несветаев Г. В. Технология самоуплотняющихся бетонов. *Строительные материалы*. 2008. Вып. 3. С. 24-28.
  113. Нікіфорова Н. А. Бетони, модифіковані компонентами, що містять вапно з відходів гірничої промисловості. Дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.23.05. Сімферополь, 2007.
  114. Новиков И. И., Строганов Г. Б., Новиков А. И. *Металловедение, термообработка и рентгенография*. М.: МИСИС, 1994. 480 с.
  115. Новожилов Ю. Л., Баталин Б. С. Влияние солей железа и предварительной обработки воды затворения на процессы кристаллизации новообразований в цементе. *Известия ВУЗов «Строительство и архитектура»*, №1, 1968. С 57-64.
  116. Okamura H. Self-Compacting Concrete. *Journ. of Adv. Concr. Techn.* 2003. Vol.1, №. 1. p.5-15.
  117. Онищик Е. И., *Кристаллография*. Металлургиздат, 1949. 134 с.
  118. Осипов Ю. Б. Исследования глинистых суспензий, паст и осадков в магнитном поле. Изд-во МГУ, 1968. 157 с.
  119. Панерс И., Хаймс Б., Барраган Б., Гонзала Р. Самоуплотняющийся бетон с измельченным карбонатом кальция. *CPI. Международное бетонное производство*. 2012. Вып. 1. С. 34-40.
  120. Пауэрс Т. К. Физическая структура портландцементного теста. *Химия цемента*. под ред. Х. Ф. У. Тейлора. М., 1969. 560 с.
  121. Пауэрс К. Ф. и др. Влияние суперпластификатора СБ-3 на подвижность бетонной смеси и прочность бетона. / К. Ф. Пауэрс, Н. А. Шаповалов, В. А. Ломаченко, А. А. Смосько Изв. вузов. сер. *Стр-во и архитектура*. 1986. Вып. 11. С. 52-54.
  122. Пащенко А. А. *Теория цемента*. К.: Будивельник, 1991. 161 с.

123. Pikkardi G. The chemical basis of medical climatology. USA: Springfield, 1962. 146 p.
124. Пинес Б. Я. Острофокусные рентгеновские трубки и прикладной рентгеноструктурный анализ. ГТТИ, 1955. 277 с.
125. Пинес Б. Я. Лекции по рентгеноструктурному анализу. Изд. Харьковского Государственного университета, 1957. 136 с.
126. Пинскер З. Г. Дифракция электронов. Изд. АН СССР, 1949. 404 с.
127. Peiser H., Rooksby H., A. Wilson. X-Ray Diffraction by Polycrystalline Materials, London, 1955. 725 с.
128. Плугин А. Н., Плугин А. А., Калинин О. А., Мирошниченко С. В., Плугин Д. А., Теория твердения портландцемента. Київ. Наукова думка, 2012. Т.2. 224 с.
129. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. 544 с.
130. Помазкин В. А., Макаева А. А. Опыт использования электроактивированной воды для затворения бетонных смесей. *Бетон и железобетон*. 2002. Вып. 2. С. 13-15.
131. Помазкин В. А., Макаева А. А. Использование физической активации воды для затворения бетонных смесей. *Известия ВУЗов. Строительство*. 2004. Вып. 3. С.31-33.
132. Попов К. Н., Каддо М. Б. Строительные материалы и изделия: Учеб. М.: Высш. шк., 2001. 367 с.: ил.
133. Приходько А. П. Технологія виробництва бетонних та залізобетонних виробів. Київ: НМК, 1992. 336 с.
134. Пушкарьова К. К. Дослідження механізму просочення бетону гідроізоляційними розчинами проникної дії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Київ, 2017. Вип. 169. С. 95-103.
135. Пшеничнов Ю. П. Выявление тонкой структуры кристаллов. М.: Металлургия, 1974. 528 с.

