

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 530.192

СИНЕРГЕТИКА И САМООРГАНИЗАЦИЯ МЕЗОСТРУКТУРЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ МАТЕРИАЛА

БОЛЬШАКОВ В. И. *, *д. т. н., проф.*

*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) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

Аннотация. Термин «синергетика», введенный в научную литературу Г. Хакеном, означает «совместное действие, самоорганизованность, особый эффект от совместного действия в сложных системах». Одновременно развивались новые представления о диссипативных структурах, образующихся в неравновесных условиях в результате обмена энергией (и веществом) с окружающей средой при подводе внешней энергии к материалу. Это научное направление возглавил И. Р. Пригожин. Нелинейная наука открывает новые возможности в изучении поведения реальных сложных динамических систем. Нелинейная динамика – это новая наука, изучающая эволюцию реальных нелинейных систем, в которых наряду с детерминизмом появляется динамический хаос.

Ключевые слова: синергетика, нелинейная наука, нелинейная динамика, сложные структуры, самоорганизация

СИНЕРГЕТИКА І САМООРГАНІЗАЦІЯ МЕЗОСТРУКТУРИ В УМОВАХ ДЕФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛУ

БОЛЬШАКОВ В. І. *, *д. т. н., проф.*

* 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) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

Анотація. Термін «синергетика», введений в наукову літературу Г. Хакеном, означає «спільна дія, самоорганізованість, особливий ефект від спільної дії в складних системах». Одночасно розвивалися нові уявлення про дисипативні структури, що утворюються в нерівноважних умовах у результаті обміну енергією (і речовиною) з навколишнім середовищем під час підведення зовнішньої енергії до матеріалу. Цей науковий напрям очолив І. Р. Пригожин. Нелінійна наука відкриває нові можливості у вивченні поведінки реальних складних динамічних систем. Нелінійна динаміка – це нова наука, що вивчає еволюцію реальних нелінійних систем, у яких поряд із детермінізмом з'являється динамічний хаос.

Ключові слова: синергетика, нелінійна наука, нелінійна динаміка, складні структури, самоорганізація

SYNERGETICS AND SELF-ORGANIZATION OF MESOSTRUCTURES IN A DEFORMATION OF THE MATERIAL

BOLSHAKOV V. I. *, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

* Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

Summary. The term "synergy", introduced in scientific literature by G. Haken, means "joint action, self-organization, the special effects of the joint action in complex systems." At the same time new concepts have been developing about dissipative structures generating under no equilibrium conditions as a result of the exchange of energy (and substance) with the environment when approaching the external energy to the material. This scientific direction was headed by IR Prigogine. Nonlinear Science opens up new possibilities in the study of the conduct of real complex dynamic systems. Nonlinear dynamics is a new science studying the evolution of the real nonlinear systems, where along with determinism appears dynamic chaos.

Keywords: synergetic, nonlinear science, nonlinear dynamics, complex structures, self-organization

Общие сведения о синергетике и нелинейной динамике. Термин «синергетика», введенный в научную литературу Г. Хакеном [1], означает «совместное дейст-

вие, самоорганизованность, особый эффект от совместного действия в сложных системах» [2 – 5]. Одновременно развивались новые представления о диссипативных

структурах, образующихся в неравновесных условиях в результате обмена энергией (и веществом) с окружающей средой при подводе внешней энергии к материалу. Это научное направление возглавил И. Р. Пригожин [6 – 16].

Главное, что отличает замкнутую систему, находящуюся в состоянии внутреннего равновесия, от системы, открытой для потоков вещества и энергии, – это поведение во времени. В равновесном состоянии любой поток, направленный в одну сторону, компенсируется таким же по величине потоком в обратном направлении, всякий акт рождения уравнивается актом уничтожения.

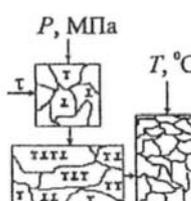
Открытая система способна к обмену энергией и веществом с окружающей средой, что удерживает ее вдали от термодина-

мического равновесия.

Все реальные системы (геологические, климатические, биологические, технологические, социологические) всегда открытые. В них наряду с некоторым детерминизмом возникает динамический хаос, точки бифуркации, новые самоорганизованные, диссипативные, более сложные структуры. Общие проблемы развития (эволюции) природы и социума по законам синергетики и нелинейной динамики развиты в работах Н. Н. Моисеева [17], С. П. Капицы, С. П. Курдюмова, Г. Г. Малинецкого [18 – 25].

