

УДК 691.32/34

**КОМПЛЕКСНА АКТИВАЦІЯ МАТЕРІАЛУ БЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ**

**COMPLEX ACTIVATION OF MATERIAL OF CONCRETE
CONSTRUCTIONS**

Коробко О.О., д.т.н., доц., Кушнір О.М., к.т.н., доц., Кушнір В.О., асистент, Іванов В.М., аспірант (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Korobko O.O., doctor of technical sciences, docent, Kushnir O.M., candidate of technical sciences, docent, Kushnir V.O., assistant, Ivanov V. M., post-graduate student, (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Регулювання спільних ефектів, спричинених змінними зовнішніми електромагнітними впливами і використанням раціональних наповнювачів, дозволить одержувати бетони з підвищеними показниками якості при економічно обґрунтованому використанні цементної складової.

One of the important tasks in the production of building materials and products, especially in conditions of economic crises, should be considered the rational use of mineral binders. This implies the improvement of qualitative indicators of construction materials while reducing their material intensity by reducing cement consumption. The generalized analysis made it possible to conclude that the solution to this complex problem is possible due to a more complete disclosure of the potential of binding systems and materials based on them. For the effective methods of activation of structure formation processes, we can refer to the method of changing external force permanent electromagnetic influences by using special fractal-matrix resonators. A less effective method of directed organization of the structure of binding composites should be considered the use of mineral fillers, rational in nature, quantity and dispersibility. The joint use of matrix activators and rational fillers creates conditions for the regulation of structural changes and, accordingly, properties of hardened and cured mortars and concretes based on mineral binders. The joint effects associated with the external electromagnetic influences and the use of rational fillers will allow solving important problems of economically justified use of cement. In this connection, the task of increasing the mechanical properties of concretes due to the directed organization of their structure using external, internal, and

complex activation of cement components in the initial period of hardening is actual. Changing the parameters of electromagnetic influences as an external factor in combination with changing the parameters of fillers as an internal factor should lead to a change in the initial organization of the structure of cement compositions, which will affect their final structure and, consequently, the mechanical properties and crack resistance of the finished material (cement stone and concrete).

Ключові слова: бетон, наповнювачі, електромагнітна активація, фрактально-матричні резонатори, структуроутворення, пошкодженість
concrete, fillers, electromagnetic activation, fractal-matrix resonators, structure formation, damage.

Вступ.

Стійкість бетонів до розвитку тріщин та механічні властивості бетонів можна підвищити за рахунок зміни умов організації їх структури шляхом комплексної (зовнішньої та внутрішньої) активації. Поліструктурна будова бетонів передбачає, що структурні зміни на рівні мікроструктури (взаємодії часток в'язучого) як підструктури впливають на зміну інтегральній структури, що позначається на властивостях матеріалу з виходом на безпеку функціонування конструкції [1]. Направлено змінити умови початкового структуроутворення цементної складової можна різними способами, зокрема через зміну параметрів зовнішнього електромагнітного поля як природного фактора, постійно діючого на будь-які фізичні об'єкти. Також, використання наповнювачів, підібраних за кількістю та дисперсністю під конкретні склади в'язучих, як внутрішнього фактору активації, одночасно з активуючою дією зовнішнього чинника дозволить одержувати бетони з заданим оформленням структури та потрібним рівнем показників якості. Крім того, комплексна активація буде сприяти більш раціональному використанню мінеральних в'язучих, що є проблемою сучасного будівництва, особливо в умовах економічних кризових ситуацій.

Аналіз останніх досліджень.

Бетон розглядається як матеріал, організований у вигляді взаємозалежних рівнів структурних неоднорідностей, які співіснують та організуються в складному сітково-ієрархічному підпорядкуванні, що створює умови для взаємообумовлених структурних змін при формуванні того чи іншого рівня неоднорідностей [2]. Всі рівні структурних неоднорідностей є відкритими системами [3]. Це передбачає вибірковість самоорганізації системи при збереженні її відкритості до впливу навколишнього середовища. Фактори зовнішнього впливу можуть лише ініціювати зміни структури, але не визначати якими шляхами вони будуть відбуватися. Найбільш раціональним та економічно обґрунтованим підходом є використання існуючих природних

умов в технологічний період виготовлення конструкцій і виробів, зокрема постійно діючого природного електромагнітного поля Землі.

