

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 519.21

ФОРМАЛЬНАЯ АКСИОМАТИКА, ПРОЯВЛЯЮЩАЯСЯ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.

ДУБРОВ Ю. И.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Аннотация. Известная теорема Гёделя о неполноте формальной аксиоматики, проявляющейся при идентификации того или иного объекта, инициирует применение искусственно создаваемых "инструментов", снижающих эту неполноту.

Применение статистики при анализе структуры металла свидетельствует о том, что не поддающиеся детерминированному анализу расхождения в изображении шлифов являются следствием вычислительной неприводимости результатов процесса получения металла. Если бы при этом такого явления как вычислительная неприводимость не наблюдалось, то пользователь нашел бы более точный способ определения связи структуры металла с механическими свойствами.

Для частичного устранения неполноты формальной аксиоматики утверждений С. Бир рекомендовал использовать принцип "внешнего дополнения", основанный на применении для формулирования утверждений языка более высокого уровня, который не должен формулироваться в терминах языка, до этого применяемого. Вновь выбранные решения, выраженные языком более высокого уровня, призваны устранять недостатки первоначально используемого языка. Применение вновь избранного языка выступает в качестве практического метода, направленного на частичное преодоление сложности, которая является следствием, вытекающим из теоремы Гёделя. Следует ожидать, что новый язык также не сможет привести неразрешимое утверждение к точному определению, для этого понадобится применение языка более высокого уровня и т. д.

С. Бир рекомендовал: чтобы выйти за рамки первоначально выбранного языка, но в то же время не оторваться от реальной ситуации, следует привязаться к такому свойству системы, которое неразрывно связано с ее действительным существованием.

В силу перманентно развивающейся науки со временем появится язык более высокого уровня, при помощи которого будет сформулирована дедуктивно полная аксиома, которую можно будет применять к анализу процессов самоорганизации систем любой природы.

Ключевые слова: самоорганизация, теорема Гёделя о неполноте, вычислительная неприводимость, принцип "внешнего дополнения" С. Бира, энтропия, интерпретация, карусель Лоренца, эмпирика, ячейки Бернара, открытые системы.

ФОРМАЛЬНА АКСІОМАТИКА, ЩО ПРОЯВЛЯЄТЬСЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.

ДУБРОВ Ю. И.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Анотація. Відома теорема Геделя про неповноту формальної аксіоматики, що проявляється при ідентифікації того чи іншого об'єкта, ініціює застосування штучно створюваних "інструментів", які знижують цю неповноту.

Застосування статистики для аналізу структури металу свідчить, що не піддаються детермінованому аналізу розбіжності у зображенні шліфів, бо це є наслідком обчислювальної невизначеності результатів процесу отримання металу. Якби при цьому таке явище як обчислювальна невизначеність не спостерігалось, то користувач знайшов би більш точний спосіб визначення зв'язку структури металу з механічними властивостями.

Для часткового усунення неповноти формальної аксіоматики тверджень, С. Бір рекомендував використовувати принцип "зовнішнього доповнення", заснований на застосуванні для формулювання тверджень мови більш високого рівня, який не повинен формулюватися в термінах мови, застосовуваної до цього. Знову вибрані рішення, виражені мовою більш високого рівня, покликані усувати недоліки спочатку використовуваної мови. Застосування новообраної мови виступає в якості практичного методу, спрямованого на часткове подолання складності, яка є наслідком, що випливає з теореми Геделя. Слід очікувати, що нова мова також не зможе привести нерозв'язне твердження до точного визначення, для цього знадобиться застосування мови більш високого рівня і т.д.

С. Бір рекомендував, щоб вийти за рамки спочатку обраної мови, але в той же час не відірватися від реальної ситуації, слід прив'язатися до такої властивості системи, яка нерозривно пов'язана з її дійсним існуванням.

В силу науки, що перманентно розвивається, з часом з'явиться мова більш високого рівня, за допомогою якої буде сформульована дедуктивно повна аксіома, яку можна буде застосовувати до аналізу процесів самоорганізації систем будь-якої природи.

Ключові слова: самоорганізація, теорема Геделя про неповноту, обчислювальна неприводимість, принцип "зовнішнього доповнення" С. Біра, ентропія, інтерпретація, карусель Лоренца, емпірика, ячею Бернара, відкриті системи.