Первой междисциплинарной наукой в XX в. стала кибернетика, созданная трудами Норберта Винера, его коллег и последователей.

СИНЕРГЕТИКА		
Междисциплинарная наука или метод?		
синергетические принципиальные признаки парадигмы		традиционные дисциплины
He	Устойчивость, линейность, обратимость, равновесность	механика, математика, физика, биология, химия
	Случайность, стохастичность – необходимость, детерминизм	философия
Коллективность, автоволновость систем		информатика, астрофизика

СИНЕРГЕТИКА		
наука о самоорганизации систем в природе		
Порядок → хаос Эволюция		(термодинамика) (Дарвин)
изменчивость – наследственность – отбор		
<p>Стохастичность, неопределенность в содействии с детерминизмом</p> 	<p>Метаболизм – обмен со средой – снижение энтропии, наследие прошлого, сохранение уровней иерархических структур</p> 	<p>Предпочтение новой системе с минимумом энтропии</p> 

1970-е годы отмечены появлением нового междисциплинарного подхода – синергетики, или теории самоорганизации новых структур в природе и обществе. Сегодня

тики, или теории самоорганизации новых структур в природе и обществе. Сегодня

интенсивно развивается нелинейная динамика – новая наука, изучающая реальные сложные динамические системы, претерпевающие плавное эволюционное развитие; хаотические состояния; скачки и катастрофы и т. д.

В фундаменте здания современной науки (физики, математики, химии, биологии и многих других) лежат представления о взаимозависимости явлений, равновесности природных процессов, об их обратимости и линейности, а, следовательно, прогнозируемости.

Конец XX – начало XXI в. изменили эти, казалось бы, фундаментальные представления. Оказывается, мир неравновесен, в нем многое происходит непредсказуемо, скачкообразно, случайно; в знаниях ученых часто лежат отрывчатые, неполные, упрощенные представления.

Великий Галилео Галилей 400 лет назад ошибочно утверждал: «Нет вообще ничего, – кроме кругового движения и покоя, – что могло бы служить основанием земного порядка вещей...».

Гениальный Майкл Фарадей 170 лет назад, выступая в Лондонском королевском обществе (Академия наук Великобритании), явно **преуменьшил свои задачи, заявив, что его научные изыскания в области электрического тока и магнетизма, вероятно, никогда не представят какого-то интереса для людей.**

Теперь мы знаем, что мир, в котором мы живем, – не стационарен, его эволюция сложна, она не описывается вторым началом термодинамики, так как в действительности в мире нет закрытых, изолированных систем, все они обмениваются с окружающей средой энергией и часто материей. Мир не только не стационарен, он непрерывно пульсирует, в основе его эволюции лежат автоволновые, самоорганизующиеся процессы [26 – 37].

Нам открывается новый мир, и он несравненно интереснее, чем тот, который был построен на детерминизме прежних веков. Ведь реальные, нестационарные системы чрезвычайно информативны, так как именно отклонения от идеальных моделей опреде-

ляют их реальные характеристики.

Многие столетия ученые старались максимально упрощать рассматриваемые системы, разделять их на составные части, изучать взаимодействие составляющих в идеальных условиях.

В качестве математического аппарата использовались линейные зависимости, термодинамика оперировала равновесными условиями и полной обратимостью процессов.

Типичные научные достижения в идеальных системах – небесная механика Ньютона, фазовые равновесия Гиббса, законы сохранения массы и энергии, равновесные диаграммы состояния сложных систем и многое другое.

Однако уже в XX в. и тем более сегодня стало очевидным существенное отличие действительности от идеальных представлений и построенных на их основе физических моделей. Самым ярким событием на этом пути было создание квантовой механики, включающей понятия случайности и неопределенности. Стала развиваться статистическая физика. Вскоре после открытия Бреггами кристаллических структур вышли работы, оценивающие многие отклонения от идеальных моделей. Появились и стали быстро развиваться параллельные науки, изучающие реальные, а не идеальные явления.

В медицине наряду с нормальной анатомией изучается патологическая анатомия. В физике вместе с теорией твердого тела изучаются дефекты кристаллического строения. В механике твердого деформируемого тела начала разрабатываться нелинейная механика разрушения. В классической равновесной термодинамике появилась нелинейная термодинамика открытых систем. Самым последним открытием в междисциплинарной науке следует считать новое понятие фрактальности как меры реальности многих предметов в природе в отличие от классической евклидовой геометрии [38 – 42].