До результативних методів активізації процесів структуроутворення можна віднести метод зміни зовнішніх силових постійно діючих електромагнітних впливів за рахунок використання спеціальних фрактально-матричних резонаторів [4]. Не менш ефективним методом спрямованої організації структури в'язучих композитів слід вважати використання мінеральних наповнювачів, раціональних за природою, кількістю і дисперсністю [5, 6, 7]. Спільне використання матричних активаторів і раціональних наповнювачів створює умови для регулювання структурними змінами та, відповідно, властивостями твердіючих і затверділих розчинів і бетонів на основі мінеральних в'язучих.

Постановка мети та задачі досліджень.

Мета досліджень – підвищити тріщиностійкість та механічні властивості бетонів за рахунок спрямованої організації їх структури шляхом зовнішньої, внутрішньої та комплексної активації цементної складової в початковий період твердіння. Задачі досліджень: - проаналізувати вплив рівнів різних видів активації на початкове структуроутворення цементних систем через показники об'ємних деформацій та строки тужавлення активованих та неактивованих твердіючих систем; - визначити вплив комплексної, зовнішньої та внутрішньої активації на пошкодженість, тріщиностійкість та міцнісні характеристики цементних композицій та бетону.

Методика досліджень.

Об'єктами досліджень є цементні композиції і бетони на їх основі, активовані фрактально-матричними резонаторами і наповнювачами, їх структура і комплекс механічних властивостей і раціональні технологічні рішення їх виробництва.

Предметом досліджень є процеси організації структури та формування властивостей активованих цементних систем і бетонів на їх основі.

У досліджах використовували Портландцемент ПЦ І-500 виробництва ПАТ «Югцемент» (філія ПАТ «Дікергофф Цемент Україна»), кварцовий наповнювач з різними питомими поверхнями, кварцовий пісок з модулем крупності $M = 2,2$ і гранітний щебінь фракції 5-10 мм.

Експериментальні дослідження проводили на зразках-кубах розміром $10 \times 10 \times 10$ см і зразках-призмах $10 \times 10 \times 40$ см. Дослідні зразки виготовляли серіями по три зразки в серії. Рухливість бетонної суміші була постійною ОК = 8-10 см.

Зміну зовнішніх електромагнітних дій (ЗЕМВ) здійснювали за допомогою фрактально-матричних резонаторів, принцип дії яких базується на здатності зміни параметрів електромагнітних хвиль при їх наскрізному проходженні через спеціальний малюнок, зроблений на поліетиленовій плівці за допомогою графітовмісних фарб. При проведенні досліджень зразки поміщали в зону дії матриць, після чого визначали їх властивості в

порівнянні з неактивованими зразками, які накривали контейнером, який був обтягнутий прозорою поліетиленовою плівкою.

Пошкодженість зразків з цементного каменю і бетону оцінювали за допомогою коефіцієнта пошкодженості K_{Π} як співвідношення $K_{\Pi} = \Sigma L_i / L_i$, де ΣL_i - сумарна фактична протяжність тріщини руйнування, см, L_i - геодезична лінія АВ, яка з'єднує точки виходу тріщини руйнування на протилежні поверхні зразка.

Механічні властивості і модуль пружності цементних композицій та бетонів визначалися відповідно до вимог діючих стандартів з використанням повірених засобів вимірювання.

Визначення пошкодженості, тріщиностійкості, модуля пружності та міцності, бетонних зразків проводилося через 28 діб твердіння в нормальних умовах.

Результати досліджень.

Цементні композиції можна представити як системи, початкове структуроутворення яких реалізується через індивідуальні міжчасткові взаємодії. В силу того, що сила міжчасткових взаємодій залежить від маси взаємодіючих часток та від відстані між ними, то, змінюючи дисперсний склад і об'ємний вміст часток, можна управляти процесом початкового розподілу часток по структурним блокам. Це служить обґрунтуванням факту, що введення раціональних за дисперсністю, мінералогічним складом і кількістю мінеральних наповнювачів дозволяє змінити в необхідних напрямках властивості цементних систем та матеріалів на їх основі. Крім подання цементних композицій як дисперсних систем, їх можна представити також як фізичні системи, які знаходяться в певних зовнішніх умовах, зокрема під постійною дією природних електромагнітних хвиль. Цементні композиції, як фізичні системи, потрапляючи в зону збурень електромагнітного поля, мають відповідним чином змінювати умови своєї внутрішньої організації. В силу того, що кожна (моно- або полімінеральна) частка дисперсної фази оточена власним електромагнітним полем, то зміни параметрів зовнішніх полів повинні привести до зміни рівня міжчасткових взаємодій, що має відбитися на параметрах структури кінцевого матеріалу.

