

БУДІВЕЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ЯК АУТОПОЕЗИСНА СИСТЕМА

BUILDING STRUCTURE AS AUTOPOISIS SYSTEM

Коробко О.О., д.т.н., доц. <https://orcid.org/0000-0001-7058-5268>, **Тимошова В.Д.**, асистент <https://orcid.org/0009-0001-3516-3104>, **Кушнір В.О.**, асистент <https://orcid.org/0009-0009-1891-2845> (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Korobko O.O., doctor of technical sciences, docent, **Tymoshova V.D.**, assistant, **Kushir V.O.**, assistant (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Подання будівельних конструкцій як аутопоезисних систем, що здатні до самовідтворення, дозволяє виявити фактори направленої формування взаємозв'язаних різнорівневих структур бетону з метою одержання заданого набору структурних елементів для підвищення стійкості матеріалу конструкцій і виробів в різних умовах експлуатації.

The offered theoretical positions and experimental results are based on the working hypothesis that the concept of the products of a system, which self-organizes and is open to external influences will identify ways of the directed organization interconnected different-level concrete structures. The review of scientific and technical information made possible to analyze the characteristic features of composition and formation of the structure of building composites as complex organized materials, the methods of their model description, the expediency of using a structural approach in construction materials science, the causes for occurrence of the deformation of various types that accompany the hardening of composite materials, various operating conditions and ways of protecting products and constructions. This served as the basis for substantiating the need to present the building product as the system-object with the specific order of the structure. All levels of the product heterogeneities, including the product itself, are open complex systems, which are organizing themselves in autopoiesis mode. Such order of structure formation assumes a certain selectivity of the organization of the system while maintaining its openness to the influence of the environment. Factors of control may only initiate structural changes, but do not determine in what ways they will occur. The mechanisms of the structure organization at the selected levels of heterogeneities are qualitatively differing. Individual complex of processes and the phenomena is realized at each level; however, all heterogeneities are in the multi-scale co-ordination and influence each other, causing the interconnected structural variations. This supports the self-organization of the material structure. The mutual influence of the structural

self-organization of individual levels of heterogeneities at the formation of the integral concrete structure is analyzed.

Ключові слова: конструкція, бетон, структурні рівні, самоорганізація, взаємовплив, аутопоезис.
structure, concrete, structural levels, self-organization, interaction, autopoiesis.

Вступ.

Будівельні конструкції можуть бути подані як складні системи, які здатні до самоорганізації, що передбачає їх існування у вигляді сукупності взаємопов'язаних підсистем. Разом з цим, будівельні конструкції можна представити у вигляді матеріалу, оформленого у певну геометричну форму, контур зовнішньої границі якого як цілісного об'єкта задається одночасно з початком його структуроутворення. Конструктивні особливості будівельних конструкцій і виробів значною мірою визначають параметри їх структури та зміну властивостей. Це дозволяє припустити, що зовнішня границя конструкцій є активним учасником її структурної організації як системи в якості одного з елементів. Такий особливий порядок організації структури бетону здійснюється за принципом аутопоезису. При експлуатації матеріалів відбувається трансформація вже сформованих раніше елементів структури зі зміною їх параметрів. Це також можна подати як самоорганізацію матеріалу, котрий шляхом структурної перебудови пристосовується до зовнішніх умов. Подання будівельних виробів як системи, що самоорганізується, та є відкритою до зовнішніх чинників, що дасть змогу виявити фактори направленої формування взаємозв'язаних різнорівневих підструктур бетону для одержання заданого набору структурних елементів, які визначають потенціал структури виробу в період його функціонування. Це дозволить забезпечити прояв та підтримку на нормативному рівні фізико-технічних властивостей будівельних виробів і конструкцій у різних умовах експлуатації.

Аналіз останніх досліджень.