Теперь стало очевидным, что реальные события, структура и действительные свойства различных объектов природы определяются не идеальными схемами и моделями,

а отклонениями (дефектами) от этих структур. Вся окружающая нас живая и неживая природа Земли, вся Вселенная, да и мы сами, – все структурировано и наша жизнь определяется дефектами этой структуры. В фундаментальной науке активно развивается общая теория дефектов, имеющая реальные показатели (критерии) в каждой специальности.

Новая научная революция, развернувшаяся в XX в. и продолжающаяся в XXI в., сейчас охватывает все, без исключения, сферы жизни природы, социума и Вселенной.

Синергетика – междисциплинарный подход к анализу сложных динамических систем, охватывающий все сферы жизни: от кварков до Вселенной; от электроимпульсов в мозге до мироэкономики; от движения дислокаций до катастроф, землетрясений; от вирусов и бактерий до эпидемий гриппа и СПИДа; от слабых и сильных взаимодействий в микромире до гравитации и суперструн в астрофизике.

Синергетика способствует: интеграции наук; появлению новых обобщающих теорий; развитию науки и технологий в XXI в.; сближению интересов, принципов и методологии гуманитариев и ученых в области точных наук.

Междисциплинарный подход, символизирующий интеграцию наук, описывается основными законами синергетики, которые распространяются от кварков до Вселенной, от отдельных электрических импульсов и химических реакций в нейронах мозга до микроэкономических процессов на земном шаре, от элементарных актов пластической деформации при перемещении отдельной дислокации до катастроф при землетрясениях и извержениях вулканов, от вирусов и бактерий до глобальных эпидемий гриппа, от сильных и слабых взаимодействий в микромире до гравитации и теории суперструн во Вселенной. Долгое время многие поколения ученых своей четкостью и абстрактностью восхищала евклидова геометрия. Галилей и Кант полагали, что законы природы написаны на языке математики. После Ньютона, Лагранжа, Эйлера в науке абсолютно

главенствовали математика и механика.

Альберт Эйнштейн создал новый научный мир – теорию относительности, абстрактный симбиоз пространства и времени.

Макс Планк, Луи-де-Бройль, Гейзенберг, Шредингер, Нильс Бор открыли особый микромир – квантовую механику.

Микро- и макромиры противостояли друг другу, как два полюса, для их объединения потребовалось создание реального мезомира. Так возникли теория реальных структур, фрактальная геометрия, нелинейная динамика. Классическая теория эволюции Дарвина наполняется скачками и автоволновыми процессами в реальных сложных системах. Конец XX в. ознаменовался расцветом молекулярной биологии, астрофизики, информатики и синергетики.

Грандиозный переворот в научном мировоззрении, происходящий в развитых странах мира, по своему масштабу, возможно, превосходит тот, который был связан с созданием новой физики в прошлом столетии.

Если тогда крах, казалось бы, незыблемых представлений о пространстве, времени, причинности коснулся только явлений макромира и микромира (теория относительности и квантовая механика), т. е. областей, бесконечно удаленных от нашего повседневного опыта, то сейчас происходит становление новых идей самоорганизации в явлениях, доступных нашему непосредственному восприятию.

Если считать, что теория Эйнштейна – это новые события в макромире; теория Луи-де-Бройля, Шредингера, Гейзенберга, Бора – это новые события в микромире, то синергетика и нелинейная динамика объединяют их с мезоуровнем общими подходами, идеологией, мировоззрением.

Новый междисциплинарный подход, родившийся на стыке математики, кибернетики, компьютерного моделирования и общего естествознания, способен рассматривать сложные, реальные проблемы, перед которыми пасуют традиционные методы анализа. Этот подход получил название нелинейной динамики, или нелинейной науки.

Нелинейная наука пытается понять не

только сложные свойства простых систем, но и простые свойства сложных динамических систем, таких, например, как погода на Земле.

В нелинейную динамику естественно вошли многие методы традиционных наук, но прежде всего – наиболее актуальные проблемы фундаментальной науки. Это позволило развить нелинейную динамику, создать новые разделы математики (теория фракталов), расширить теорию диссипативных структур И. Р. Пригожина.

Например, одной из сверхзадач современной биологии является проблема морфогенеза. Это попытка понять, как в ходе развития зародыша из одной клетки при ее делении образуются специальные клетки мозга, кости, крови, легких, желудка, печени.

Попытка понять этот сложнейший феномен привела Джона фон Неймана к теории самовоспроизводящихся автоматов, Алана Тьюринга – к новому поколению математических моделей, Рене Тома – к созданию теории катастроф.