FORMAL AXIOMS DEMONSTRATING IN THE IDENTIFICATION OF THE STRUCTURE OF METAL

BOL'SHAKOV V. I.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

DUBROV U. I.^{2*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.

¹ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Summary. The known theorem of Gödel's incompleteness of formal axiomatic exhibited in the identification of an object, triggers the application of artificially created "tools" reducing this incompleteness.

The use of statistics in the analysis of metal structure, suggests about the differences in the image of thin resisting intractable deterministic analysis, are the result of computational irreducibility, the results of the process of obtaining the metal. If the case of computational irreducibility, was not observed, the user would find much more accurate way to determine the connection between the metal structure with mechanical properties.

S. Bir recommended use the principle of "external addition" based on the application for formulating statements of a higher level of language that should not be formulated in terms of the language used before for partial elimination of the incompleteness of formal axiomatic statements. The selected solutions, expressed with a higher level of language, called on to eliminate defects of the original language used. The use of the newly elected language, serves as a practical method aimed at partial overcoming of the difficulty is to be a consequence arising from Gödel's theorem. It is expected new language is not able to give an insoluble approval to the exact definition and you will need the use of higher-level languages for this.

S. Bir recommended to go out the initially selected language, but at the same time not to break away from the real situation, it should be attached to such a property system inextricably linking to its real existence.

Due to a permanently evolving science, it will be more high-level language with lapse of time and it will be formulated deductively complete axiom which can be applied to the analysis of the processes of self-organizing systems of any nature.

Key words: self-organization, Gödel's incompleteness theorem, computing irreducible, S. Bir's principle of "external addition", entropy, interpretation, Lorents carousel, empiricism, Bernard cell, open systems.

При идентификации структуры того или иного металла, как правило, принимаются во внимание критерии, определяющие его качественные показатели. При этом различное толкование проблемы самоорганизации неживых систем, типа металлов, порождает необоснованное присваивание авторами некоторых статей неживым объектам свойств, которые присущи только живым. В нескольких публикациях (см. Например [2; 3]), применяя, на наш взгляд, весьма аргументированные доказательства, мы подтвердили давно известную истину: *процесс самоорганизации присущ только открытым системам, которыми являются исключительно живые системы.*

Однако существование двойственных мнений заставило нас еще раз вернуться к этому вопросу, поскольку эти мнения порождают ошибочное, а иногда, на наш взгляд, и спекулятивное толкование механизма функционирования неживых систем, например, разновидности металлов. Вероятнее всего, существование подобных толкований инициировало ученых на создание такого направления в науке как синергетика, которая предлагает критерием живого считать способность системы к самоорганизации.

Термин “синергетика” впервые введен профессором Г. Хакеном, который, используя его, подчеркивал принципиальную роль коллективных взаимодействий в возникновении процессов самоорганизации в различных *открытых системах*. На основании большинства исследований процессов организации и самоорганизации принято считать, что организация - *свойство материальных и абстрактных систем обнаруживать взаимозависимое поведение в рамках целого, а самоорганизация — это свойство материальных и абстрактных систем, приводящее к изменению их организации* [4; 5; 10].

Такое толкование этих процессов, полностью совпадает с мнением ученого-кибернетика Г. Паска, согласно которому под самоорганизующейся системой следует понимать такую, относительно элементов которой можно утверждать, что они принимают решения, направленные на достижение общей для всей системы цели [7]. При

этом нередко процесс самоорганизации интерпретируется как самопроизвольное усложнение формы или, в общем случае, структуры системы при медленном и плавном изменении управляющего параметра. Усложнение структуры системы, часто предлагается интерпретировать как изменение её устойчивости, что эквивалентно возникновению катастрофы [8]. Такая интерпретация приводит к тому, что самопроизвольное усложнение формы или структуры системы неживой природы иногда ошибочно воспринимается некоторыми исследователями как процесс самоорганизации.

Примером подобного заблуждения может служить ошибочная интерпретация процесса возникновения ячеек Бернара [12]. Явление состоит в том, что в плоском сосуде с жидкостью, равномерно подогреваемом снизу, самопроизвольно образуются конвективные вихревые течения. Если мощность подогрева превосходит некоторое критическое значение, вихри образуют регулярную структуру. Можно привести достаточно много примеров, самопроизвольно возникающих процессов, которые ошибочно могут восприниматься как самоорганизация объектов неживой природы. Например, процесс образования алмаза в природных условиях, который происходит при действии на углерод высокого давления с одновременно поступающей высокой температурой.