136. Райхель В., Конрад Д. Бетон: в 2-х ч. Ч. 1. Свойства. Проектирование. Испытание. М.: Стройиздат, 1979. с. 33. Пер. с нем. Под ред. В. Б. Ратинова.
137. Рамачандран В. С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. Под ред. В. Б. Ратинова, . М.: Стройиздат, 1977. 408 с.
138. Рамачандран В. С. И др. Добавки в бетон: справочное пособие. Пер. с англ. Т. И. Розенберг. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
139. Ратинов В.Б., Иванов Ф.М. Химия в строительстве. М.: Стройиздат, 1977. 220 с.
140. Ратинов В. Б., Розенберг Г. И. Исследование кинетики кристаллизации гидросульфоалюмината кальция. *Сб. трудов НИИ железобетона*. Вып. 6. Госстройиздат., М.: 1962.
141. Ребиндер П. А. Избранные труды. М.: Наука, 1978-1979. Т.1. 356 с. -Т.2.-381 с.
142. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. М.: «Наука», 1979. 384 с.
143. Ремпель С. И. Исследование режимов магнитной водоподготовки и разработка приборов донастройки магнитных аппаратов. Отчет Уральского-лесотехнического ин-та, Свердловск, 1961.
144. Рогатин Ю. А. Батраков В. Г. Оценка эффективности химических добавок по групповым коэффициентам приведения. *Бетон и железобетон*. 1990. Вып. 7. С. 15-17.
145. Ротыч Н. В., Кононенко В.В., Ротыч Р.В., Иощенко Г.В. Влияние электрического тока и магнитных полей на свойства цементного камня. *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*. 1990. Т. 33. Вып. 5. с.99-102.
146. Ружинский С. И. Противоморозные добавки. Харьков: Изд. центр "ХАИ", 2003. 75 с.
147. Рунова Р. Ф. Формування властивостей будівельного розчину на основі

лужного цементу для влаштування підлог. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 62. С. 153-157.

148. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: Справочное руководство. М.: Наука, 1976. 226 с.
149. Садуакасов М. С. Модификация гипсовых вяжущих нафталинформальдегидными суперпластификаторами и исследование свойств изделий на их основе: Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы, 1994. 258 с.
150. Самойлов О. Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов., Изд. АН СССР, 1957.
151. Сандлер Л. М. Фрактальный рост. *В мире науки*. 1987. Вып. 3. С. 62-69.
152. Сватовская Л. Б., Сычев М. М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат, 1983. 161 с.
153. Сегалова Е. Е., Ребиндер П. А. Возникновение кристаллизационных структур твердения и условия развития их прочности *«Новое в химии и технологии цемента»*., М.: 1962. 115 с.
154. Селвуд П. Магнетохимия. Изд.иностр. лит., М.: 1949. 458 с.
155. Сиверцев Г. Н., Никитина Л. В., Лапшина А. И. и др. Труды НИИЖБ. *«Совершенствование методов исследования цементного камня и бетона»*., М.: Госстройиздат, 1968. 153 с.
156. Сидоренко С. И., Пащенко В. Н., Кузнецов В. Д. Материаловедческие основы инженерии поверхности. К.: Наукова думка, 2001. 230 с.
157. Симоненко Л. И., Стамбулко В. И. Суперпластификатор на основе полиэлектро-литных комплексов. *Бетон и железобетон*. 1991. Вып. 11. С.18-20.
158. Сичкарева А. Ю., Осокин А. П., Сазонова В. Ф. Влияние магнитных полей на структурирование цементно-водных

- суспензий. Тезисы докл. к конф. "Теория и практика применения суперпластификаторов в бетоне". Пенза. 1990. С. 92-93.
159. Сычёв М. М. Физико-химические основы интенсификации использования в строительной технике химических ресурсов вяжущих систем. *Материалы конф. по гидратации и твердению вяжущих*. Уфа: НИИпромстрой, 1978. С. 70-75.
160. Spiratos N. and oth. *Superplasticizers for Concrete: Fundamentals, Technology and Practice*. Quebec, 2006. 322 p.
161. Старостин В. А. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы в промышленности строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1989. 240 с.
162. Стольников В. В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне. Л.: Государственное энергетическое издательство, 1953. 120 с.
163. Степасюк Ю. О. Ефективні бетони та розчини на малоклінкерному шлакопортландцементі. Автореферат дисертації кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05. Рівне, 2016.
164. Стефанов В. В Русанова Н. Г., Волянский А. Д. Технология бетонных и железобетонных изделий. К.: Вища школа, 1982. 408 с.
165. Su N., Wu C-F. Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. *Cement and Concrete Composites*. 2003. Vol. 25, № 7. P. 681-688.
166. Тебенихин Е. Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. М., «Энергия», 1977. 184 с.: ил.
167. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с.
168. Тимашев В. В., Колбасов В. М. Свойства цементов с карбонатными добавками. *Цемент*. 1981. Вып. 10. С. 10-12.
169. Трофимов Б. Я. И др. Использование отходов производства