Сторонники нелинейной динамики считают, что в XXI в. по-новому будут переосмыслены сверхпроблемы наук о человеке – психологии, политологии, социологии и

истории.

Известный английский историк Арнольд Тойнби рассматривает историю как рождение, развитие, расцвет и угасание нескольких слабо взаимодействующих цивилизаций. Но это лишь объяснение судьбы разных народов, но не предсказание их будущего. Фактор случайности здесь очень велик. Этот фактор изучается в важном разделе нелинейной динамики – теории бифуркаций, или теории ветвлений (от франц. *Labifurcation* – раздвоение).

График, отражающий возможные пути процесса после критической неустойчивости, называют бифуркационной диаграммой (рис. 1). В любых физических, химических, биологических или социальных сложных системах в процессе их развития (эволюции) наступает неустойчивое состояние и под влиянием внешних случайных воздействий данная система скачком переходит в новое состояние после точки бифуркации. Такого повсеместно поведение сложных систем в природе и обществе (радуга в небе, опрокидывание нефтяных платформ в море, мгновенное размножение саранчи, потеря управляемости самолетом) (рис. 2).

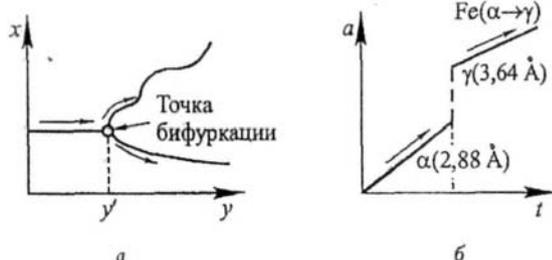


Рис. 1. Типичная бифуркационная диаграмма (а) и скачкообразный фазовый переход от системы ОЦК к системе ГЦК в железе (б)

Таким образом, сложные природные процессы (системы) ведут себя синергетически, т. е. в процессе своего развития проходят через ряд неустойчивостей, претерпевают фазовые переходы и испытывают явление самоорганизации (рис. 3).

Теория диссипативных структур, созданная И. Р. Пригожиным, наряду с теорией самоорганизации, названной Г. Хакеном

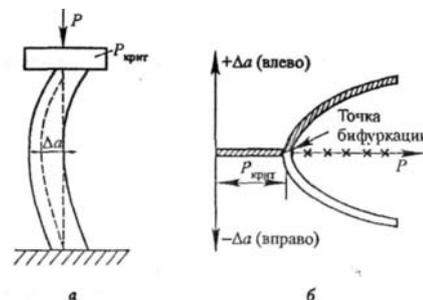


Рис. 2. Нагруженная балка весом P может изогнуться как влево, так и вправо. При каком-то определенном значении $P_{крит}$ (а) это положение соответствует точке бифуркации. Под влиянием случайных факторов балка изогнулась влево и система стала развиваться по положительной ветви кривой бифуркационной диаграммы (б)

синергетикой и теорией фракталов, разработанной Б. Мандельбротом, нанесли серьезный удар по незыблемости классической термодинамики и евклидовой геометрии, – наук, придерживающихся традиционно-формалистических традиций и часто оторванных от условий, в которых развиваются реальные природные системы.

Начало XXI в. ознаменовалось больши-

ми успехами теоретической биологии, которая станет несомненным лидером среди многих фундаментальных направлений естествознания.

В начале 2001 г. двумя мировыми фирмами (Celera Genomics, Human Genome Pro-

ject) был расшифрован геном человека. Этот успех молекулярной биологии открывает принципиально новые пути для развития биотехнологии, генной медицины и фармакогенетики.



Рис. 3. Скачки в эволюции жизни на Земле соответствуют точкам бифуркации на общей линии самоорганизации биосистем. Кембрийский взрыв – лавинообразное создание большого разнообразия в живых организмах (возникновение животных, птиц, рыб и т. д.), Пермская катастрофа – массовая гибель живых организмов на земле и в океане. Гибель динозавров – спонтанное вымирание животных на суше

К сожалению, сознание, интеллект людей пока значительно отстают от развития фундаментальной науки.

Нелинейная динамика (nonlinear science — нелинейная наука). Возможность предсказывать будущее всегда рассматривалась как основная цель развития науки. Эволюция науки представляется как цепь триумфов, каждый из которых расширял возможности, повышал точность описания различных явлений, открывал новые пути.

Однако с появлением неравновесной термодинамики и статистической физики с установлением идей квантовой механики стало очевидным, что нет возможности в принципе дать долгосрочный прогноз поведения огромного количества механических, физических, химических, социальных и экологических систем.

