

В. БОЛЬШАКОВ, Ю. ДУБРОВ

САМООРГАНІЗАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ: НАУКОВИЙ ФАКТ ЧИ ФАНТОМ?

Нові наукові теорії зазвичай привертають до себе увагу не тільки вчених, а й людей, так би мовити, близьких до науки. Це стосується, зокрема, і теорії фрактальних структур. Посилаючись на синергетичну теорію, деякі дослідники почали знаходити дещо спільне між фрактальною структурою матеріалу і можливостями його самоорганізації. Проте навіть синергетика неспроможна визначити умови, за яких матеріал міг би самоорганізуватися, оскільки для цього обов'язкова наявність мети, що в технічних системах є екзогенно привнесеною і тому автоматично включає в цей процес людину. Створення матеріалу, який би самоорганізовувався, еквівалентне явищу мимовільного виникнення живої клітини. Тобто йдеться про подію надзвичайно малоїмовірну. Тому без глибокого теоретичного аналізу та експериментальних доказів твердження про можливість «самоорганізації матеріалу» є некоректним.

Протягом тривалого часу своєї еволюції людство застосовувало науку як інструмент для одержання абсолютно нової, життєво необхідної інформації у середовищі, яке постійно змінювалося. На цьому шляху часто лунали панегірики на адресу нових наукових теорій, які привертали до себе увагу вчених і людей, що цікавилися наукою. Надмірна увага часто породжувала необґрунтовані або навіть фантастичні припущення щодо можливостей цих теорій і шляхів їх розвитку. Так було з теорією відносності, кібернетикою, теорією інформації, генетикою, теорією катастроф, які швидко ставали модними і широко рекламованими. Особливо наочно ця тенденція виявилася на етапі становлення теорії катастроф. В.І. Арнольд зазначає: «...З'явилися сотні наукових і навколонаукових публікацій, де теорія катастроф застосовується до таких різноманітних об'єктів, як, наприклад, биття серця, геометрична і фізична оптика, ембріологія, лінгвістика, експериментальна психологія, економіка, гідродинаміка, геологія і теорія елементарних частинок та багато іншого...»¹.

Дивна доля спіткала теорію фрактальних структур. Близько ста років тому поява фракталів у математичній літературі була сприйнята неприязно. «З огидою і жахом я відвертаюсь від цієї шкідливої болячки — безперервних функцій, які ніде не мають похідних», — писав Ерміт Стильтєсу. Шарль Ерміт навіть охрестив їх монстрами, про них заговорили як про патологію, що становить інтерес тільки для дослідників, схильних зловживати математичними дивацтвами.

Ситуація кардинально змінилася з появою в 1977 р. книги Б. Мальденбротта, з якої, власне, й почалося використання терміна «фракталь»². У ній було показано, що існування фрактальних множин дає змогу пояснити експериментальні результати, одержані в різних галузях. Намагаючись зрозуміти взаємозв'язок між фізикою мікроскопічного світу і макроскопічними явищами, вчені застосовували різні експериментальні методи у поєднанні з використанням фрактальної геометрії, що дало можливість узагальнити велику кількість результатів.

А деякі «майже фантасти, майже вчені», явно спрощуючи поняття фрактальності, розвивали ідею застосовності мови фрактальної геометрії до опису взаємозв'язку макро- і мікросвітів, трактували фрактальність як різномасштабність³. Вони розглядали її як стан енергетичної (або матеріальної) субстанції, коли розмір, вимірюваний в абсолютних числах, відсутній як поняття, а існує лише відносність, суцільна відносність. Мовляв, для фрактальної субстанції все одно— мати розміри атома чи розміри метра, розміри Землі чи розміри Всесвіту.

Колись, задовго до появи обговорюваної проблеми, чудовий російський поет В. Брюсов у яскравій поетичній формі висловив дуже схожу думку:

Быть может, эти электроны —
Миры, где сто материков.
Искусства, знания, войны, троны
И память сорока веков.
Еще, быть может, каждый атом —
Вселенная, где сто планет.
Там все, как здесь, в объеме сжатом
И даже то, чего здесь нет.

