

## КОМПЛЕКСНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА АКТИВАЦІЯ МІКРОСТРУКТУРИ БЕТОНІВ

**Ткаченко Г.Г.**, к.т.н., доцент

**Макарова С.С.**, к.т.н., доцент

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
svetlana.unay@yandex.ua

**Анотація.** Дослідженні цементні композити з наповнювачем (меленим піском). Для активації мікроструктури бетону застосовувалися спеціальні матричні резонатори. Встановлено, що найбільш ефективною є комплексна бетону, яка дозволяє вводити до 25% раціональних наповнювачів без зниження міцності і пружності бетонів класів М25 і М30. Розроблена технологічна схема комплексної активації бетону при виробництві залізобетонних конструкцій. Запропонований метод пройшов промислово перевірку і показав високу енергоефективність.

**Ключові слова:** цементні композити, активація, наповнювач, матричні резонатори, експериментально-статистичне моделювання.

## КОМПЛЕКСНАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АКТИВАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ БЕТОНА

**Ткаченко Г.Г.**, к.т.н., доцент

**Макарова С.С.**, к.т.н., доцент

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
svetlana.unay@yandex.ua

**Аннотация.** Исследованы цементные композиты с наполнителем (молотым песком). Для активации микроструктуры бетона применялись специальные матричные резонаторы. Установлено, что наиболее эффективной является комплексная бетона, которая позволяет вводить до 25% рациональных наполнителей без снижения прочности и упругости бетонов классов М25 и М30. Разработана технологическая схема комплексной активации бетона при производстве железобетонных конструкций. Предложенный метод прошел промышленную проверку и показал высокую энергоэффективность.

**Ключевые слова:** цементные композиты, активация, наполнитель, матричные резонаторы, экспериментально-статистическое моделирование.

## INTEGRATED ENERGY EFFICIENT ACTIVATION MICROSTRUCTURE OF CONCRETE

**Tkachenko G.G.**, PhD., Assistant Professor

**Makarova S.S.**, PhD., Assistant Professor

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
svetlana.unay@yandex.ua

**Abstract.** It is known that the activation of the concrete improves its quality. It is also known that the small fillers are effective for cement concrete. Cement composites with a filler (silica flour) have been investigated. Special matrix resonators activated microstructure of concrete. The matrix resonators activate the concrete without additional energy.

It uses experimental-statistical modelling. Two-factor experiment was conducted. The amount and dispersion of the filler was varied. Investigated concretes are active matrices, and control concrete without activation. It established the effective complex activation of the concrete. Activation changes the cluster structure of cement composites. Concrete hardens faster when using matrix resonators. Depending on the specific surface filler start solidification is changed to 1.5 hours. The use of filler increases the compressive strength at 22-36%. Integrated activation additional increases strength by 12% in comparison with the concrete without matrices. Activation also increases the tensile strength of 1.6 times.

25% rational fillers were used without reducing the strength and resilience the concrete M25 and M30 classes. Concrete activating effect persists for a long time (360 days and beyond). It was developed technological scheme of the complex activation in the production of reinforced concrete structures. The proposed method was tested in the construction industry. Experimental implementation has confirmed the effectiveness of the proposed method of activation

**Keywords:** cement composites, activation, filler, matrix resonators, experimental-statistical modeling.

**Вступ.** Сучасна будівельна галузь вимагає максимального використання потенціалу в'язучих і матеріалів на їх основі для забезпечення конкурентоздатності продукції на ринку, а також з метою енерго- і ресурсозбереження. Як показує накопичений теоретичний та практичний досвід, ефективним методом проявлення можливостей в'язучих систем є їх активізація різними способами: хімічним, термічним, електричним та магнітним, механічним та їх комбінаціями.

Проте, здійснення активації майже завжди вимагає витрати певної частки енергії та/або ресурсів. Тому технологам необхідно постійно порівнювати витрати на процес активації зі ступенем підвищення якості кінцевого матеріалу або виробу. З врахуванням зазначеного вище була висловлена наукова гіпотеза, що для композитів на основі цементних в'язучих до ефективних методів активізації процесів структуроутворення слід віднести метод зміни зовнішніх силових постійно діючих електромагнітних впливів за рахунок використання спеціальних фрактально-матричних резонаторів.