В развитии таких сложных динамиче-

ских систем наблюдаются периоды динамического хаоса.

Нелинейная наука открывает новые возможности в изучении поведения реальных сложных динамических систем.

Ранее считали, что есть два класса объектов. Одни – детерминированные, с возможностью прогноза на любое время (например, солнечная система в галактике, колебания маятника и др).

Другие – стохастические. Ими занимается теория вероятностей. Невозможно предсказать, какое число выпадет при игре в кости. Новое явление никак не связано с предысторией.

Нелинейная динамика – это новая наука, изучающая эволюцию реальных нелинейных систем, в которых наряду с детерминизмом появляется динамический хаос (табл.).

Таблица

Нелинейная динамика (nonlinearscience) Новая наука, изучающая эволюцию сложных нелинейных динамических систем, в которых наряду с детерминизмом появляется динамический хаос Составные части (теории, новые представления) нелинейной динамики		
Синергетика, фрактальность, математическое моделирование сложных систем	Теория катастроф, оптимизация реальных технологических процессов	Теория самоорганизованной критичности, динамический хаос, прогнозирование

Теперь, с развитием новых представле-

ний об эволюции в сложных, реальных сис-

темах, появилось новое знание о третьем, реальном классе объектов, которые имеют сложный характер с чертами, как детерминизма, так и стохастичности. Такие объекты, развиваясь, начинают вести себя хаотиче-

ски. Подобные реальные системы были обнаружены в гидродинамике, физике лазеров, химической кинетике, астрофизике и физике плазмы, геофизике и экологии.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Структурная теория упрочнения конструкционных сталей и других материалов : монография / В. И. Большаков, Л. И. Тушинский. – Днепропетровск : Свидлер А. Л., 2010. – 482 с.
2. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен ; пер.с англ. В. И. Емельянова ; под ред. Ю. Л. Климонтовича, С. М. Осовца. – Москва : Мир, 1980. – 403 с.
3. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах : пер. с англ. / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1985. – 421 с.
4. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин ; пер. с англ. Н. В. Вдовиченко, В. А. Онищука ; под ред. Ю. А. Чизмадзе. – Москва : Мир, 1973. – 280 с.
5. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен ; пер. с англ. Ю. А. Данилова, А. В. Беркова. – 2-е изд., доп. – Москва : КомКнига : УРСС, 2005. – 245 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
6. Критические явления: прошлое, настоящее и "будущее" / Стенли Х., Конильо А., Клейн У., Реднер С., Рейнольдс П., Шлифер Г. // Синергетика : сб. ст. : пер.с англ. / под ред. Б. Б. Кадомцева ; сост. А. И. Рязанов, А. Д. Суханов. – Москва, 1984. – С. 41–63.
7. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / Пригожин И., Стенгерс И. ; пер. с англ. Ю. А. Данилова ; общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича, Ю. В. Сачкова. – Москва : Прогресс, 1986. – 432 с.
8. Николис Г. Познание сложного. Введение / Г. Николис, И. Р. Пригожин ; пер. с англ. В. Ф. Пастушенко. – Москва : Мир, 1990. – 342 с.
9. Гиббс Дж. В. Статистическая термодинамика / Гиббс Дж. В. – Москва : Наука, 1982. – 584 с. – (Классики науки).
10. Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур : сб. ст. / отв. ред. И. М. Макаров. – Москва : Наука, 1996. – 263 с. – (Кибернетика: неогранич. возможности и возмож. ограничения).
11. Гладышев Г. П. Термодинамика и макрокинетика природных иерархических процессов / Г. П. Гладышев ; отв. ред. Е. Т. Денисов, Б. И. Курганов. – Москва : Наука, 1988. – 287 с.
12. Климонтович Ю. Л. Турбулентное движение и структура хаоса: новый подход к статистической теории открытых систем / Ю. Л. Климонтович. – 2-е изд. – Москва : Наука, 1990. – 317 с.
13. Denbigh K. G. Entropy in Relation to Incomplete Knowledge / K. G. Denbigh, J. S. Denbigh. – Cambridge : Cambridge University Press, 1985. – 172 p.
14. Гапонов-Грехов А. В. Автоструктуры. Хаотическая динамика ансамблей / Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. // Нелинейные волны: структуры и бифуркации / отв. ред. Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. – Москва, 1987. – С. 7-44.
15. Жаботинский А. М. Автоволны в биофизике / Жаботинский А. М. // Нелинейные волны. Самоорганизация / отв. ред. Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. – Москва, 1983. – С. 16–18.
16. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе / П. Эткинс ; пер. с англ. Ю. Г. Рудого. – Москва : Мир, 1987. – 224 с.
17. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В. Эбелинг ; пер. с нем. А. С. Доброславского ; под ред. Ю. Д. Климонтовича. – Москва : Мир, 1979. – 279 с.
18. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев. – Москва : Наука, 1987. – 304 с. – (Академические чтения).
19. Капица С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – Москва : Наука, 1997. – 285 с. : ил. – (Кибернетика: неогранич. возможности и возмож. ограничения).
20. Арнольд В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. – 3-е изд., доп. – Москва : Наука, 1990. – 127 с. : ил.
21. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике :ст. и выступления / В. Л. Гинзбург. – Москва : Наука, 1985. – 399 с. – (Наука. Мировоззрение. Жизнь).
22. Анисимов М. А. Критические явления в жидкости и жидких кристаллах / М. А. Анисимов. – Москва : Наука, 1987. – 258 с. – (Современные проблемы физики).
23. Герасимов И. Л. Биосфера земли / И. Л. Герасимов. – Москва : Педагогика, 1976. – 95 с.
24. Данилов Ю. А. Что такое синергетика? / Данилов Ю. А., Кадомцев Б. Б. // Нелинейные волны. Самоорганизация / отв. ред. Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. – Москва, 1983. – С. 5–15.
25. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний / Л. И. Мандельштам. – Москва : Наука, 1955. – 470 с.
26. Пригожин И. Время, хаос, квант / Пригожин И., Стенгерс И. – Москва : Прогресс, 1994. – 272 с.