В противовес нашим рассуждениям нам могут указать на известный факт, когда вполне детерминированная динамическая система неживой природы порождает закономерный процесс, т. е. оппоненты заявляют, что эта система самоорганизуется. Действительно, общеизвестно, что подобные физические системы существуют, но все они являются *вычислительно неприводимыми*¹ [9; 13],

¹ В публикации [13] автор формулирует концепцию *истинной случайности* и *вычислительной неприводимости*. Под вычислительной неприводимостью мы понимаем представление структуры, например, стали, какой-либо математически выраженной закономерностью. Невозможность допустить точного создания такой закономерности объясняет возникновение в некоторых областях прикладной науки (например, в материаловедении) множества моделей только

а это означает, что эти системы не могут быть самоорганизующимися, поскольку их вычислительная неприводимость характеризуется непредсказуемостью результатов их функционирования, а, следовательно, невозможностью выработки ими адекватных “управляющих воздействий” на непредсказуемые результаты их функционирования. Поэтому подобным системам присуще свойство глобальной неустойчивости, которая проявляется в том, что при одинаковых начальных условиях, например производства металла (процентном содержании его компонентов и одинаковых технологических режимах) получают металл, структура которого от эксперимента к эксперименту визуально воспринимается как различная, как это показано на рисунке. Вследствие этого при существующем в материаловедении большом количестве работ, направленных на определение качества металла основанных на анализе его структуры, в силу *вычислительной неприводимости* результатов этого анализа, качество металла чаще всего определяют на основании статистики или анализа предыстории его получения. Поэтому приведенные на рисунке фотографии структуры шлифов, независимо от степени схожести их изображений, могут практически в одинаковой степени отображать механические свойства стали, что на настоящий момент удовлетворяет практическому применению результатов такого анализа.

Применение статистики при анализе структуры металла свидетельствует о том, что не поддающиеся *детерминированному анализу* расхождения в изображении шлифов являются следствием *вычислительной неприводимости* результатов процесса по-

лучения металла. Если бы при этом такого явления как вычислительная неприводимость не наблюдалось, то пользователь нашел бы более точный способ определения связи структуры металла с механическими свойствами.

О глобальной неустойчивости, которая приводит к вычислительно неприводимым задачам идентификации детерминированных систем, стали говорить после открытия Э. Лоренцем так называемой “атмосферной карусели”, которая, приводит к непредсказуемости результатов, например, прогноза погоды [14]. Э. Лоренц математически описал движение атмосферы, на которую действуют два фактора: нагревание от земли и охлаждение в ее верхних слоях. В результате нагревания воздух расширяется и поднимается вверх, вытесняя холодный, который опускается. Образуется своеобразная “карусель”. Сделав несколько оборотов в одном направлении, она, в какой-то момент времени, начнет вращаться в другом, затем снова его сменит и т. д. Природа этого явления достаточно проста. При больших перепадах температур скорость движения воздушной массы будет большой и она не успеет охладиться в верхней части, чтобы опуститься, и начнет “всплывать”, что затормозит вращение этой “карусели”. В результате вращение начинается в другом направлении и т. д.¹ Если начать фиксировать моменты времени, когда происходит смена направления вращения такой “карусели”, то эта последовательность будет вести себя как случайная.

Мы утверждаем, что также вычислительно неприводимой является, например, структура многих металлов, в формировании которых принимают участие факторы, среди которых всегда можно обнаружить такие, что создают процесс в виде карусели Лоренца, что является следствием их глобальной неустойчивости.

Ошибочность предположений, о возможной самоорганизации систем неживой природы разновидности металлов, явно обнаруживается, если для их выявления

эмпирического характера. Данные модели очень приближенно описывают те или иные процессы. По сути, справедливым является бытующее в среде некоторых ученых несколько утрированное высказывание “... сколько ученых, столько и моделей...”. Часто для описания структуры металла применяют вербальную модель, например: “... типичной структуре покрытия присуще большое количество пор, каналов и других неплотностей, оказывающих существенное влияние на их плотность и пористость и, как следствие, на свойства, особенно жаростойкость”.

