

**БОЛЬШАКОВ**  
**Вадим Іванович** —  
академік НАН України,  
директор Інституту чорної  
металургії ім. З.І. Некрасова  
НАН України

**БОЛЬШАКОВ**  
**Володимир Іванович** —  
доктор технічних наук,  
професор, ректор  
Придніпровської державної  
академії будівництва  
та архітектури

**ДУБРОВ**  
**Юрій Ісайович** —  
доктор технічних наук,  
професор кафедри  
матеріалознавства та обробки  
матеріалів Придніпровської  
державної академії  
будівництва та архітектури

УДК 519.21

## ПРО НЕПОВНОТУ ФОРМАЛЬНОЇ АКсіОМАТИКИ В ЗАДАЧАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ

*Уперше використано теорему Геделя про неповноту в ідентифікації структури сталі. Для часткового усунення неповноти твердження про можливу самоорганізацію системи неживої природи, різновиду металів, застосовано принцип зовнішнього доповнення Біра.*

**Ключові слова:** самоорганізація, теорема Геделя, обчислювальна незвідність, відкриті системи, принцип Біра.

Різне тлумачення проблеми самоорганізації неживих систем типу металів зумовлює необґрунтоване присвоювання деякими авторами неживим об'єктам властивостей, притаманних тільки живим істотам. У кількох публікаціях (див., наприклад, [1, 2]), застосовуючи, на наш погляд, досить аргументовані докази, ми підтвердили давно відому істину: *процес самоорганізації властивий лише відкритим системам, якими є виключно живі системи*. Проте поширення двоякого погляду на зазначену проблему змусило нас ще раз повернутися до цього питання, оскільки такі судження породжують помилкове, а іноді, на нашу думку, і спекулятивне тлумачення механізму функціонування неживих систем, зокрема різновидів металів.

Найімовірніше, саме наявність подібних трактувань ініціювала створення такого напрямку наукових досліджень, як *синергетика*, що пропонує критерієм живого вважати здатність системи до самоорганізації. Термін «синергетика» вперше ввів професор Г. Хакен (Hermann Haken), який використовував його для того, щоб підкреслити принципову роль колективних взаємодій у виникненні процесів самоорганізації в різних *відкритих системах*. На основі результатів численних досліджень процесів організації та самоорганізації прийнято вважати, що *організація* — це властивість матеріальних і абстрактних систем виявляти взаємозалежну поведінку в рамках цілого, а

*самоорганізація* — це властивість матеріальних і абстрактних систем змінювати свою організацію [3–5].

Таке тлумачення цих процесів повністю відповідає погляду вченого-кібернетика Г. Паска (Gordon Pask), згідно з яким під самоорганізаційною системою слід розуміти таку систему, відносно елементів якої можна стверджувати, що вони приймають рішення, спрямовані на досягнення спільної для всієї системи мети [6]. При цьому нерідко процес самоорганізації інтерпретують як спонтанне ускладнення форми чи в загальному випадку — структури системи за повільної і плавної зміни керуючого параметра. Ускладнення структури системи часто пропонують трактувати як зміну її стійкості, що еквівалентно виникненню катастрофи [7]. Така інтерпретація призводить до того, що спонтанне ускладнення форми або структури системи неживої природи деякі дослідники іноді помилково сприймають як процес самоорганізації.

Прикладом такої омани може бути хибна інтерпретація процесу виникнення комірок Бенара [8]. Це явище полягає в тому, що в плоскій посудині з рідиною, яка рівномірно підігрівается знизу, спонтанно утворюються конвективні вихрові течії. Якщо потужність підігріву перевищує певне критичне значення, вихори утворюють регулярну структуру. Можна навести ще багато прикладів спонтанних процесів, які можуть помилково сприйматися як самоорганізація об'єктів неживої природи. Скажімо, процес утворення алмазу в природних умовах під одночасною дією на вуглець високого тиску і високої температури.