Подібні фантастичні передбачення підбадьорили окремих дослідників настільки, що вони почали шукати (і знаходити) дещо спільне між фрактальною структурою матеріалу і можливостями створення умов, за яких він самоорганізується, тобто набуває, з огляду на самоорганізацію, нових властивостей⁴. Останнє, очевидно, пов'язане з тим, що, як виявилось, з одного боку, всі структури, здатні самоорганізовуватися, можуть бути кількісно описані за допомогою фрактальної розмірності, а з другого, — як показали експерименти, більшість матеріальних структур має фрактальну природу. Для того, щоб упевнитися в можливості застосувати мову і принципи синергетики, створюючи здатні до самоорганізації матеріали, коли відбувається нібито самозародження матеріалів з новими, раніше не притаманними їм властивостями, розглянемо детальніше поняття «організація» і «самоорганізація», на яких базується синергетика як наука.

Оскільки спроба подачі точних визначень могла ускладнити розуміння передумов, які спричинили написання цієї статті, то дотепер ми використовували деякі поняття, не обговорюючи їх точний зміст. Проте надалі нам не обійтися без чіткіших дефініцій. Наведемо ті визначення необхідних для подальшого опису понять, які прийнятні для більшості вчених, причетних до досліджень як проблем синергетики взагалі, так і проблем створення матеріалів із заданими властивостями.

Організація — це властивість матеріальних та абстрактних систем виявляти взаємозалежну поведінку в рамках цілого.

Самоорганізація — це властивість матеріальних та абстрактних систем, яка зумовлює зміни їх організованості⁵.

Процеси, що відбуваються у цих системах, поділяються на три основні типи:

— самозародження організації, тобто виникнення з певної сукупності цілісних об'єктів певного рівня нової цілісної системи зі своїми специфічними закономірностями;

— процеси, завдяки яким система підтримує певний рівень організації при зміні зовнішніх і внутрішніх умов її функціонування;

— процеси, пов'язані з удосконаленням і саморозвитком систем, здатних накопичувати і використовувати минулий досвід.

На нашу думку, кожен з наведених типів — це одна з кількох характеристик одного і того ж процесу, оскільки, наприклад, неможливо навіть теоретично уявити собі існування системи, яка самоорганізується, без накопичення і використання попереднього досвіду для спрямованої підтримки певного рівня організованості. Особливо слід виділити процес самозародження організації. Якщо таке справді може трапитися, то цей процес неможливий як без підтримки досягнутого рівня організованості, так і без здатності накопичення заново виниклою організацією минулого досвіду. Якщо погодитися з цією тезою, то треба визнати і те, що процес самозародження організації нездійснений без реалізації нею цілеспрямованих дій. А це робить сумнівною можливість виникнення процесу самозародження організації з елементів, які не здатні приймати рішення і не мають пам'яті.

У рамках наведених визначень організацію можна розглядати як множину взаємопов'язаних елементів, кожен з яких підпорядкований певній меті. Їх цілі не обов'язково повинні збігатися але, очевидно, для нормального функціонування організації вони здебільшого мають бути несуперечливими. У цьому зв'язку систему, що самоорганізується, можна розглядати як організацію, спроможну для власного виживання у постійно змінюваному зовнішньому середовищі змінювати не тільки зв'язки між своїми складовими елементами, а й мету свого функціонування⁶. При цьому взаємодії системи із середовищем можуть мати різну природу і бути пов'язаними або з перенесенням інформації в чистому вигляді, або з перенесенням речовини чи енергії, що власне також є способом передачі інформації.