27. Лесков А. В. На пути к новой картине мира / А. В. Лесков // Сознание и физическая реальность. – 1996. – Т. 1, № 1-2. – С. 42–54.
28. Гиряев П. П. Пересмотр модели генетического кода / П. П. Гиряев, Е. А. Леонова // Сознание и физическая реальность. – 1996. – Т. 1, № 1-2. – С. 73–84.
29. Голубев С. Н. Биоструктуры как фрактальное отображение квазикристаллической геометрии / С. Н. Голубев // Сознание и физическая реальность. – 1996. – Т. 1, № 1-2. – С. 85–92.
30. Китайгородский А. И. Порядок и беспорядок в мире атомов / А. И. Китайгородский. – 6-е изд., испр. – Москва : Наука, 1984. – 176 с.
31. Петрушенко А. А. Принцип обратной связи (Некоторые философские и методологические проблемы управления) / А. А. Петрушенко. – Москва : Мысль, 1967. – 276 с.
32. Feigenbaum M. J. Quantitative universality for a class of non-linear transformations / Feigenbaum Mitchell J. // Journal of statistical physics. – 1978. – Vol. 19, iss. 1. – P. 25–30.
33. Хорстхемке В. Индуцированные шумом переходы. Теория и применение в физике, химии и биологии / В. Хорстхемке, В. Лефер ; пер. с англ. Ю. А. Данилова, В. И. Емельянова ; под ред. Д. Н. Зубарева, А. С. Михайлова. – Москва : Мир, 1987. – 397 с.
34. Тимашев С. Ф. Фликкер-шум как индикатор “стрелы времени”. Методология анализа временных рядов на основе теории детерминированного хаоса / С. Ф. Тимашев // Российский химический журнал. – 1997. – Т. 41, № 3. – С. 17–29.
35. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1991. – 234 с.
36. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature / B. B. Mandelbrot. – New York : Freeman, 1983. – 480 p.
37. Сложные системы в природе и технике / Кузеев И. П., Самигуллин Г. Х., Куликов Д. В., Закирничная М. М., Мекалова Н. В. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 1997. – 225 с.
38. Sih C. C. Mechanics and physics of energy density theory / C. C. Sih // Theoretical and applied fracture mechanics. – 1985. – Vol. 4, № 3. – P. 157–173.
39. Mandelbrot B. B. Fractal character of fracture surfaces of metals / Benoit B. Mandelbrot, Dann. E. Passoja, Alvin J. Paullay // Nature. – 1984. – Vol. 308. – P. 721–722.
40. Underwood E. E. Fractals in fractography / Ervin E. Underwood, Kingshuk Banerji // Material science and engineering. – 1986. – Vol. 80, iss. 1. – P. 1–14.