² Предполагается, что возникновение торнадо, смерчей и подобных явлений подчиняется аналогичным закономерностям.

применить теорему Гёделя о неполноте, доказанную им ещё в 1930 году [6; 11].

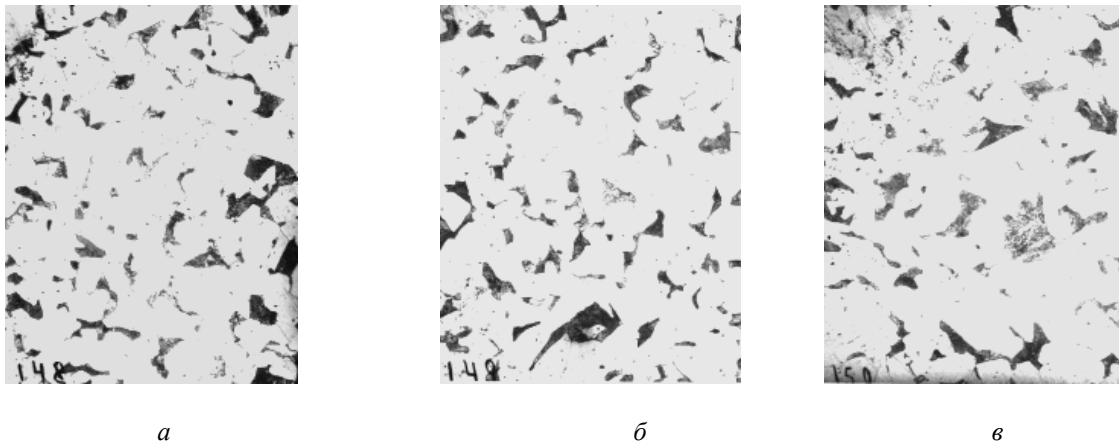


Рис. Ферритно-перлитная структура стали Ст3сп в состоянии поставки, $\times 100$: арматура $\varnothing 25$ мм.
а – в центре шлифа; б – на расстоянии 6 мм от центра шлифа; в – на расстоянии 12 мм от центра

Гёдель доказал, что в теориях, конструируемых на основании формальной аксиоматики, значения исходных терминов и их интерпретации остаются неполными и поэтому, добавим мы, *неопределёнными*. Данная неопределённость обусловлена неясностью утверждения, исходящего из принятой интерпретации.

В этой связи аксиома, которую мы формулируем от лица предполагаемых оппонентов: “...*есть объекты неживой природы, разновидности металлов, которые могут самоорганизовываться...*” — неполная для того, чтобы её можно было использовать для практического или теоретического применения в материаловедении. Формальная аксиома является *дедуктивно полной* относительно конкретной интерпретации, если из нее можно сделать выводы, которые являются истинными в принятой интерпретации. *Интерпретация может быть принята как истинная тогда и только тогда, когда всякое утверждение, следующее из аксиомы, может быть либо доказанным, либо опровергнутым.*

Для частичного устранения неполноты формальной аксиоматики утверждений С. Бир рекомендовал использовать принцип “внешнего дополнения”, основанный на применении для формулирования утверждений языка более высокого уровня, который не должен формулироваться в терминах языка до этого применяемого [1]. Вновь выбранные решения, выраженные языком бо-

лее высокого уровня, призваны устранять недостатки первоначально используемого языка. Применение вновь избранного языка выступает в качестве практического метода, направленного на частичное преодоление сложности, которая является следствием, вытекающим из теоремы Гёделя. Следует ожидать, что новый язык также не сможет привести неразрешимое утверждение к точному определению, для этого понадобится применение языка еще более высокого уровня и т. д.

С. Бир рекомендовал, чтобы выйти за рамки первоначально выбранного языка, но в то же время не оторваться от реальной ситуации, следует привязаться к такому свойству системы, которое неразрывно связано с ее действительным существованием. В рассматриваемом случае таким свойством является *способность систем, разновидности металлов к самоорганизации.*

В этой связи для доказательства верности этого утверждения, мы используем инициированный теоремой Гёделя принцип внешнего дополнения С. Бира. Для этого процесс самоорганизации будем описывать языком более высокого уровня, чем языки, до этого применявшиеся, — языком термодинамики. Применение этого языка заведомо предопределяет невозможность осуществления процесса самоорганизации в закрытых системах в силу отсутствия в них принципа симметричности.