Навіть поверховий аналіз наведених визначень процесів самоорганізації показує, що йдеться про системи, здатні накопичувати попередній досвід і використовувати його для екстраполяції тенденцій свого розвитку. Тому, на наш погляд, доволі точно визначення поняття «організація» і «самоорганізація» дав Г. Паск, називаючи такими лише ті системи, про елементи яких можна стверджувати, що вони приймають рішення⁷. *Тож логічно припустити, що прийняття системою того чи іншого рішення можливе тільки за наявності у неї цілі функціонування, оскільки лише підпорядкування єдиній меті елементів цієї системи визначає їх взаємозалежну поведінку в рамках цілого.*

Тому розглянемо в контексті даного питання поняття «ціль» і пов'язані з ним дефініції. Дати визначення цьому поняттю важко у зв'язку з тим, що процес цілеутворення досить складний і не досліджений остаточно. Ми ж розглядатимемо тут ціль як те, до чого прагне система в процесі свого функціонування. Звичайно цілі технічних систем, що самоорганізуються, мають екзогенний характер, тобто задаються іззовні. Оскільки поняття «смысл» і «ціль» нероздільні, то в рамках нашої проблеми необхідно розглянути питання «самозародження цілі», ідентичне питанню «самозародження смыслу». Останнє пов'язане з тим, що деякі автори, незмінно посилаючись на синергетику як методологічну основу розв'язання актуальних проблем самоорганізації матеріалів, оперують такими визначеннями, як, наприклад, «пам'ять металу» або «самоорганізація структури покриття...». Оскільки ці поняття неявно, але обов'язково включають у себе поняття «смысл» («ціль»), ми уважніше розглянемо гіпотетичний механізм самозародження смыслу і проаналізуємо, чи можливий він взагалі і зокрема в такому матеріалі, як метал.

Для цього розглянемо тлумачення такого явища, як «самозародження смыслу» в одній з монографій, присвячених цьому питанню⁸. Автор порівнює окрему фізичну систему — «лазер» — з кількома модельними системами біології, справедливо зазначаючи, що

«...одна з дивовижних особливостей будь-якої біологічної системи — надзвичайно високий ступінь координації між окремими її частинами...». Важко не погодитися з тезою автора про те, що ця координація неможлива без передачі інформації, яка «...є вирішальним елементом існування самого життя...». Очевидно, це і стало поштовхом до висновку про можливість створення металу, який самоорганізується.

Однак нагадаймо, що оскільки інформація не може виникати в системах, котрі перебувають у стані теплової рівноваги, то й процес виникнення цілі, або самозародження смислу (якщо це взагалі можливо), повинен розглядатися тільки стосовно відкритих систем. Як було показано багатьма авторами, що вивчають системи, далекі від теплової рівноваги, у цих системах через спільну дію деяких їхніх параметрів часто виникають певним чином упорядковані просторові або часові структури. І все ж для цих систем терміни «ціль» і «смысл» не придатні, а тому незастосовне і таке визначення, як «самоорганізація». З другого боку, виникнення подібних структур багатьма вченими трактується як виникнення інформації (наприклад, виникнення повторюваних коливань хімічної реакції Білоусова — Жаботинського⁹).

На наш погляд, інформація існує тоді, і тільки тоді, коли є суб'єкт, який її сприймає. До цього моменту стан фізичного об'єкта не несе жодного семантичного навантаження. Воно виникає тільки тоді, коли з'являється «спостерігач», який сприймає стан фізичного об'єкта і відповідним чином його інтерпретує. Для прикладу можна розглянути лазер, опис дії якого взято зі згаданої монографії Г. Хакена. Він складається з кристалічного стрижня або скляної трубки, заповненої газом. Атоми робочого тіла лазера, якщо їх збудити («накачати» іззовні), випромінюють світлові хвилі. За малої потужності «накачування» ці хвилі *некорельовані*, як у світлі, що його випромінює звичайна лампа. Та варто підвищити потужність «накачування» до критичної позначки, як атоми починають випромінювати чисто синусоїдальну хвилю. Чи означає це, що атоми поводяться строго корельовано, тобто *самоорганізуються*, як твердить автор згаданої монографії¹⁰?! З цього погляду, утворення цуг хвиль, які випускаються кожним збудженим атомом лазера після «накачування» іззовні, характеризує передусім перехід системи з одного фізичного стану в інший. І якщо цей новий фізичний стан сприймається та оцінюється якимось спостерігачем, то це і є інформація, а якщо ні, то таке фізичне явище існує незалежно від нашої свідомості.