REFERENCES

1. Bol'shakov V.I. and Tushinskiy L.I. *Strukturnaya teoriya uprochneniya konstruktsionnykh staley i drugikh materialov* [Structural theory of hardening of structural steels and other materials]. Dnepropetrovsk: Svidler A.L., 2010, 482 p. (in Russian).
2. Khaken G. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow: Mir, 1980, 403 p. (in Russian).
3. Khaken G. *Sinergetika. Ierarkhiya neustoychivosti v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroystvakh* [Synergetics. Hierarchy of instability in self-organizing systems and devices]. Moscow: Mir, 1985, 421 p. (in Russian).
4. Glensdorf P. and Prigozhin I. *Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoychivosti i fluktuatsiy* [Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations]. Moscow: Mir, 1973, 280 p. (in Russian).
5. Khaken G. *Informatsiya i samoorganizatsiya. Makroskopicheskiy podkhod k slozhnym sistemam* [Information and self-organization. Macroscopic approach to complex systems]. 2-d edition. Moscow: KomKniga, URSS, 2005, 245 p. (in Russian).
6. Stenli X., Konil'o A., Klejn U., Redner S., Rejnol'ds P. and Shlifer G. *Kriticheskie yavleniya: proshloe, nastoyashee i "budushee"* [Critical phenomena: the past, present and "future"]. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow, 1984, p. 41-63. (in Russian).
7. Prigozhin I. and Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novy dialog cheloveka s prirodoy* [Order out of chaos. The new dialogue between human and nature]. Moscow: Progress, 1986, 432 p. (in Russian).
8. Nikolis G and Prigozhin I.R. *Poznanie slozhnogo. Vvedenie* [Knowledge of the complex. Introduction]. Moscow: Mir, 1990, 342 p. (in Russian).
9. Gibbs J.V. *Statisticheskaya termodinamika* [Statistical thermodynamics]. Moscow: Nauka, 1982, 584 p. (in Russian).
10. Makarov I.M. *Novoe v sinergetike. Zagadki mira neravnovesnykh struktur* [New in synergy. Mysteries of the world of nonequilibrium structures]. Moscow: Nauka, 1996, 263 p. (in Russian).
11. Gladyshev G.P. *Termodinamika i makrokinetika prirodnykh ierarkhicheskikh protsessov* [Thermodynamics and macrokinetics of natural hierarchical processes]. Moscow: Nauka, 1988, 287 p. (in Russian).
12. Klimontovich Yu.L. *Turbulentnoe dvizhenie i struktura khaosa: novy podkhod k statisticheskoy teorii otkrytykh sistem* [Turbulent motion and structure of chaos: a new approach to the statistical theory of open systems]. 2-d edition. Moscow: Nauka, 1990, 317 p. (in Russian).
13. Denbigh K.G. and Denbigh J.S. *Entropy in Relation to Incomplete Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985, 172 p.