На противагу цим міркуванням нам можуть указати на відомі факти, коли цілком детермінована динамічна система неживої природи породжує закономірний процес, тобто опоненти заявляють, що ця система самоорганізовується. Дійсно, загальновідомо, що подібні фізичні системи існують, але всі вони є *обчислювально незвідними*<sup>1</sup> [9, 10]. Це означає, що такі

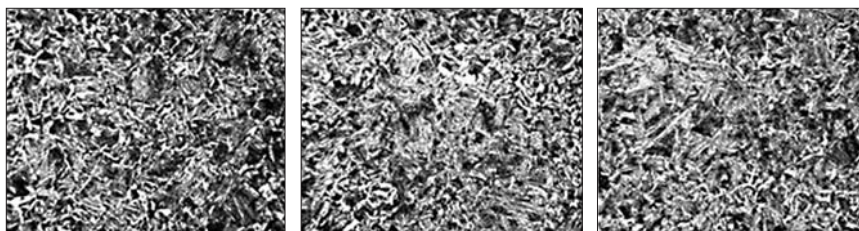
<sup>1</sup> Концепцію істинної випадковості та обчислювальної незвідності сформульовано у роботі [10]. Під обчислювальною незвідністю ми розуміємо представлення

системи не можуть бути самоорганізованими, оскільки їх обчислювальна незвідність характеризується непередбачуваністю результатів їх функціонування, а отже, неможливістю вироблення ними адекватних «керуючих впливів» на непередбачувані результати їх функціонування. Тому цим системам притаманна властивість *глобальної нестійкості*, яка виявляється в тому, що за однакових початкових умов, наприклад у виробництві металу (однаковий вміст компонентів, однакові технологічні режими), отримують зразки, структура яких візуально сприймається як неоднакова (див. фото шліфів). Унаслідок цього, незважаючи на велику кількість матеріалознавчих робіт, присвячених визначенню якості металу на основі аналізу його структури, через *обчислювальну незвідність* результатів цього аналізу практично якість металу найчастіше визначають на основі статистики або аналізу передісторії його отримання. Тому наведені фотографії структури шліфів незалежно від ступеня подібності їх зображень можуть фактично однаковою мірою відображувати механічні властивості сталі.

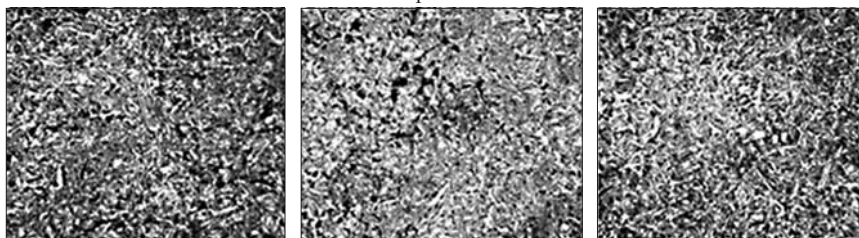
Застосування статистики в аналізі структури металу свідчить про те, що непіддатні *детермінованому аналізу* розбіжності в зображенні шліфів є наслідком *обчислювальної незвідності* процесу отримання металу. В іншому разі користувач знайшов би точніший спосіб визначення зв'язку структури металу з його механічними властивостями.

---

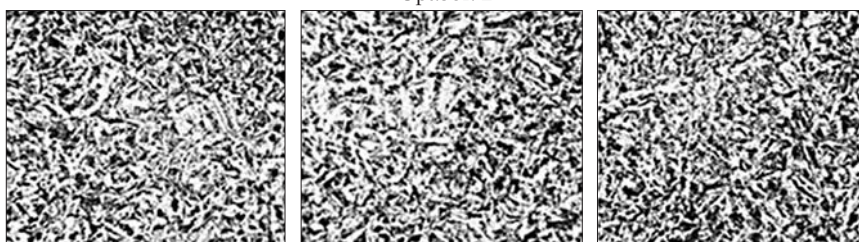
структури, наприклад сталі, за допомогою будь-якої математично вираженої закономірності. Неможливість знайти таку допустимо точну закономірність пояснює виникнення в деяких галузях прикладної науки (наприклад, у матеріалознавстві) безлічі моделей суто емпіричного характеру, які дуже приблизно описують ті чи інші процеси. В науковому середовищі є дещо перебільшений, але по суті справедливий вислів: «скільки вчених — стільки й моделей». Часто для опису структури металу використовують вербальну модель, скажімо: «...типовій структурі покриття притаманна велика кількість пор, каналів та інших несущальностей, які істотно впливають на його щільність і пористість і, як наслідок, на властивості, особливо жаростійкість».