Таким чином, будь-яке фізичне явище можна трактувати як інформацію, але воно не буде при цьому тільки інформацією, як тлумачить його, наприклад, Г. Хакен («...*випущені цуги хвиль можуть зіштовхнутися з іншим збудженим атомом, що призведе до посилення випущеної хвилі. Отже, інформація може використовуватися для підсилення сигналу*»¹¹). Автор ніби бажає примусити нас забути, що інформація в цьому разі вторинна, а первинним є фізичне явище, яке призводить до посилення хвилі. Далі стверджується, що оскільки за досить великої амплітуди сигналу саме поле стає когерентним і перетворюється на одну практично нескінченно довгу синусоїду, то перед нами типовий приклад самоорганізації: «...*часова структура когерентної хвилі виникає без втручання іззовні...*». А хто ж здійснив «накачування» лазера, внаслідок чого виникла когерентна хвиля?

Останнім часом у синергетиці інтенсивно досліджуються питання про еволюцію інформації, зокрема біологічної. Тепер проблема походження життя формулюється як проблема спонтанного виникнення нової біологічної інформації. Думка про те, що до сприйняття інформації здатні тільки біологічні системи, тепер уже нікого не дивує. Та *чи може система сприймати інформацію, виробляючи на неї відповідну реакцію, якщо у цієї системи відсутня мета функціонування?* Це основне питання для розуміння можливості

самоорганізації взагалі і самоорганізації певного матеріалу зокрема. Відповідь на нього відразу дала б можливість відповісти на багато інших запитань, найважливішим з яких є сакраментальне: *як з неживого виникає живе?* Існує менш змістовне твердження про те, що *інформація— це вибір одного варіанта з кількох рівноправних*. Таке твердження означає, що всі варіанти пов'язані між собою чимось спільним. Цим спільним є ціль, яка визначає вибір того чи іншого варіанта.

З другого боку, самоорганізація матеріалу може розглядатися лише в рамках термодинаміки і за допомогою її термінів. А це наперед визначає неможливість її здійснення в закритих системах через відсутність у них принципу симетричності. Так, наприклад, симетричність механічних рухів впливає безпосередньо із самих рівнянь руху і при заміні знаку часу змінює знак і швидкість частинки, а прискорення, яке входить до рівняння, зберігає свій знак. Зовсім інша картина спостерігається у сфері теплових процесів, зворотний порядок проходження яких неможливий, оскільки самі вони незворотні. Під час усіх теплових процесів, які відбуваються у замкнутій системі, її ентропія зростає. Тому самоорганізація таких систем без зовнішнього втручання неможлива.

Вважається, що самоорганізація (тобто виникнення структур) може відбуватися за таких умов:

- система є термодинамічно відкритою, тобто може обмінюватися речовиною, інформацією чи енергією із середовищем;
- динаміка системи нелінійна (нелінійні динамічні рівняння системи);
- відхилення системи від рівноваги перевищує критичне значення;
- мікроскопічні процеси в системі відбуваються узгоджено (кооперативно) ¹².

Більшість учених, які працюють у галузі теорії інформації, дійшли єдиної думки про те, що *тільки жива матерія є невіддільною від інформації*. Тому, хоч як би нам цього хотілося, а спостерігати процес самоорганізації матеріалу без участі людини нам ніколи не вдасться. І навіть більше: *вчені сходяться на думці, що жива матерія є субстратом інформаційних процесів, які регулюють життя і поведінку*. Наприклад, в екології як одна з мір стійкості біологічного суспільства використовується його різноманітність. По суті, ця міра виражає кількість інформації, наявної у суспільстві. І чим різноманітніше суспільство, чим більше в ньому особин, які різняться за своїми характеристиками, тим воно стійкіше щодо коливань зовнішнього середовища. (Чи не тому незбагнено привабливою є картина К. Малевича «Чорний квадрат», що містить у собі безмежно велику різноманітність, а отже, безмежно велику кількість інформації?)