14. Gaponov-Grekhov A.V. and Rabinovich M.I. *Avtostruktury. Khaoticheskaya dinamika ansambley* [Autostructures. Chaotic dynamics of ensembles]. *Nelineynye volny: struktury i bifurkatsii* [Nonlinear waves: structure and bifurcation]. Moscow, 1987, pp. 7-44. (in Russian).
15. Zhabotinskiy A.M. *Avtovolny v biofizike* [Autowaves in biophysics]. *Nelineynye volny. Samoorganizatsiya* [Nonlinear waves. Self-organization]. Moscow, 1983, pp. 16-18. (in Russian).
16. Etkins P. *Poryadok i besporyadok v prirode* [Order and disorder in nature]. Moscow: Mir, 1987, 224 p. (in Russian).
17. Ebeling V. *Obrazovanie struktur pri neobratimyykh protsessakh. Vvedenie v teoriyu dissipativnykh struktur* [Creation of structures in irreversible processes. Introduction to the theory of dissipative structures]. Moscow: Mir, 1979, 279 p. (in Russian).
18. Moiseev N.N. *Algoritmy razvitiya* [Algorithms of development]. Moscow: Nauka, 1987, 304 p.
19. Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P. and Malinetskiy G.G. *Sinergetika i prognozy buduschego* [Synergetics and prediction of future]. Moscow: Nauka, 1997, 285 p. (in Russian).
20. Arnol'd V.I. *Teoriya katastrof* [Catastrophe theory]. 3-d edition. Moscow: Nauka, 1990, 127 p. (in Russian).
21. Ginzburg V.L. *O fizike i astrofizike* [About physics and astrophysics]. Moscow: Nauka, 1985, 399 p. (in Russian).
22. Anisimov M.A. *Kriticheskie yavleniya v zhidkosti i zhidkikh kristallakh* [Critical phenomena in liquids and liquid crystals]. Moscow: Nauka, 1987, 258 p. (in Russian).
23. Gerasimov I.L. *Biosfera zemli* [Earth biosphere]. Moscow: Pedagogika, 1976, 95 p. (in Russian).
24. Danilov Yu.A. and Kadomtsev B.B. *Chto takoe sinergetika?* [What is synergy?]. *Nelineynye volny. Samoorganizatsiya* [Nonlinear waves. Self-organization]. Moscow, 1983, pp. 5-15 (in Russian).
25. Mandel'shtam L.I. *Lektsii po teorii kolebaniy* [Lectures on the theory of vibrations]. Moscow: Nauka, 1955, 470 p. (in Russian).
26. Prigozhin I. and Stengers I. *Vremya, kaos, kvant* [Time, chaos, quantum]. Moscow: Progress, 1994, 272 p. (in Russian).
27. Leskov A.V. *Na puti k novoy kartine mira* [To the way of a new picture of the world]. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'* [Consciousness and physical reality]. 1996, vol. 1, no. 1-2, pp. 42-54. (in Russian).
28. Giryayev P.P. and Leonova E.A. *Peresmotr modeli geneticheskogo koda* [Revision of the model of the genetic code]. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'* [Consciousness and physical reality]. 1996, vol. 1, no. 1-2, pp. 73-84. (in Russian).
29. Golubev S.N. *Biostruktury kak fraktal'noe otobrazhenie kvazikristallicheskoj geometrii* [Biostructures as a fractal mapping quasicrystalline geometry]. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'* [Consciousness and physical reality]. 1996, vol. 1, no. 1-2, pp. 85-92. (in Russian).
30. Kitaygorodskiy A.I. *Poryadok i besporyadok v mire atomov* [Order and disorder in the world of atoms]. 6-d edition, Moscow: Nauka, 1984, 176 p. (in Russian).
31. Petrushenko A.A. *Printsip obratnoy svyazi (Nekotorye filosofskie i metodologicheskie problemy upravleniya)* [Principle of feedback (some philosophical and methodological problems of management)]. Moscow: Mysl', 1967, 276 p. (in Russian).
32. Feigenbaum M.J. *Quantitative universality for a class of non-linear transformations. Journal of statistical physics.* 1978, vol. 19, iss. 1. pp. 25-30.
33. Khorstkhemke V. and Lefer V. *Indutsirovannyye shumom perekhody. Teoriya i primenenie v fizike, khimii i biologii* [Noise-induced transition. Theory and applications in physics, chemistry and biology]. Moscow: Mir, 1987, 397 p. (in Russian).
34. Timashev S.F. *Flicker-shum kak indikator "strely vremeni". Metodologiya analiza vremennykh ryadov na osnove teorii determinirovannogo khaosa* [Flicker noise is as an indicator of "the arrow of time." Methodology of untemporary series analysis based on the theory of deterministic chaos]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian chemical journal]. 1997, vol. 41, no. 3, pp. 17-29. (in Russian).
35. Khaken G. *Informatsiya i samoorganizatsiya. Makroskopicheskiy podkhod k slozhnym sistemam* [Information and self-organization. Macroscopic approach to complex systems]. Moscow: Mir, 1991, 234 p. (in Russian).
36. Mandelbrot B.B. *The fractal geometry of nature.* New York. Freeman, 1983, 480 p.
37. Kuzeev I.R., Samigullin G.Kh., Kulikov D.V., Zakirnichnaya M.M. and Mekalova N.V. *Slozhnye sistemy v prirode i tekhnike* [Complex systems in nature and technology]. Ufa: Izd-vo UGNTU, 1997, 225 p. (in Russian).
38. Sih C.C. *Mechanics and physics of energy density theory. Theoretical and applied fracture mechanics.* 1985, vol. 4, no. 3, pp. 157-173.
39. Mandelbrot B.B., Passoja D.E. and Paullay A.J. *Fractal character of fracture surfaces of metals. Nature.* 1984, vol. 308, pp. 721-722.
40. Underwood E.E. and Banerji K. *Fractals in fractography. Material science and engineering.* 1986, vol. 80, iss. 1, pp. 1-14.

Рецензент: д-р фіз. - мат. н., проф. В. Ф. Башев

Надійшла до редколегії: 17.11.2016 р. Прийнята до друку: 20.11.2016 р.