Зразок 1



Зразок 2



Зразок 3

Про глобальну нестійкість, яка приводить до обчислювально незвідних задач ідентифікації детермінованих систем, почали говорити після відкриття Е. Лоренцом (Edward Norton Lorenz) так званої «атмосферної каруселі», яка спричинює непередбачуваність результатів, наприклад, прогнозу погоди [11]. Е. Лоренц математично описав рух атмосфери, на яку діють два фактори: нагрівання від землі та охолодження в її верхніх шарах. У результаті нагрівання повітря розширюється, підіймається вгору, витісняючи холодні шари, які опускаються. Утворюється своєрідна «карусель». Зробивши кілька обертів в одному напрямку, вона в якусь мить почне обертатися в іншому, потім знову його змінить і т.д. Природа цього явища доволі проста. Якщо перепади температур досить значні, повітряна маса рухатиметься з великою швидкістю і не встигне охолонути у верхній частині атмосфери, щоб опуститися, а отже, почне «спливати», що загальмує обертання цієї «каруселі». Внаслідок цього обер-

тання починається в іншому напрямку<sup>2</sup>. Якщо зафіксувати моменти часу, коли відбувається зміна напрямку обертання такої «каруселі», ця послідовність поводитиметься як випадкова.

Ми стверджуємо, що обчислювально незвідною є також структура багатьох металів, оскільки в їх формуванні беруть участь фактори, серед яких завжди можна виявити ті, які спричинюють процес на зразок «каруселі Лоренца», що є наслідком їх глобальної нестійкості.

Помилковість припущень про можливу самоорганізацію систем неживої природи, різновиду металів, стає очевидною, якщо застосувати теорему Геделя про неповноту [12, 13]. Ще в 1930 р. К. Гедель (Kurt Friedrich Gödel) довів, що в теоріях, побудованих на основі формальної аксіоматики, значення вихідних термінів та їх інтерпретації залишаються неповними і тому, додамо, *невизначеними*. Ця невизначе-

<sup>2</sup> Вважають, що виникнення торнадо, смерчів і подібних явищ підпорядковане аналогічним законами.

ність зумовлена неясністю твердження, що впливає з прийнятої інтерпретації.

У зв'язку з цим аксіома, яку ми формулюємо від імені можливих опонентів, що «...*об'єкти неживої природи, різновиди металів, можуть самоорганізовуватися...*», є неповною для того, щоб її можна було використовувати для практичного чи теоретичного застосування в матеріалознавстві. Формальна аксіома є дедуктивно повною відносно конкретної інтерпретації, якщо з неї можна зробити висновки, які є істинними у прийнятій інтерпретації. Інтерпретацію можна прийняти як істинну тоді і тільки тоді, коли будь-яке твердження, що впливає з аксіоми, може бути або доведеним, або спростованим.

Для часткового усунення неповноти формальної аксіоматики тверджень С. Бір (Anthony Stafford Beer) запропонував використовувати принцип зовнішнього доповнення, оснований на застосуванні для формулювання тверджень мови вищого рівня, яка не має формулюватися в термінах мови, застосованої до цього [14]. Вибрані знову рішення, висловлені мовою вищого рівня, покликані усувати недоліки первісно використаної мови. Отже, застосування мови вищого рівня є практичним методом, спрямованим на часткове подолання складності як наслідку, що впливає з теореми Геделя. Слід очікувати, що нова мова також не зможе привести нерозв'язне твердження до точного визначення, для цього знадобиться мова ще вищого рівня і т.д.

Щоб вийти за межі первісно обраної мови і разом з тим не відірватися від реальної ситуації, С. Бір рекомендував прив'язатися до такої властивості системи, яка нерозривно пов'язана з її дійсним існуванням. У нашому випадку такою властивістю є здатність систем, різновидів металів, до самоорганізації. Для доведення правильності цього твердження використаємо

ініційований теоремою Геделя принцип зовнішнього доповнення Біра. Для цього процес самоорганізації опишемо мовою вищого рівня, ніж мови, які застосовували з цією метою раніше, — мовою термодинаміки. Застосування цієї мови напевне зумовлює неможливість процесу самоорганізації в закритих системах через відсутність у них принципу симетричності. Цілком очевидно, що перебіг теплового процесу у зворотному напрямі є неможливим, оскільки теплові процеси незворотні. Тому при всіх теплових процесах, що відбуваються в замкненій системі, її ентропія зростає, внаслідок чого самоорганізація таких систем неможлива без зовнішнього втручання. Саме через це **об'єкти неживої природи, різновиди металів, не можуть самоорганізовуватися.**

Однак слід віддати належне можливим опонентам: питання існування процесу самоорганізації в неживій природі не є очевидним. Ми розглядаємо цей процес з позицій наших сьогоденних знань, посилаючись на ті чи інші ознаки, властиві лише живим самоорганізованим системам. Аналізуючи можливість наявності в системах неживої природи подібних ознак і намагаючись виявити їх, ми тим самим наперед зумовлюємо хід наших міркувань, у яких вважаємо неминучою можливість самоорганізації, основаної на обов'язковому усвідомленні системою того, до чого вона прагне в процесі свого функціонування. Оскільки така самоорганізація можлива на рівні, властивому лише антропоморфним системам, ми робимо висновки, що тільки таким системам притаманна здатність до самоорганізації.