Будівельні матеріали та конструкції по своїй сутності є складними відкритими системи, що проявляють спроможність до саморегуляції структури. Процеси саморегуляції проходять під час зародження матеріалу як цілісної системи та продовжуються до проявлення явищ адаптації під час дії на матеріали конструкцій експлуатаційних навантажень. В залежності від швидкості реакцій на зовнішні дії розрізняють консервативні, метастабільні та активні елементи структури будівельних композитів [1].

**Мета досліджень.** Розробити метод комплексної енергоефективної активації мікроструктури бетонів для підвищення їх фізико-механічних властивостей.

**Методика дослідження.** Проведені дослідження властивостей цементних композитів при застосуванні комплексної енергоефективної активація їх мікроструктури [2,3]. Використання фрактально-матричних резонаторів дозволяє змінити дії електромагнітних хвиль як зовнішнього чинника. Поєднанні даного виду впливу зі зміною якісного та кількісного складу мінеральних наповнювачів як внутрішнього чинника дозволяє змінити умови початкової організації структури будівельних композитів як відкритих самоорганізуючих систем.

Зміна зовнішніх електромагнітних дій здійснювалася за допомогою фрактально-матричних резонаторів, принцип дії яких базується на здатності зміни параметрів електромагнітних хвиль при їх наскрізному проходженні через спеціальний малюнок, зроблений за допомогою графітовмістюючих фарб (патенти №1124; №8277). При проведенні досліджень зразки розмішувались на певний час у зону дії матриць, після чого визначали їх властивості та порівнювали з властивостями неактивованих зразків аналогічних складів.

В якості мінерального наповнювача був використаний мелений до різної питомої поверхні кварцовий пісок. Вибір наповнювача був обумовлений дешевизною і доступністю

матеріалу, а також тим, що кварцовий наповнювач практично не вступає в обмінні хімічні реакції при гідратації цементу при нормальних температурах, що дає змогу оцінити його вплив на фізико-механічні процеси організації мікроструктури бетону.

Дослідження проводилися з використанням методів математичного планування експерименту [4]. В якості незалежних факторів були прийняті: кількість наповнювача ( $X_1=25\pm 10\%$ ) та його питома поверхня ( $X_2 = 300\pm 200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Проводили дві паралельних серії експериментів за 2-х факторними планами. В першій вивчався вплив лише внутрішньої активації (за рахунок використання наповнювача), в другій – вплив комплексної активізація за рахунок використання трансформованих у матричних резонаторах зовнішніх електромагнітних хвиль і одночасно наповнювача.

**Результати досліджень.** Встановлено, що при заміні частини цементу відповідною кількістю наповнювача рухомість цементного тіста практично не змінювалась. За рахунок внутрішньої активації початкові об'ємні зміни тужавіючих композицій змінюються в 2-5 разів. Відмічено, що на розвиток цих змін більш впливає питома поверхня, а не кількість наповнювача. Комплексна активація веде до зменшення початкових об'ємних змін у 1.5-2 рази при збереженні впливу кількості та складу кварцового наповнювача.

В залежності від питомої поверхні наповнювача початок тужавлення змінюється до 1.5 годин. Комплексна активація скорочує час початку тужавлення та змінює час кінця тужавлення. Як внутрішня, так і зовнішня активації ведуть до зміни кількісного та якісного складів кластерних структур і, відповідно, міжкластерних поверхонь розділу. Ці поверхні спроможні залишитися в структурі затверділого матеріалу у вигляді технологічних тріщин та внутрішніх поверхонь розділу [5]. Активація зменшує коефіцієнт пошкодженості на 10% при умові використання раціонального наповнювача, що припускає дійовий вплив даних технологічних прийомів на зміну механічних властивостей мікроструктури бетону і самого бетону.