Таким чином, запитання «Чи можлива самоорганізація матеріалу?» еквівалентне запитанням «Чи може виникнути мета в деякому матеріалі без втручання людини?» або «Як виникла у біологічній системі мета, яка визначила її еволюцію?». Відповіді на них є водночас відповідями на запитання «Як виникла цінна біологічна інформація?». Така інформація включає генетичний код і записану в ньому смисловою інформацію. Кількість різних, але функціонально еквівалентних кодів тут величезна і вимірюється кількістю можливих перестановок у наборі з 20 амінокислот, які входять до білків. Та все ж у сучасній біосфері представлено тільки один-єдиний варіант коду.

Отже, можна зробити висновок, що на початку біологічної еволюції відбувся вибір одного варіанта з безлічі можливих і так виникла цінна інформація. Припущення, що це трапилося випадково, абсурдне. Дуже образно висловився з цього приводу відомий письменник і вчений С.Лем: «Коли б уся Земля являла собою океан білкового бульйону, коли б вона мала радіус у п'ять разів більший, ніж насправді, то й тоді маси бульйону було б ще недостатньо для випадкового виникнення таких вузько спеціалізованих ферментів, які необхідні для "запуску життя"» ¹³.

Таким чином, щоб пояснити реалізацію певного етапу біогенезу, необхідно вдатися до постулату виникнення надзвичайно малоїмовірної події, бо чотирьох мільярдів років абсолютно не досить для створення живої клітини шляхом повторних «витягів» її наосліп із статистичного мішка всіх мислимих можливостей. До цього часу зроблено кілька спроб розібратися у цьому питанні, проте жодна, на наш погляд, не дала переконливих результатів. З другого боку, є підтверджені розрахунками гіпотези про те, що форма існування живої матерії, яку ми з вами спостерігаємо, не єдина. Розвиток теорії елементарних частинок дав підстави для припущення про існування інших світів, навіть з іншим числом просторових вимірів. Число можливих різних світів має порядок 10^{15000} (за оцінками А.Д. Сахарова) ¹⁴.

Питання мимовільного виникнення мети чи мимовільного самозародження смислу в будь-якій системі (чи то матеріалі, чи системі штучного інтелекту, чи в якійсь іншій системі живої або неживої природи) еквівалентне питанню виникнення життя або еволюції Всесвіту.

Інакше кажучи, штучне створення матеріалу, що самоорганізується, еквівалентне штучному створенню живої клітини. Подібні явища надзвичайно малоїмовірні, а рівень наших знань про їх механізм нульовий. Тому навряд чи виправдано без глибокого теоретичного аналізу й експериментальних доказів давати такі визначення, як «самоорганізація матеріалу».

Будь-яка самоорганізація, яка відбувається на соціальному або технологічному рівні, можлива тільки за умови взаємодії кількох організмів або організму і механізму. Самоорганізація матеріалу без участі людини неможлива. У будь-якому процесі самоорганізації на технологічному рівні завжди можна виявити антропоморфну складову.

Математичний апарат, за допомогою якого звичайно описують взаємодію і взаємозв'язки матерії та інформації, — це теорія динамічних систем. Даний метод опису відомий майже століття, і наука синергетика, яка недавно виникла, не додала до нього нічого нового. Єдиним, але дуже сильним впливом синергетики на науку виявилось об'єднання під одним прапором з накресленим на ньому девізом «Самоорганізація» вчених, які працюють у різних галузях хімії, фізики, біології, кібернетики та інших наук. Таке об'єднання є наочним прикладом самоорганізації, що ґрунтується на конкуренції і спільній дії, під впливом повільно і плавно змінюваного параметра. Цим параметром у даному конкретному випадку є повільне і плавне зростання кількості наукової інформації, яка стосується питань самоорганізації.