Різноманітні способи, методи та результати аналізу будівельних матеріалів базуються на їх модельному уявленні. Модель структури матеріалу повинна, в необхідній для виконання цільових положень мірі, відображати характерні признаки його будови. Проведений огляд літературних джерел показав, що принциповою ознакою структури будівельних композитів є масштабні рівні зі специфічним набором складових. Виконано аналіз наукових робіт, присвячених дослідженню способів направленої одержання матеріалів на основі різного виду в'язучих. Питання спонтанного прояву процесів формування та адаптації структури розкрито в значній кількості наукових праць при різних модельних уявленнях матеріалу, включаючи моделі капілярно-пористих, поліструктурних, абіотичних та інших об'єктів. Динамічність структурних

взаємозв'язків забезпечує прояв властивостей матеріалу та сприяє їх збереженню на проектному рівні в період експлуатації. Аналізувати взаємодії складових структури матеріалів, як показав огляд відповідної літератури, доцільно, орієнтуючись на уявлення матеріалу і конструкції як систем певного виду. Це дозволяє більш повно розкрити вплив структури матеріалу на структуру конструкції, складовою частиною якого виступає матеріал, та реалізувати їх потенційні можливості.

Постановка мети та задачі досліджень.

Уявлення будівельних конструкцій і виробів як спеціально оформленого матеріалу обґрунтовує можливість виділення бетону в якості базової підсистеми конструкції-системи. Бетон, внаслідок поліструктурності, складається з індивідуальних складових частин (структурних рівнів), підпорядкованих один одному, різних за механізмами організації структури та здатних взаємодіяти між собою через поверхні розділу. При такій моделі бетону виділені структурні неоднорідності як системи можуть визначати організацію своїх підструктур та впливати на розвиток структури інших рівнів. Це вимагає аналізу структурних неоднорідностей як окремих відносно автономних складових матеріалу, що здатні до самочинної зміни своєї організації під дією внутрішніх та зовнішніх факторів. Тому була поставлена мета та задачі досліджень – обґрунтувати уявлення характерних неоднорідностей структури бетону як складних відкритих систем, що самоорганізуються, та визначити особливості їх взаємообумовленого впливу як взаємозалежних різномасштабних структур при формуванні інтегральної структури бетону. Встановлені закономірності дозволять виявити елементи кожного структурного рівня неоднорідностей, через направлену організацію яких можна одержувати структури із заданими параметрами та властивостями для безпечного функціонування будівельних конструкцій і виробів.

Методика досліджень.

В якості об'єкта аналізу була прийнята будівельна конструкція як відкрита система, що самоорганізується. При обґрунтуванні подання конструкції в вигляді системи зазначеного типу була визначена притаманність об'єкту та його окремим частинам наступних ознак: співіснування багатьох взаємозв'язаних елементів, їх відносна самостійність та спроможність вступати у колективні взаємодії, багаторівнева побудова, в якій кожна частина виконує спеціалізовані функції, здатність до самоорганізації, що проявляється як самозабезпечення структурного потенціалу та самозбереження власної цілісності шляхом відповідних структурних перебудов під впливом зовнішнього середовища.

Для проведення аналізу були виділені структурні неоднорідності бетону на рівні «заповнювачі - матричний матеріал» (макроструктура), на рівні часток в'язучого (мікроструктура) і на рівні продуктів новоутворень (наноструктура) при деяких припущеннях.

Макроструктура бетону була представлена як грубогетерогенна система, що складається з матриці, в якій певним чином розподілені заповнювачі. Матричний матеріал приймається як неоднорідне середовище зі складною внутрішньою організацією, що проявляє себе як єдине ціле. Формування структури макрорівня здійснюється шляхом взаємодії матриці із заповнювачами.

Мікроструктуру бетону можна представити неоднорідністю типу «частки дисперсної фази - дисперсійне середовище» у вигляді багатофазної гетерогенної висококонцентрованої ліофобної системи з ліофільною границею розділу фаз. Організація структури мікрорівня здійснюється шляхом самовільного розподілу дисперсних часток по впорядкованим структурним агрегатам при одночасній модифікації міжфазних поверхонь розділу. Мікроструктура є підсистемою макроструктури, що передбачає утворення її зовнішніх границь поверхнями розділу між заповнювачами і матричним матеріалом.

Наноструктура бетону може бути представлена рівнями структурних неоднорідностей типу «продукти новоутворень - дисперсійне середовище» і «продукти новоутворень - частки дисперсної фази». Структурування нанорівня відбувається в результаті термофлуктуаційних ефектів переміщення іонів з виникненням стабільних зародків нової фази, які беруть участь у формуванні як кристалічних утворень, так і гелеподібної складової. Наноструктура як підсистема включена до складу мікроструктури, тому її зовнішніми границями як структурної неоднорідності виступатимуть міжчасткові та міжкластерні поверхні розділу.