За рахунок внутрішньої активації значення міцності на розтяг при згині у віці 28 діб змінюється на величину до 1.6 разів (від 4.3 МПа до 6.7 МПа). Комплексна активація, при збереженні загальної залежності впливу наповнювача, веде до збільшення  $R_{bt}$  до 40%. Вплив комплексної активації зберігається тривалий час при твердінні зразків в природних умовах. Дослідження зразків у віці 160 діб підтвердили описані вище тенденції.

Прийняття рішень щодо ефективності комплексної активація мікроструктури бетонів має ґрунтуватися на комплексі показників, що обов'язково включає значення міцності при стиску. Вплив внутрішньої і комплексної активації (відповідно перша і друга серія експериментів) на зміну міцності при стиску у віці 28 діб показано на рис.1.

Як видно з діаграм, внутрішня активація (застосування наповнювача) дозволяє змінювати міцність при стиску на величину від 22% до 36%. Отримані результати вказують на можливість ефективного вирішення задач збільшення міцності при стиску та зменшення клінкерної складової цементів за рахунок використання раціонального наповнювача в умовах забезпечення потрібної міцності. Комплексна активація, як показують досліди, веде до збільшення міцності при стиску до 12% в порівнянні з внутрішньою активацією. Майже аналогічний вплив чинять описані вище фактори на міцність при стику композиту у віці 160 діб. Це показує, що прийняті методи активації процесів організації структури спонукають утворення мікроструктури, при якій механічні властивості бетонів як систем організованих по типу «структура в структурі», підвищуються.

Для вивчення ефективності комплексної активації бетонних і залізобетонних конструкцій була проведена серія експериментів, в яких визначалась міцність, пошкодженість і модуль пружності бетонів після тужавіння в нормальних умовах (у віці 28 і 360 діб). Досліджувалися бетони з кількістю в'язучого від 248 до 380  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Встановлено, що комплексна активація викликає зменшення технологічної пошкодженості бетону в середньому на 24 %, зменшення початкових об'ємних змін [6], збільшення міцності при стиску і модуля пружності відповідно на 28% і 24%. Відмічені ефекти зберігаються у віці 360 діб. Таким чином, направлена організація мікроструктури як

підсистеми сприяє підвищенню властивостей бетону як відкритої самоорганізуючої системи.