Експериментальним підтвердженням зроблених припущень є результати досліджень з визначення об'ємних деформацій (ΔV) цементних композицій, що твердіють. Внутрішня активація композитів на основі мінеральних в'язучих шляхом підбору співвідношень часток дисперсної фази за розмірами чи кількістю дозволила змінити величину та інтенсивність протікання об'ємних деформацій до 2-7 разів, строків тужавлення до 120 хвилин. Зовнішня активація в результаті трансформації спеціальними матрицями викликала зміну величини ΔV цементних систем до 25-58% залежно від складів наповнювачів. Інтенсивність об'ємних деформацій зросла до 3,5 разів, терміни їх прояву збільшилися на 30-90 хвилин. При комплексній активації внаслідок впливу наповнювачів та фрактально-

матричних резонаторів відбулася зміна величини і швидкості прояву об'ємних деформацій до 38% для цементних композицій при збільшенні періодів їх організації до 180 хвилин.

Цементні композиції відзначаються блочною організацією структури, що передбачає пошкодженість затверділих матеріалів початковими тріщинами і внутрішніми поверхнями розділу (ВІР). Зародження тріщин і ВІР відбувається в результаті розкриття та збільшення площі міжкластерних границь розділу під впливом градієнтів об'ємних деформацій. Тому спрямоване забезпечення підструктур на рівні часток в'язучого та, відповідно, міжблочних поверхонь розділу дозволяє регулювати прояв деформаційних процесів для отримання матеріалів із заданою протяжністю по-різному орієнтованих тріщин і ВІР.

Результати досліджень показали, що пошкодженість цементних композицій зростає від $K_n=1,02$ до $K_n=1,16$ при використанні наповнювачів різних складів та зміні зовнішніх умов. Зміна параметрів зовнішніх електромагнітних полів під дією спеціальних матриць викликає підвищення значень пошкодженості, що характерно для всіх прийнятих складів (рис.1).

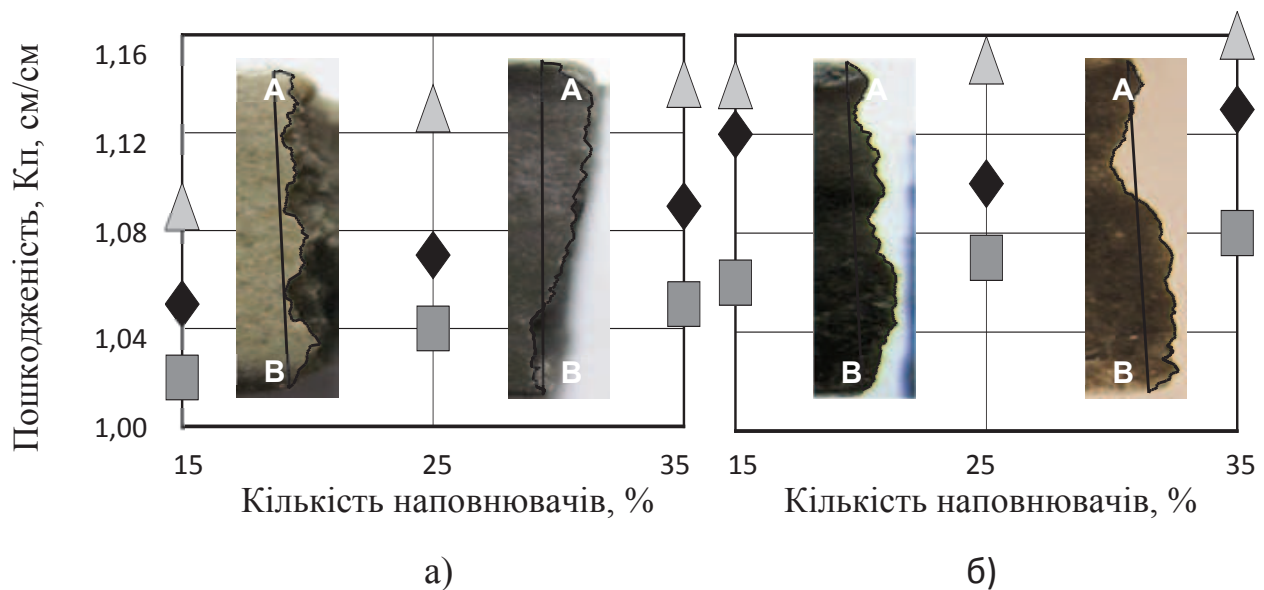


Рис.1. Коефіцієнт технологічної пошкодженості цементно-водних композицій при внутрішній та комплексній активації:

а) – без зміни ЗЕМВ;

б) – зі зміною ЗЕМВ;

◆ - $S_1=100 \text{ м}^2/\text{кг}$; ■ - $S_2=300 \text{ м}^2/\text{кг}$; ▲ - $S_3=500 \text{ м}^2/\text{кг}$;

$N=25\pm 10\%$ – кількість наповнювачів від об'єму в'язучого

Технологічна пошкодженість матеріалів на різного виду в'язучих залежить від вихідних умов кластероутворення. Спрямована взаємообумовлена організація кінцевої структури дозволяє одержати матеріали, які є стійкими до розвитку в них тріщин руйнування.

Оцінку тріщиностійкості цементних зразків здійснювали через коефіцієнти інтенсивності напружень K_{1c} . Тріщини ініціювали двома рекомендованими способами: закладенням металевої пластини у зразок при його формуванні (K_{1c}^3) та розпилем вже затверділого зразка (K_{1c}^p).

Для внутрішньої активації цементних композицій використовували наповнювачі з питомою поверхнею $S_{пт}=300\pm 200\text{ м}^2/\text{кг}$ в кількості $N=20\pm 10\%$ та тонкомелений гіпсовий камінь $S_{пт}=300\text{ м}^2/\text{кг}$ в кількості $N=3\pm 2\%$. Питома поверхня цементу (меленого клінкеру без домішок) дорівнювала $S_{пт}=300\text{ м}^2/\text{кг}$.

Значення коефіцієнтів інтенсивності напружень для цементного каменя, що не містив часток двоводного гіпсу та кварцових наповнювачів, склали: $K_{1c}^3=26,3\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, $K_{1c}^p=29,2\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$.

Прийняті способи внутрішньої, зовнішньої та комплексної активації забезпечили спрямовану організацію структури цементних композицій з виходом на конкретні показники технологічної пошкодженості та тріщиностійкості кінцевих матеріалів (рис.2).

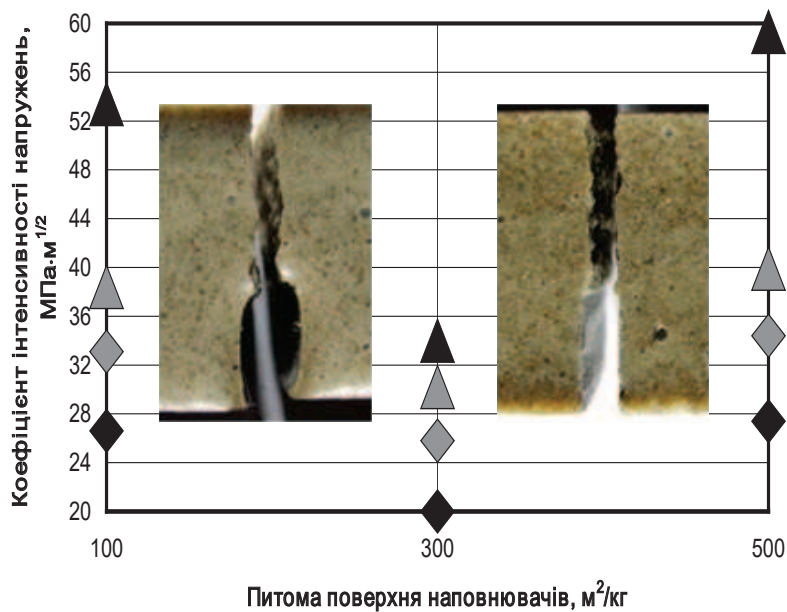


Рис.2. Тріщиностійкість комплексно активованих цементних композицій:

- ◇ – тріщина, одержана методом закладення при формуванні, K_{1c}^3 ;
- Δ – тріщина, одержана методом розпилу зразка, K_{1c}^p ;
- ◆, ▲ – цемент + 10% наповнювачів + 1% CaSO₄·2H₂O;
- ◇, ▲ – цемент + 30% наповнювачів + 1% CaSO₄·2H₂O

Для максимального підвищення значень $K_{п}$ та K_{1c} необхідно задавати вихідні умови структуроутворення, які сприяють збільшенню структурного

різноманіття систем на різного вигляду в'язучих (за рахунок введення полімінеральних та полідисперсних наповнювачів).