Заповнювачі в бетонній суміші розташовуються по відношенню один до одного в довільній орієнтації та на різних відстанях. При цьому групи заповнювачів і укладений між ними матричний матеріал утворюють структурні чарунки, які відрізняються між собою: формою; розмірами; співвідношеннями адгезійно-когезійних сил зв'язку на границях розділу між матрицею і заповнювачами. Матеріал, оформлений в конструкцію, являє собою сукупність унікальних макроструктур з різними фізичними, геометричними і просторовими характеристиками. При цьому в залежності від конфігурації зовнішня границя конструкції як її цілісності визначає спектр можливих форм макроструктурних складових бетону.

Мікроструктура є складовою частиною макрорівня і як матриця входить до складу структурних чарунків, що передбачає вплив їх параметрів на формування її зовнішніх границь. У свою чергу, від стану та морфології зовнішньої границі мікроструктурної неоднорідності залежать умови організації, як її власної структури, так і структури нанорівня.

Таким чином, структура бетону як підсистема будівельної конструкції являє собою певну ієрархію взаємопов'язаних рівнів структурних неоднорідностей, які виступають підсистемами для самого бетону, але системами для своїх структурних складових.

Результати досліджень.

Аналіз систем, структуроутворення яких здійснюється в результаті саморозвитку за участю границь, що визначають їх цілісність, може проводитися із застосуванням концепцій теорії аутопоезису [3]. Під терміном «аутопоезис» розуміють процес самовідтворення, самобудування. Таке уявлення передбачає, що організація аутопоезисних систем відбувається шляхом розвитку нелінійних сіток взаємовідносин на деякій множині елементів. При подібному способі структуроутворення складові компоненти систем постійно породжують і перетворюють один одного, реалізуючи сітку процесів, які їх же і виробляють. Відмінною особливістю аутопоезисної сітки є створення границі цієї сітки як активного компонента, що бере участь в її реалізації, позначаючи сферу операцій сітки і визначаючи її як єдине ціле.

Представлення бетону як аутопоезисної системи виключає жорстке підпорядкування одних його складових частин іншим (рис.1). Всі підсистеми бетону співіснують у загальній узгодженості взаємодій. Зміна параметрів одного рівня відбивається на умовах організації структури інших рівнів зі зміною параметрів їх структурних складових. Реалізовані зміни служать причиною зміни вже вихідних структур, що провокує подальшу взаємну ініціацію структуроутворення різних рівнів.

Співіснування зовнішніх границь передбачає організаційну замкнутість (автономність) структурних неоднорідностей бетону як систем, що передбачає непрямі (збуджуючі) впливи при їх взаємодії. Кожен з рівнів може лише ініціювати структурні зміни інших рівнів, але не управляти ними. Неоднорідності реагують на зовнішні впливи певними перетвореннями свого структурного оформлення тільки виходячи з внутрішніх можливостей.

При формуванні інтегральної структури бетону як складноорганізованої системи домінуюче положення займають процеси і явища, які протікають на рівні часток в'язучого. Це пов'язано з тим, що організація мікроструктури ініціює всі наступні структурні перетворення бетону на всіх рівнях неоднорідностей. Структуроутворення мікрорівня відбувається відповідно до характерних особливостей організації аутопоезисних систем, що обумовлено його автономністю як певної цілісності, а також властивими йому властивостями інактивації та ітерації.

Поняття інактивації передбачає, що спонукання (поштовх) до початку організації системи виходить не від зовнішніх впливів, а провокується внутрішніми причинами. Для мікроструктури такою причиною служить її прагнення, внаслідок нерівноважного стану, до зниження надлишкової поверхневої енергії. Властивість ітерації проявляється в незамкненості циклу організації мікроструктури, в постійному його самовідновленні і самоповненні, що дозволяє вибудовувати нові рівні структурної складності системи. Виходячи з цього, можна виділити процеси кластероутворення на мікрорівні в якості основоположних, що зумовлюють як організацію самої мікроструктури, так і формування інтегральної структури бетону.