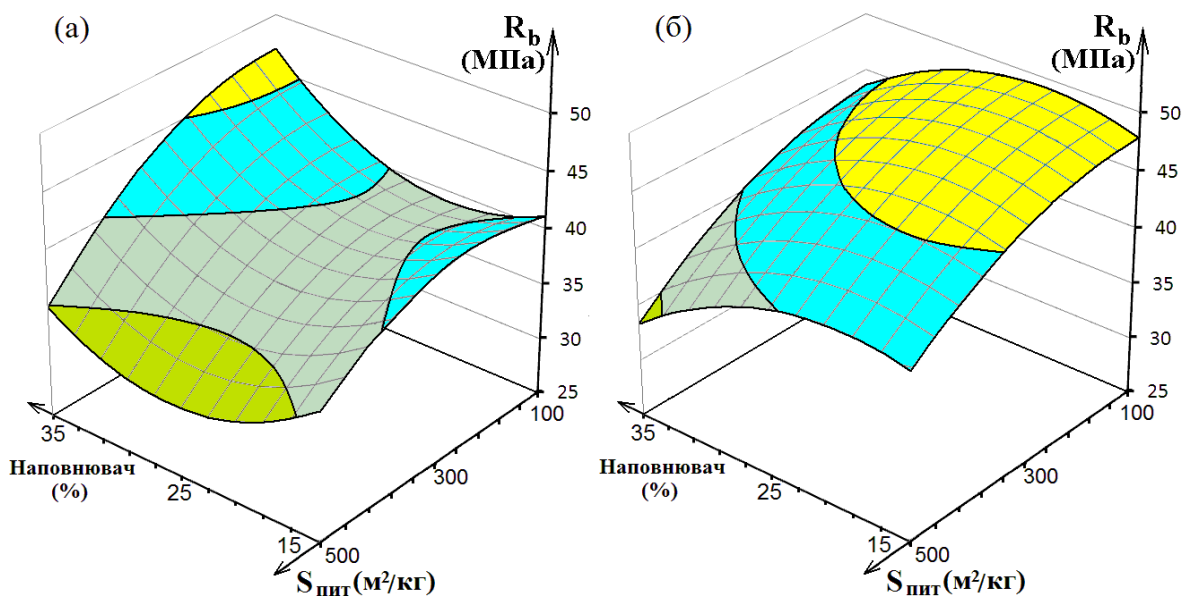


Рис. 1. Вплив методів активації, кількості наповнювача і його питомої поверхні на міцність цементного композиту при стиску:  
(а) – внутрішня активація (наповнювач);  
(б) – комплексна активізація (матричні резонатори і наповнювач)

За рахунок комплексної активізації, а саме застосуванню матричних резонаторів і раціонального наповнювача, кількість цементу може бути знижена на 20-25% при збереженні міцності матеріалу. Важливо, що запропонований метод активації має низьку фактичну вартість, яка складається лише з витрат на помел піску і на організацію двох додаткових технологічних операцій: введення наповнювача і становлення відповідних фрактально-матричних резонаторів.

На основі отриманих результатів були розроблені технологічні схеми енергоефективної комплексної активізації при виготовленні залізобетонних конструкцій в заводських умовах та при їх виготовленні на будівельних майданчиках. В заводських умовах передбачено введення раціональних наповнювачів та хімічних добавок при приготуванні бетонних сумішей. Розроблені технологічні рішення застосування фрактально-матричних резонаторів в залежності від способу виробництва конструкцій. Запропоновані різні фіксації плівок-матриць на окремих формах, технологічному устаткуванні та в вигляді просторових конструкцій (ковпаки, кришки, піддони і т.п.). Застосування не потребує встановлення допоміжного технологічного устаткування, є легким в експлуатації та технологічно безпечним.

У сучасному каркасно-монолітному будівництві розповсюджена інвентарна опалубки при бетонуванні горизонтальних поверхонь та вертикальних виробів. В зв'язку з тим, що для кожного будівельного об'єкту бетонна суміш поставляється індивідуально, створити узагальнений метод внутрішньої активації не є можливим. Було прийнято рішення застосування метода зовнішньої активації шляхом використання плівок-матриць. Конструкція інвентарної опалубки дозволяє стаціонарно встановлювати на них плівку-матрицю технічно прийнятними для кожного випадку шляхом. Крім того рекомендується покривати свіжовідформовану бетону поверхню каркасами із матриць, які крім активації дозволяють вирішувати задачу догляду за бетоном.

**Висновки.** Розроблено метод комплексної енергоефективної активізації мікроструктури бетонів, що дозволяє знизити витрату в'язучого у бетоні при мінімальних капітальних і поточних витратах на проведення активації. Використання комплексної активізації дозволяє

вводити до 25% раціональних наповнювачів без зниження міцності і пружності бетонів класів М25 і М30. Розроблено технологічні схеми отримання активованих бетонів і виробів з них, адаптовані до існуючих технологічних ліній при індустріальному виробництві збірних залізобетонних виробів та до умов монолітного будівництва. Застосування матричних резонаторів є легким в експлуатації та технологічно безпечним. Проведене експериментальне впровадження підтвердило ефективність розробленого методу активації.

### Література

1. Соломатов В.И. Композиционные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будивельник, 1991. – 144 с.
2. Ткаченко Г.Г. Изучение влияния внешних и внутренних факторов на формирование микроструктуры бетонов / Г.Г. Ткаченко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 35 - Одеса: Місто майстрів, 2009. – С. 342 – 348.
3. Ткаченко Г.Г. Улучшение механических свойств бетона за счет применения наполнителей и внешней активации / Г.Г. Ткаченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 26. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 436-441
4. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Місто майстрів, 1998. – 168 с.
5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
6. Выровой В.Н. Влияние внешней активации и степени наполнения на начальные объемные изменения в твердеющих цементных композициях / В.Н. Выровой, Г.Г. Ткаченко, С.А. Кровяков, С.Д. Бородулин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33. – Одеса: Зовнишрекламсервіс, 2009. – С. 167-171.