Рівень властивостей будівельних композитів є функцією їх структурного потенціалу. Можна припустити, що від різноманіття структур буде залежати діапазон кількісних значень механічних характеристик композицій на основі мінеральних в'язучих. При певних складах наповнювачів та використанні спеціальних матричних резонаторів можна зменшити витрату цементної частини до 35% без погіршення рівня міцнісних характеристик будівельних композиційних матеріалів. Введення моно- та полідисперсних наповнювачів до складу в'язучого робить можливим збільшення міцності цементного каменя при стиску та згині до 18-43%. Зовнішня активація сприяє зростанню показників міцності при стиску та згині до 22% та 30%, відповідно. Зміна кількісних та якісних складів наповнювачів дозволяє одержувати матеріали, що відрізняються за значеннями міцності на 18-48%. Комплексна активація цементних композицій викликає збільшення величини міцності при стиску до 2,2 разів, величини міцності при згині - до 39%.

Таким чином, використання раціональних наповнювачів та зміна параметрів зовнішніх електромагнітних впливів визначають прояв початкових об'ємних деформацій, що веде до зниження пошкодженості цементного каменя і до підвищення його механічних характеристик. Це дозволяє припустити, що внутрішня і зовнішня активація має сприяти такій структурній організації, при якій механічні властивості бетонів як систем, організованих за типом «структура в структурі», повинні підвищуватися. Було вивчено вплив комплексної активації на пошкодженість і механічні властивості бетонів.

Кількість кварцового наповнювача було прийнято 25% від маси цементу, питома поверхня наповнювача $S_{\text{пт}}=100 \text{ м}^2/\text{кг}$. Був розрахований склад бетонної суміші для отримання бетонів класу C16/20 (без наповнювача).

Аналіз отриманих результатів показав, що, при твердінні в умовах зовнішньої активації, міцність при стиску бетону, що не включав наповнювач, зросла на 20%. Введення раціональних наповнювачів дозволяє отримувати бетони, міцність яких практично не відрізняється від міцності бетонів, отриманих на основі бездобавочних цементів.

Використання кварцових наповнювачів до 25% по масі дозволило отримати бетони з показниками міцності, відповідним класам C20/25 і C25/30, з урахуванням перерахунку складів бетонної суміші. Зовнішня активація забезпечила підвищення міцності при стиску цих бетонів на 23% і 14%, відповідно. Таким чином, використання методів комплексної активації забезпечило отримання бетонів класу C25/30 замість C20/25 і класу C28/35, без зміни складу бетонної суміші.

Для бетонів прийнятих класів використання раціональних наповнювачів, без впливу зовнішніх електромагнітних впливів, сприяє зменшенню

пошкодженості матеріалу зразків на 10%. Комплексна активація веде до зниження коефіцієнта пошкодженості досліджуваних бетонів в середньому на 24%, що зумовило підвищення модуля пружності зразків до 20%.

Встановлено, що для отримання позитивних ефектів заформовані вироби повинні знаходитися в зоні дії перетворювачів зовнішніх електромагнітних впливів не менше 30 хвилин. Після 3 годин твердіння прояв будь-яких ефектів впливу фрактально-матричних резонаторів на формування структури матеріалу з виходом на властивості не спостерігався.

Надання узагальнених рекомендації щодо застосування методів тільки внутрішньої активації при виробництві бетонних і залізобетонних конструкцій є нераціональним, в силу того, що для кожного будівельного об'єкту бетонна суміш поставляється індивідуально. Тому були розроблені технологічні схеми комплексної та зовнішньої активації, в основу яких лягли проведені дослідження.

Комплексну активацію доцільно здійснювати в заводських умовах, де передбачено введення раціональних наповнювачів при приготуванні бетонних сумішей. Були запропоновані різні шляхи фіксації плівок-матриць на окремих формах, технологічному обладнанні та застосування у вигляді просторових конструкцій. Використання плівкових матричних резонаторів не потребує встановлення складного допоміжного технологічного устаткування, є технологічно безпечним та легким в експлуатації.