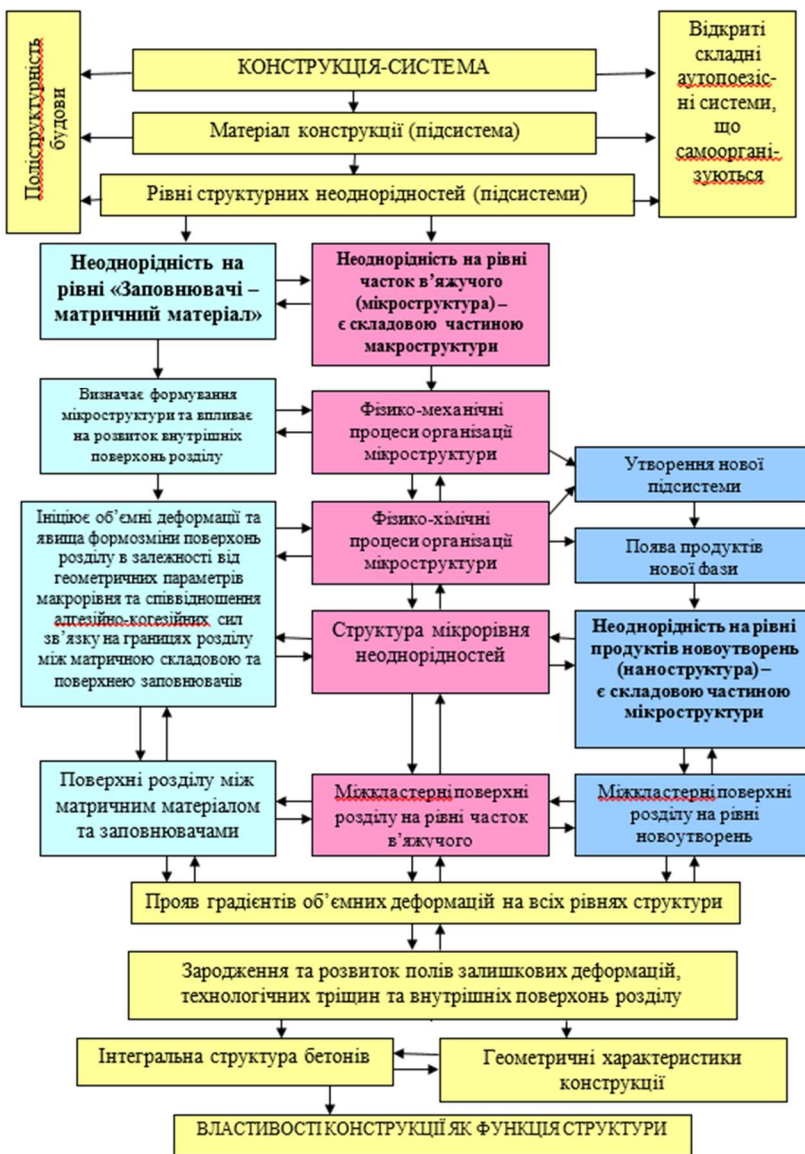


Рис.1. Взаємовплив рівнів структурних неоднорідностей при організації інтегральної структури конструкції-системи

Пот
внутрішніми характеристиками мікроструктури, включаючи стан і форму її

зовнішніх границь, При чому ці границі лише в початковий період визначаються параметрами структурних чарунків макрорівня. Міжчасткові і міжкластерні взаємодії проявляються як непрямі впливи, що надаються частками або кластерами один на одного, вибірково реагуючи на джерело хвилювання. Це дозволяє припустити, що мікроструктура як автономна система самостійно регулює флуктуації речовинного складу, зумовлюючи індивідуальні умови протікання фізико-хімічних процесів своєї організації.

Нанометричний розмір гідратних речовин дозволяє представити нову неоднорідність як наноструктуру з характерними для неї механізмами структуроутворення і сукупністю підструктур (стабільних структурних утворень - нанокластерів). Враховуючи, що наноструктура є складовою частиною мікрорівня, можна припустити, що її зовнішніми границями як цілісності будуть виступати міжчасткові та міжкластерні поверхні розділу. Існування зовнішніх границь та протікання в їх межах і при безпосередній участі процесів і явищ самовідтворення власних компонентів обумовлює аутопоезисну організацію нанорівня структурних неоднорідностей бетону.