В. Большаков, Ю. Дубров

**САМООРГАНІЗАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ:
НАУКОВИЙ ФАКТ ЧИ ФАНТОМ?**

Резюме

Здійснено аналіз можливостей щодо створення матеріалу, який самоорганізується. Показано, що ця задача еквівалентна задачі штучного створення живої клітини. Подібні утворення надзвичайно мало ймовірні, оскільки рівень наших знань їхнього механізму нульовий. У будь-якому процесі самоорганізації, що відбувається на технологічному рівні, завжди можна виявити антропоморфну складову. На цій підставі автори формулюють висновок, що без глибокого теоретичного аналізу й експериментальних доказів неприпустимо вдаватися до таких визначень, як «самоорганізація матеріалу».

V. Bolshakov, Yu. Dubrov

MATERIALS SELFORGANIZATION: SCIENTIFIC FACT OR PHANTOM?

Summary

Analysis of possibilities on selforganized material creation has been carried out. It has been shown that this task is equal to the task of living cell artificial creation. Such constructions are of extreme probability, because the level of our knowledge about their mechanism is zero. At any selforganization process, taking place at technological level, the antropomorphal component can always be found. On this basis authors draw a conclusion that it is illegally without thorough theoretical analysis and experimental arguments to resort to such definitions as «Material selforganization».

© БОЛЬШАКОВ Володимир Іванович. Доктор технічних наук, професор. Ректор Придніпровської державної академії будівництва і архітектури (Дніпропетровськ).

ДУБРОВ Юрій Ісайович. Доктор технічних наук, професор Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. 2002.

¹ [\[до тексту\]](#) Арнольд В.И. Теория катастроф. — М.: Наука, 1990. — 128 с.

² [\[до тексту\]](#) Mandelbrot B.B. Fractals: Form? Chance and Dimension (W.N. Freeman, San Francisco), 1977.

³ [\[до тексту\]](#) Мулдашев Э. В поисках города Богов. — М.: Аиф — Принт, 2001. — С. 376—377.

⁴ [\[до тексту\]](#) Див. наприклад: Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. — М: Наука, 1994. — 363 с.; Иванова В.С. От дислокаций к фракталам: Части 1 и 2. // Материаловедение. — 2000. — № 12. — С. 19—25; 2001.— № 1. — С. 22—29.

⁵ [\[до тексту\]](#) У визначенні самоорганізації можна було б виділити також її здатність збільшувати порядок матеріальних і абстрактних систем. Однак ми виключили цю ознаку, оскільки збільшення порядку в системі може відбуватися тільки згідно з метою її функціонування, тому збільшення порядку в системі тотожне її самоорганізації. Див. наприклад: Самоорганизующиеся системы. — М.: Мир, 1964; Принципы

самоорганизации. — М.: Мир, 1966; Исследования по общей теории систем. — М.: Прогресс, 1969.

⁶ [\[до тексту\]](#) Д у б р о в Ю.И. Один из возможных путей прогнозирования последствий вмешательства в эволюционные процессы. — Доп. НАНУ. — 2002. — №3. — С. 190—197.

⁷ [\[до тексту\]](#) П а с к Г. Модель эволюции // Принципы самоорганизации. — М.: Мир, 1966. — С.284—314.

⁸ [\[до тексту\]](#) Х а к е н Г. Информация и самоорганизация. — М.: Мир, 1991. — С. 45—62.

⁹ [\[до тексту\]](#) Ж а б о т и н с к и й А.М. Концентрационные автоколебания. — М.: Наука, 1974.

¹⁰ [\[до тексту\]](#) Х а к е н Г. Цитована праця. — С. 46.

¹¹ [\[до тексту\]](#) Там само. — С. 47.

¹² [\[до тексту\]](#) Э б е л и н г В. Образование структур при необратимых процессах. — М.: Мир, 1979.

¹³ [\[до тексту\]](#) Л е м С. Сумма технологий. — М.: Мир, 1968.

¹⁴ [\[до тексту\]](#) Наведені дані взято з: Ч е р н а в с к и й Д.С. Синергетика и информация. — М.: Знание, 1990.