- ферросилиция. *Бетон и железобетон*. 1987. Вып. № 4. С. 39-41.
170. Троян В. В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів: навчальний посібник. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2010. 228 с.
171. Трушляков В. П. Устройство для обработки в магнитном поле воды. Авт. свид. СССР N 281484 Кл. 13 в 18. Опубликовано 14.09.1970. Бюллетень N. 29.
172. Улазовский В. А., Ананьина С. А. Исследование цементного камня, изготовленного на омагниченной воде. В.: *Строительные материалы и проектирование инженерных конструкций*, 1968. с. 250.
173. Улазовский В. А., Ананьина С. А. Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. Волгоград: Изд-во Волгоградского ин-та инженеров городского хозяйства, 1970. 114 с.
174. Улазовский В. А., Ананьина С. А. Твердение цементов, затворенных омагниченной водой. Известия ВУЗов. *Строительство и архитектура*. 1970. Вып. 8. С. 81-85.
175. Урьев Н. Б., Дубинин И. С. Колоидные растворы. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1980. 192 с., ил.
176. Ушеров-Маршак А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы. *Строительные материалы*. 2006. Вып. 10. С. 8-12.
177. Ушеров-Маршак А. В. Химические и минеральные добавки в бетон. под редакцией А. Ушерова-Маршака. Х.: Колорит, 2005. 280 с.
178. Фаликман В. Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах. *Промышленное и гражданское строительство*. 2013 Вып. 1. С. 31-34.
179. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций: Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1972. 600 с.
180. Челнокова В. М. Влияние магнитной обработки воды различного химического состава на физико-механические свойства цементов.

- Автореф. дисс. канд. техн. наук. JL, 1975. 24 с.
181. Чистяков В. В. и др. Интенсификация твердения бетона. К.: Будівельник, 1988. 118с.
  182. Шейкин А. Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. Москва, Стройиздат, 1974.
  183. Шейкин А. Е., Чеховский Ю. В., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
  184. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии: Пер. с англ. М.: Мир, 1972. 300 с.
  185. Шипилов Ю. И. Труды Одесского института инженеров морского флота. Одесса., 1975. Вып. 7. С. 67-69.
  186. Шипов К. Г., О влиянии магнитного поля на кристаллизацию веществ. Тр. Вологод. молоч. ин-та, 1948, вып. 9, С. 127-132.
  187. 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.
  188. Штейнберг С. С. Металловедение. Свердловск: 1961. 598 с.
  189. Шубников А. В., Флинт Ф. Ф. Бокий Т. Б. Основы кристаллографии. 1940.
  190. Щеглюк М. Р., Юсик Я. П. Вимірювання і контроль у будівництві та виробництві будівельних матеріалів і конструкцій: Навч. Посібник. Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка». 2006. 492 с.
  191. Юдина А. Ф., Меркушев О. М., Смирнов О. В. Влияние электрообработанной воды на свойства цементного камня. *Прикладная химия*. 1986. Вып. 12. С. 2730-2732.
  192. Юнг В. Н., Тринкер Б. Д. Поверхностно-активные гидрофильные вещества и электролиты в бетонах. *Министерство строительства РСФСР, НИИС*, Москва, Госстройиздат, 1960. 166 с.

193. Юсупов Р. К., Каприс В. З. Исследование путей повышения эффективности химических добавок на основе лигносульфонатов. *Новые разработки в области усовершенствования производства железобетонных, бетонных и других строительных конструкций на предприятиях Главмоспромстройматериалов. М., 1985. С. 48-56.*
194. Ярославский З. Я., Долгоносов Б. М. Исследование механизма воздействия магнитных полей на воду и водные системы. Сб. *«Вопросы теории и практики магнитной обработки воды»*. М., Цветметинформация, 1971.
195. А.с. СССР №255097 Способы обработки воды затворения бетонной смеси на основе цемента и других минеральных вяжущих. Трушляков В. П. МКИ С 04 В 7/153 от 17.11.1969.
196. А.с. СССР №994431 Устройство для магнитной обработки жидкостей. А. Л.Глузман, В. Г. Зерницкий, В. И. Классен, Н. Е. Пичугина. Оpubл. 07.02.83; Бюл №5
197. А.с. СССР №812740 Устройство для обработки жидкости в электромагнитном поле. П. В.Жуйко, Г. С. Чупров, П. Г. Филлипов. Оpubл. 15.03.81; Бюл. №10.
198. А.с. СССР №831743 Устройство для магнитной обработки жидкостей. В. Н. Лазарев, В. А. Джунь, И. Н. Эриванцев. Оpubл. 23.05.81; Бюл. №19.
199. ДСТУ Б В.А1.1-55-94 «Песок речной для производства бетонных изделий и конструкций».
200. ДСТУ Б В.2.7-46-96 «Цементы для производства железобетонных изделий и конструкций».
201. ДСТУ Б В.2.7-71-98 «Крупный заполнитель для производства бетонных изделий и конструкций».
202. Пат. РФ RU № 2096339 С1. Аппарат Помазкина для магнитной активации воды. В. А. Помазкин. Оpubл. 20.11.97; Бюл. № 32.