Совершенно очевидно, что прохождение теплового процесса в обратном направлении невозможно, поскольку *тепловые процессы необратимы*. Поэтому при всех происходящих в замкнутой системе тепловых процессах энтропия системы возрастает, вследствие чего самоорганизация таких систем невозможна без внешнего вмешательства, оттого *объекты неживой природы, разновидности металлов не могут самоорганизоваться*.

И, тем не менее, следует отдать должное предполагаемым оппонентам, — вопрос существования процесса самоорганизации в неживой природе не так очевиден. Мы рассматриваем этот процесс с позиций наших сегодняшних знаний, ссылаясь на те или иные признаки, присущие только живым самоорганизующимся системам. При этом мы анализируем возможность наличия подобных признаков и у систем неживой природы.

Пытаясь обнаружить существование подобных признаков у неживых систем, мы предопределяем ход наших рассуждений, при котором считается неизбежной возможность самоорганизации, основанной на *обязательном осознании системой* того, к чему она стремится в процессе своего функционирования. Поскольку подобная самоорганизация возможна на уровне, который свойственен только антропоморфным системам, мы делаем выводы, что только таким системам свойственна способность к самоорганизации.

Тем не менее, мы верим в то, что, в силу перманентно развивающейся науки, со временем появится язык более высокого уровня, при помощи которого будет сформулирована *дедуктивно полная аксиома*, которую можно будет применять к анализу процессов самоорганизации систем любой природы

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бир С. Кибернетика и управление производством / С. Бир. — Москва : Наука, 1963. — 276 с. — Режим доступа: http://www.newlibrary.ru/book/bir_st_kibernetika_i_upravlenie_proizvodstvom.html.
2. Большаков В. И. «Самоорганизация материала» как процесс детерминированной адаптации / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. — 2004. — № 9. — С. 97–104. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/index.php/2312-2676/article/view/40339>.
3. Большаков В. И. Самоорганізація матеріалів: науковий факт чи фантом / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Вісник Національної академії наук України. — 2002. — № 10. — С. 21–27. — Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/71718>.
4. Большаков Вад. И. Про неповноту формальної аксіоматики в задачах ідентифікації структури металу / Вад. И. Большаков, В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Вісник Національної академії наук України. — 2014. — № 4. — С. 55–59. — Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/69367>.
5. Исследования по общей теории систем / под общ. ред. Садовского В. Н., Юдина Э. Г. — Москва : Прогресс, 1969. — 521 с. — Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/892241/>.
6. Клини С. К. Введение в математику / С. К. Клини ; пер. с англ. А. С. Есенина-Вольпина ; под ред. В. А. Успенского. — Москва : Мир, 1957. — 527 с. — Режим доступа: <http://lib.mexmat.ru/books/1407>.
7. Паск Г. Модель эволюции / Г. Паск // Принципы самоорганизации / ред. А. Я. Лернер. — Москва, 1966. — С. 284–314. — Режим доступа: http://www.google.com.ua/url?url=http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26Z21ID%3D%26Iimage_file_name%3DPDF%252Fvnanu_2014_4.pdf%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1&rc=j&fm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=sWxIVfWcNcS2UdTDgOAG&ved=0CCIQFjAD&usq=AFQjCNE0zax4OOGJxuuKgz3K1FCmD8F_cQ.
8. Постон Т. Теория катастроф и ее приложения / Т. Постон, И. Стюарт. — Москва : Мир, 1980. — 607 с. — Режим доступа: http://www.alib.ru/au-poston/nm-teoriya_katastrof_prilozheniya/.
9. Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров, А. Н. Ткаченко, В. А. Ткаченко // Доповіді Національної академії наук України. — 2006. — № 5. — С. 100–103.
10. Самоорганизующиеся системы / под ред. Соколова Т. Н. — Москва : Мир, 1964. — 434 с.
11. Успенский В. А. Теорема Гёделя о неполноте / В. А. Успенский. — Москва : Наука, 1982. — 110 с. — (Популярные лекции по математике. Вып. 57). — Режим доступа: <http://www.razum.ru/>.
12. Фрик П. Г. Турбулентность: методы и подходы. Курс лекций. Часть 1 / П. Г. Фрик. — Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 1998. — С. 33–37. — Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/474466/>.