Проте, ми віримо, що завдяки перманентному розвитку науки згодом з'явиться мова вищого рівня, за допомогою якої буде сформульовано *дедуктивно повну аксіому*, і її можна буде застосувати до аналізу процесів самоорганізації систем будь-якої природи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Большаков В.И., Дубров Ю.И.* Самоорганізація матеріалів: науковий факт чи фантом // Вісн. НАН України. — 2002. — № 10. — С. 21–27.
2. *Большаков В.И., Дубров Ю.И.* «Самоорганизация материала» как процесс детерминированной адаптации // Доп. НАН України. — 2004. — № 9. — С. 97–104.
3. Самоорганизующиеся системы / под ред. Т.Н. Соколова. — М.: Мир, 1964. — 434 с.
4. Принципы самоорганизации: сб. ст. — М.: Мир, 1966. — 622 с.
5. Исследования по общей теории систем: сб. пер. / под общ. ред. В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина. — М.: Прогресс, 1969. — 521 с.
6. *Паск Г.* Модель эволюции // Принципы самоорганизации. — М.: Мир, 1966. — С. 284–314.
7. *Постон Т., Стюарт И.* Теория катастроф и ее приложения. — М.: Мир, 1980. — 607 с.
8. *Фрик П.Г.* Турбулентность: методы и подходы: курс лекций. — Пермский гос. техн. ун-т, 1998. — Ч. 1. — С. 33–37.
9. *Большаков В.И., Дубров Ю.И., Ткаченко А.Н., Ткаченко В.А.* Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем // Доп. НАН України. — 2006. — № 5. — С. 100–103.
10. *Wolfram S.* A New Kind of Science. — Wolfram Media, 2002. — 1192 p.
11. *Lorenz E.N.* Deterministic nonperiodic flow // J. Atmos. Sci. — V. 20. — P. 130–141.
12. *Клини С.К.* Введение в метаматематику / пер. с англ. — М.: Иноиздат, 1957. — 526 с.
13. *Тарский А.* Введение в логику и методологию дедуктивных наук / пер. с англ. — М.: Гостехиздат, 1948. — 328 с.
14. *Бир С.* Кибернетика и управление производством. — М.: Наука, 1965. — 392 с.

Стаття надійшла 11.10.2013

*В.И. Большаков<sup>1</sup>, В.И. Большаков<sup>2</sup>, Ю.И. Дубров<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины  
пл. Ак. Стародубова, 1, Днепропетровск, 49050, Украина<sup>2</sup> Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры  
ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49600, УкраинаО НЕПОЛНОТЕ ФОРМАЛЬНОЙ АКСИОМАТИКИ  
В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

Впервые используется теорема Геделя о неполноте при идентификации структуры стали. Для частичного устранения неполноты утверждения о возможной самоорганизации системы неживой природы, разновидности металлов, применяется принцип внешнего дополнения Бира.

**Ключевые слова:** самоорганизация, теорема Геделя, вычислительная неприводимость, открытые системы, принцип Бира.

*V.I. Bol'shakov<sup>1</sup>, V.I. Bol'shakov<sup>2</sup>, Yu.I. Dubrov<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine  
1 Ac. Starodubov Sq., Dnipropetrovs'k, 49050, Ukraine<sup>2</sup> Prydneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture  
of Ministry of Education and Science of Ukraine  
24-a Chernyshevsky St., Dnipropetrovs'k, 49600, UkraineON THE INCOMPLETENESS OF FORMAL AXIOMATIC  
IN THE PROBLEMS OF IDENTIFICATION OF THE METAL STRUCTURE

First used by Gödel's incompleteness theorem in identifying steel structure. To partially resolve allegations of possible incompleteness of self-organization of inanimate nature, metal species, the principle of external addition of Beer is used.

**Keywords:** self-organization, Gödel's theorem, computational irreducibility, open systems, the principle of Beer.