203. Пат. РФ RU №2123736 С1. Способ намагничивания немагнитных материалов. И. М. Шахпаронов. Опубл. 20.12.98; Бюл. №35.
204. Пристрій для омагнічування рідини: пат. 31753 Україна: МПК (2006) С02F 1/48. № и 2007 12266; заявл. 05.11.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8.

## ДОДАТОК А

### АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
 начальник виробництва  
 ПП «Експрес-буд»  
 Литвин М.В.  
 «09» вересня 2018 р.



### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Комісія, в складі начальника виробництва ПП «Експрес-буд» Литвина М.В., з однієї сторони, і представників ДВНЗ «Придніпровської державної академії будівництва та архітектури», зав. кафедрою «Технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій» д.т.н., доц. Шпирько М. В. і ас. кафедри автоматики та електротехніки Дубова Т. М. з іншої сторони, склали даний акт про те, що на виробництві ПП «Експрес-буд» в період з 10.08. по 25.08.2018 р. була випущена дослідно-промислова партія товарної бетонної суміші класу С20/25 S4 і С25/30 S4 об'ємом по 600 м<sup>3</sup> кожної, з використанням концентрованої цементної суспензії обробленої в змінному електромагнітному полі напруженістю  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м.

Фізико-механічні властивості бетону С20/25 і С25/30 виготовленого з бетонної суміші С20/25 S4 і С25/30 S4 з використанням концентрованої цементної суспензії обробленої в змінному електромагнітному полі напруженістю  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Физико-механические свойства бетона

Маркування бетону	Середня щільність кг/м <sup>3</sup>	Середня міцність МПа	Водонепроникність	Морозостійкість
С20/25 S4	2395	33,8	W8	F300
С25/30 S4	2400	42,3	W8	F300

При однозмінній роботі виробництва по виготовленню бетону економічний ефект на ПП «Експрес-буд» (м. Дніпро) склав **10911** грн. для С20/25 S4 і **1563,75** грн. для С25/30 S4.

Розрахунок економічного ефекту прикладається.

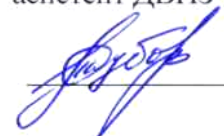
**Представник**  
**ПП «Експрес-буд»**  
начальник виробництва

  
\_\_\_\_\_ Литвин М.В.

**Представники ДВНЗ «ПДАБА»:**  
керівник роботи  
д.т.н., доц.

  
\_\_\_\_\_ М.В. Шпирько

асистент ДВНЗ «ПДАБА»

  
\_\_\_\_\_ Т. М. Дубов

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
 начальник виробництва  
**ПЦ «Експрес-буд»**  
 Литвин М.В.  
 «09» вересня 2018 р.



### **Розрахунок економічного ефекту**

від випуску дослідно-промислової партії бетонної суміші C20/25 S4 і C25/30 S4 з використанням концентрованої цементної суспензії обробленої в змінному електромагнітному полі напруженістю  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м.

Розрахунок економічного ефекту виконаний відповідно до методики визначення економічної ефективності від застосування нової техніки.

Економічна ефективність від випуску дослідно-промислової партії бетонної суміші C20/25 S4 і C25/30 S4 з використанням концентрованої цементної суспензії обробленої в змінному електромагнітному полі напруженістю  $H=1,7 \cdot 10^5$  А/м досягнута за рахунок зниження собівартості бетонної суміші, в результаті зниження витрати цементу і визначається за формулою:

$$E=(C_1-C_2) \cdot C_3 - E_e \cdot \Delta K,$$

де  $C_1$  - собівартість 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші по базовому варіанту;

$C_2$  - собівартість 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші по новому варіанту;

$C_3$  – виробнича здатність технологічної лінії, м<sup>3</sup>;

$E_e$  - нормативний коефіцієнт ефективності (0,12);

$\Delta K$  – додаткові капітальні вкладення в обладнання поста активації (7000 грн.)