Можливість застосування зовнішньої активації вимагає розроблення спеціальних технологічних схем при виготовленні бетонних і залізобетонних конструкцій на будівельних майданчиках. Конструкція інвентарної опалубки дозволяє стаціонарно розташовувати плівку-матрицю технічно прийнятним для кожного випадку способом. Крім того, рекомендується накривати бетону поверхню після її укладки дерев'яними каркасами, обтягнутими плівковими матрицями, що дозволяє, крім безпосередньо самої активації, вирішити задачі догляду за бетоном.

Висновки.

Проведений комплекс досліджень показав, що властивості бетонів можна підвищити за рахунок зміни умов організації їх структури шляхом комплексної, зовнішньої та внутрішньої активації. Зміна параметрів зовнішнього електромагнітного поля як постійно діючого фактора за допомогою спеціальних фрактально-матричних резонаторів веде до зміни умов організації мікроструктури бетонів. Використання раціональних наповнювачів як внутрішнього фактора активації, одночасно з активуючою дією зовнішнього фактора, дозволяють управляти структуроутворенням тужавіючих систем, що сприяє зниженню пошкодженості цементної складової та підвищення механічних властивостей бетонів. На основі проведених експериментальних досліджень були розроблені технологічні схеми отримання активованих бетонів і виробів з них, що адаптовані до

існуючих технологічних ліній при індустріальному виробництві збірних залізобетонних конструкцій та до умов каркасно-монолітного будівництва.

1. Vyrovoy, V. M., Korobko, O. O., Sukhanov, V. G., & Posternak, O. O. Concrete as a self-organizing system. *Materials Science and Engineering*. 2019. Vol.708, No.1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012115>.

2. Вировой В.М., Суханов В.Г., Коробко О.О., Башинський О.І. Структуроутворююча та руйнівна роль тріщин у життєвому циклі конструкції-системи // Вісник Тернопільського національного технічного університету». 2015. № 4(80). С. 44-52.

Vyrovoy V.M., Sukhanov V.H., Korobko O.O., Bashynskiy O.I. Strukturoutvoriuiucha ta ruinivna rol trishchyn u zhyttievomu tsykli konstrukttsii-systemy // Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu». 2015. № 4(80). S. 44-52.

3. Структуроутворення та руйнування будівельних композитів : навч. посіб. / В.М. Вировой та ін. Одеса : ОДАБА, 2020. 172 с.

Strukturoutvorennia ta ruinuвання budivelnnykh kompozytiv : navch. posib. / V.M. Vyrovoy ta in. Odesa : ODAVA, 2020. 172 s.

4. Сурмін Ю.П. Теорія систем і системний аналіз : навч. посіб. Київ : МАУП, 2003. 368 с.

Surmin Yu.P. Teoriia system i systemnyi analiz : navch. posib. Kyiv : MAUP, 2003. 368 s.

5 Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В., Степасюк Ю.О., Скрипник М.М. Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 424 с.

Dvorkin L.I., Zhytkovskiy V.V., Marchuk V.V., Stepasiuk Yu.O., Skrypnyk M.M. Efektyvni tekhnolohii betoniv iz zastosuvanniam tekhnogennoi syrovyny : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2017. 424 s.

6. Суханов В.Г., Вировой В.М., Коробко О.О. Структура матеріалу в структурі конструкції : монографія. Одеса : ОДАБА, 2022. 412 с.

Sukhanov V.H., Vyrovoy V.M., Korobko O.O. Struktura materialu v strukturi konstrukttsii : monohrafiia. Odesa : ODAVA, 2022. 412 s.

7. Саницький М. А., Соболев Х.С., Марків Т.Є. Модифіковані композиційні цементи. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. 130 с.

Sanytskyi M. A., Sobol Kh.S., Markiv T.Ie. Modyfikovani kompozytsiini tsementy. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 2001. 130 s.

8. Енергоресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі / К.К. Пушкарьова та ін. К.: Задруга, 2014. 272 с.

Enerhoresursozberihaiuchi mineralni viazhuchi rehovyny ta kompozytsiini budivelni materialy na yikh osnovi / K.K. Pushkarova ta in. K.: Zadruha, 2014. 272 s.