13. Wolfram S. A New Kind of Science / S. Wolfram. – [S.I.] : Wolfram Media, 2002. – 1197 p. – Режим доступа: <http://www.wolframscience.com/>.
14. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow / E. N. Lorenz // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1963. – V. 20. – P. 130-141. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/#q=lorenz+deterministic+nonperiodic+flow+pdf>.

REFERENCES

1. Bir S. *Kibernetika i upravleniye proizvodstvom* [Cybernetics and production management]. Moscow, Nauka, 1963. 276 p. Available at: http://www.newlibrary.ru/book/bir_st_/kibernetika_i_upravlenie_proizvodstvom.html
2. Bolshakov V. I., Dubrov Yu. I. «*Samoorhanyzatsiya materyala*» kak protsess determynyrovannoy adaptatsyy ["Material self-organization" As adaptation process]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* - Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2004, no.9, pp. 97-104. Available at: <http://journals.urau.ua/index.php/2312-2676/article/view/40339>
3. Bolshakov V. I., Dubrov Yu. I. *Samoorhanizatsiya materialiv: Naukovyy fakt chy fantom* [Science fact or phantom]. *Visnik Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* - Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2002, no.10, pp. 21-27. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/71718>
4. Bol'shakov Vad. I., Bolshakov V. I., Dubrov Yu. I. *Pro nepovnotu formalnoyi aksiomatyky v zadakh identyfikatsiyi struktury metalu* [About incompleteness formal axiomatic in problems of identification of metal structure]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* - Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2014, no.4, pp. 55-59. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/69367>
5. Sadovskiy V.N. Yudin E.G. *Issledovaniya po obshchey teorii sistem* [Studies on the general systems theory]. Moscow, Progress, 1969. 521 p. Available at: <http://www.twirpx.com/file/892241/>
6. Klini S. K. *Vvedeniye v matematiku* [Introduction to Mathematics]. Moscow, IL, 1957. 527 p. Available at: <http://lib.mexmat.ru/books/1407>
7. Pask G. *Model' evolyutsii* [Model of evolution]. Moscow, Mir, 1966. pp. 284-314. Available at: http://www.google.com.ua/url?url=http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26Z21ID%3D%26Image_file_name%3DDF%252Fvnanu_2014_4.pdf%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=sWxlVfWcNcS2UdTDgOAG&ved=0CCIQFjAD&usq=AFQjCNE0zax4OOGJxuuKgZ3K1FCmD8F_cQ
8. Poston T., Stewart I. *Teoriya katastrof i yeye prilozheniya* [Catastrophe theory and its applications]. Moscow, Mir, 1980. 607 p. Available at: http://www.alib.ru/au-poston/nm-teoriya_katastrof_prilozheniya/
9. Bol'shakov V. I., Dubrov Yu. I., Tkachenko A. N., Tkachenko V. A. *Puti resheniya zadach identifikatsii kachestvennykh kharakteristik materialov na osnove ekspertnykh sistem* [Ways of solving problems of identification of qualitative characteristics of materials on the basis of expert systems]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* - Reports of Academy of Sciences of Ukraine. 2006, no.5, pp. 100-103. Available at:
10. Sokolova T.N. *Samoorhanizuyushchiesya sistemy* [Self-organizing systems]. Moscow, Mir, 1964. 434 p.
11. Uspenskiy V. A. *Teorema Godelya o nepolnote* [Gödel's incompleteness theorem]. Moscow, Nauka, 1982. 110 p. Available at: <http://www.razym.ru/>.
12. Frik P. G. *Turbulentnost': metody i podkhody* [Turbulence: methods and approaches]. Perm, Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii univversitet, 1998. pp. 33-37. Available at: <http://www.twirpx.com/file/474466/>
13. Wolfram S. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002. 1197 p. Available at: <http://www.wolframscience.com/>.
14. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1963. v. 20, pp. 130-141. Available at: <https://www.google.com.ua/#q=lorenz+deterministic+nonperiodic+flow+pdf>.

Статья рекомендована к публикации 31.03.2015 г. Рецензент: д. физ.-мат. н. В. Ф. Башев.

Поступила в редколлегию 05.05.2015 г. Принята к печати 28.05.2015 г.