**Вихідні дані для розрахунку**

**1.1. Витрати матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші C20/25 S4 і C25/30 S4, кг:**

№ з/п	Найменування показника	Од. вим.	Базовий варіант	C20/25 S4	C25/30 S4
1.	Склад бетону	кг/м <sup>3</sup>	ПЦ – 454 Щ – 1180 В – 235 П – 570	ПЦ – 350 Щ – 1175 В – 200 П – 670 СП-3 – 1,63	ПЦ – 370 Щ – 1145 В – 200 П – 640 СП-3 – 1,63

**1.2. Вартість матеріалів:**

- портландцемент (ПЦ) - 2072 грн./т
- щебінь (Щ) - 270 грн./т;
- вода (В) – 7,98 грн./м<sup>3</sup>;
- пісок (П) - 65 грн./т
- пластифікатор (СП-3) – 32 грн./кг

**1.3. Калькуляція собівартості продукції (по статті витрат на сировинні матеріали) на 1 м<sup>3</sup>:**

Калькуляція собівартості продукції (по основним матеріалам) на 1м <sup>3</sup> :		
- Ц- 2072x0,454 = 940,69 грн.;	- Ц- 2072x0,350 = 725,2 грн.;	- Ц- 2072x0,415 = 859,88 грн.;
- Щ - 270x1,180 = 318,6 грн.;	- Щ - 270x1,175 = 317,25 грн.;	- Щ - 270x1,145 = 309,15 грн.;
- В – 7,98 x0,235 = 1,88 грн.;	- В – 7,98 x0,2 = 1,59 грн.;	- В – 7,98 x0,2 = 1,59 грн.;
- П - 65x0,57= 37,05 грн.	- П - 65x0,67= 43,55 грн.	- П - 65x0,64= 41,6 грн.
	- СП-3 – 32x1,63=52,16 грн.	- СП-3 – 32x52,16=52,16 грн.
Разом: 1298,22 грн./м.	Разом: 1139,75 грн./м <sup>3</sup>	Разом: 1264,38 грн./м <sup>3</sup>
	Додаткові витрати електроенергії на обробку концентрованою цементної суспензії в змінному електромагнітному полі: На 1 м <sup>3</sup> бетону $P_{\text{індукт.}} \approx 1 \text{ кВт/м}^3 (1,79 \text{ грн./м}^3)$	
Разом: 1298,22 грн./м <sup>3</sup> .	Разом: 1141,54 грн./м <sup>3</sup>	Разом: 1266,17 грн./м <sup>3</sup>

#### 1.4. Економічний ефект від впровадження способу електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії:

Економічний ефект від випуску дослідної партії товарного бетону за зміну:

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

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

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

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

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

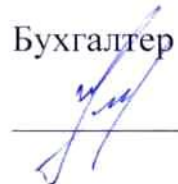
$$E_{міс.}(C25/30 S4) = 393,75 \cdot 22 = 34402,5 \text{ грн/міс.}$$

#### Представники ПП «Експрес-буд»:

Інженер технолог

  
\_\_\_\_\_ А.Ю.Марченко

Бухгалтер

  
\_\_\_\_\_ К.Є. Ісаєва



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор

науково-педагогічної

навчальної роботи

ДВНЗ «ПДАБА»

Папірник Р. Б.

## АКТ

впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи пошукача кафедри технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій

Дубова Тараса Миколайовича

на тему «Бетони з використанням цементної суспензії, активованої в електромагнітному полі» у навчальний процес ДВНЗ «ПДАБА»

Нами, головою навчально - методичної Ради Папірником Р. Б. головою навчально - методичної Ради будівельного факультету, деканом, д.т.н., проф. Білоконем А.І., завідувачем кафедри технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій д.т.н., проф. Шпирько М.В. складено даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Дубова Т.М. впроваджені в навчальний процес на кафедрі технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, зокрема:

- в курсі «Інноваційні технології виготовлення сучасних будівельних матеріалів і виробів» (розділ «Загальні принципи побудови сучасних композиційних матеріалів»), що викладається для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Технології будівельних конструкцій, виробів та матеріалів» використовуються результати дисертаційної роботи щодо принципів управління формуванням структури в'язучого цементного каменю з покращеними експлуатаційними характеристиками для ефективних бетонів;

Пошукач

Т.М. Дубов

Голова навчально - методичної Ради  
будівельного факультету

А.І. Білоконь

Завідувач кафедри технології  
будівельних матеріалів, виробів  
і конструкцій

М.В. Шпирько

## ДОДАТОК Б

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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.

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 XXI сторіччя*: збірник доп. учасн. V Всеукр. наук.-практ. конф., 20-27 трав. 2009 р. Запоріжжя: ПГА, 2009. С. 80-83.