Міжфазні взаємодії, що протікають в наноструктурі, супроводжуються проявом градієнтів об'ємних деформацій, які викликають формозміну її зовнішніх границь як системи. Це провокує зміну умов реалізації наступних обмінних реакцій і процесів організації нанокластерів, що відбивається на їх структурних формах і розподілі в об'ємі нанорівня, визначаючи зміну параметрів внутрішніх границь розділу наноструктури. Цим ініціюється нова хвиля деформацій з формозміною зовнішніх поверхонь системи та, як наслідок, черговий виток структурних перетворень.

В силу ієрархічної співвідпорядкованості рівнів структурних неоднорідностей бетону, зовнішні границі наноструктури є структурними складовими мікрорівня, що передбачає їх активну участь у процесах його організації. Градієнти об'ємних деформацій при виході на рівень мікроструктури впливають на умови протікання міжчасткових і міжкластерних взаємодій, що продовжують реалізовувати самі себе.

Градієнти об'ємних деформацій, що виявляються на внутрішніх поверхнях розділу мікроструктури, визначають організацію її структури як підсистеми (матриці) макрорівня. Неадитивна передача деформацій на зовнішні межі твердіючого матричного матеріалу веде до самовільної формозміни поверхонь розділу між матрицею і заповнювачами, унікальному для кожної структурної чарунки залежно від її параметрів. Індивідуальний розподіл градієнтів деформацій на зовнішніх для матричного матеріалу границях ініціює формування неповторної зворотної хвилі деформаційних впливів на рівні мікро- і наноструктур, викликаючи взаємообумовлені відгуки їх структурних трансформацій. Це призводить до перерозподілу деформацій та їх градієнтів у макроструктурі.

Взаємовплив процесів структуроутворення всіх неоднорідностей бетону як підсистеми будівельної конструкції визначає організацію її структури як

аутопоезисної системи. Слід враховувати, що реалізовані структурні особливості рівнів були зумовлені заданою формою конструкції. Градієнти локальних і інтегральних об'ємних деформацій бетону, проявляючись на зовнішніх границях конструкції, ведуть до зміни щільності матеріалу і, тим самим, формують поля залишкових напружень. Це передбачає, що організація структури, як окремих рівнів неоднорідностей бетону, так і самої конструкції, буде відбуватися під постійною дією полів їх власних деформацій.

Висновки.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що будівельна конструкція може бути представлена у вигляді певної цілісності, в котру в якості рівноправних складових входять як сама конструкція, так і матеріал, з якого вона виготовлена. Це передбачає, що всі особливості структурного оформлення матеріалу стають невід'ємною частиною структури конструкції. Бетон як підсистема конструкції являє собою складноорганізовану систему з характерними рівнями структурних неоднорідностей. Структурування неоднорідностей відбувається в результаті взаємної ініціації формування їх підструктур. Це дозволяє представити будівельну конструкцію та її окремі складові частини як аутопоезисні системи, що здатні самостійно створювати самі себе. Організація структури таких систем визначається участю всіх структурних складових, включаючи границі індивідуальних рівнів неоднорідностей як цілого, в реалізації сітки процесів, що забезпечують їх генезис та утворення певного набору характерних елементів, від взаємодії та взаємовпливів яких буде залежати безпека функціонування будівельних конструкцій та виробів в різних процесах експлуатації.

1. Бергаланфі Л. фон. Загальна теорія систем: основи, розвиток, застосування. Нью-Йорк: Джордж Бразиллер, 1968. 296 с.

Bertalanfi L. fon. Zahalna teoriia system: osnovy, rozvytok, zastosuvannia. Niu-York: Dzhordzh Brazyllyer, 1968. 296 s.

2. Хакен Х. Наука про структуру : синергетика. Нью-Йорк : Ван Ностранд Рейнхолд, 1984. 255 с.

Khaken Kh. Nauka pro strukturu : synerhetyka. Niu-York : Van Nostrand Reinkhold, 1984. 255 s.

3. Матурана У., Варела Ф. Древо пізнання: біологічне коріння людського розуміння. Бостон: Шамбала, 1987. 272 с.

Maturana U., Varela F. Drevo piznannia: biolohichne korinnia liudskoho rozuminnia. Boston: Shambala, 1987. 272 s.

4. 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 strukturі konstruksii : monohrafiia. Odesa : ODABA, 2022. 412 s.

УДК 624.014.2