

**Каримов Самат Айратович**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Научный руководитель д.т.н., профессор Б.Л. Кузнецов

### **Синергетика: научное наследие Г. Хакена**

**Аннотация:** термин «синергетика» был использован Германом Хакеном в курсе его лекций, прочитанных в 1969 году в университете г. Штутгарта, хотя. «...впервые этот термин был употреблён английским физиологом Ч.С. Шеррингтоном (1857-1952) около ста лет тому назад. Слово «синергетика» происходит от греческого «synergeia», что означает «совместное, или кооперативное, действие». Такое действие непременно присутствует в процессах самоорганизации. Под синергетикой Хакен предложил понимать область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических системах, а также родственных им явлений в более широком классе систем.

**Ключевые слова:** Синергетика, система, моды, структуры, диссипация.

Явление динамической пространственной самоорганизации оказывается в центре синергетики Г. Хакена. С точки зрения последней, эффект Бенара как типичный для синергетики процесс можно описать так.

Есть исходное состояние системы, в котором можно говорить об относительно независимом поведении ее элементов-подсистем и об их состояниях. И есть переход из этого состояния в новое динамическое макросостояние, где имеем дело с сильно коррелированным поведением микроэлементов-подсистем.

Особенностью процесса является то, что исходные факторы – среда-система, внешнее воздействие (накачка) – не имеют структуры, а результат имеет структуру, которая диктуется свойствами системы-среды. Поэтому этот процесс называется самоорганизацией, в соответствии с чем Г. Хакен

ввел для науки об этих системах название "синергетика" (от греч. *synergetikos* – совместный). При этом у Хакена просматривается четкая система понятий, образующая ОРИ синергетики, в рамках которого определяются ее ПИО – простейшие "динамические структуры", называемые у Хакена "модами", и способ построения из них ВИО – различных динамических структур. Центральным процессом здесь оказывается процесс изменения (в том числе возникновения и исчезновения) динамических структур  $M_j$  при изменении некоторого управляющего воздействия, характеризуемого управляющим параметром  $\lambda$ . Динамические структуры характеризуются набором "измеримых величин"  $\eta$ , составляющих параметр порядка.

Понятие параметра порядка – одно из центральных у Хакена, взято им из "парадигмы лазера", в котором "как только какая-то световая волна побеждает в соревновании, она вынуждает все атомы поставлять ей свою энергию". Параметры порядка – это медленно меняющиеся переменные, которые подчиняют себе множество быстро меняющихся переменных и определяют ход макропроцесса, т.е. "динамическую структуру". Такие параметры порядка могут иметь весьма сложную временную и пространственную форму. [2]

Динамические структуры образуются согласованным поведением (движением) элементов системы – нелинейной среды (А), свойства которой определяют характеристики динамических структур – набор возможных мод. Управляющее воздействие поддерживает эту нелинейную среду в неравновесном состоянии, т.е. эта среда составляет открытую (в нее постоянно поступает энергия, или вещество, или что-то иное) и диссипативную (из нее постоянно отводится, возможно, в преобразованной форме то, что поступает) систему. Динамические структуры живут за счет прокачки чего-то через эту среду. Диссипация (потери) играет важную стабилизирующую роль по отношению к динамическим структурам, а

неизбежные спутники диссипации – флуктуации играют важную роль в процессе изменения динамических структур.

Здесь, как и в любом разделе физики (включая квантовую механику) и естественных наук вообще, наличествует операциональная часть, включающая операции приготовления (нелинейной среды и управляющего воздействия, обеспечивающего ее неравновесность) и измерения ("параметра порядка"  $\eta$  и "управляющего параметра"  $\lambda$ , являющихся "измеримыми величинами" (величинами и функциями)).

Математические представления синергетики с соответствующими уравнениями движения вышли из теории нелинейных колебаний и ряда разделов математики. Математическими образами динамических структур являются аттракторы – предельные для множества траекторий в фазовом пространстве множества точек, образующих "фокусы", "предельные циклы", "странные" аттракторы. Переход от одной динамической структуры к другой, т.е. возникновение новой динамической структуры, определяющейся соответствующими уравнениями движения, в которые входят управляющие параметры (математический образ управляющего воздействия), может быть неоднозначным. Кроме того, эти переходы часто происходят по упомянутой выше модели "динамического хаоса". Многовариантный переход называется бифуркацией. [3]

Однако есть существенный момент, который делает синергетику, как и одного из ее прародителей – теорию колебаний, наддисциплинарной наукой (а не междисциплинарной, или метанаукой, как ее часто характеризуют). Дело в том, что динамические структуры (как и колебания) описывают форму движения и безразличны к материалу среды (и связанному с ней конкретному типу движения), на котором она осуществляется. Синергетика, как и теория колебаний, отличается от разделов физики, где описываются модели движения объектов (физических систем), тем, что она, по сути, рассматривает изменения формы движения, т.е. изменения качества (в классификации Аристотеля это другой тип движения, чем движение-

перемещение). В синергетике ПИО – не простейшие физические системы, а простейшие динамические структуры. Центральными ее объектами оказываются не движение физических систем, а формы движений, которые можно обнаружить в различных разделах науки. Как и в случае колебаний, форма движения, отвечающая той или иной динамической структуре, может реализовываться на нелинейных средах, принадлежащих разным разделам науки (механике, электродинамике и др.) или даже разным наукам (физике, химии, биологии, социологии и др.). Соответственно для синергетики важны не свойства элементов (как в статистической физике), а характер связи между элементами, ответственный за характер нелинейности среды. В результате физические, химические, биологические и другие типы движения играют роль конкретного материала для динамических структур синергетики. В этом суть ее (и теории колебаний) наддисциплинарности. И это совсем иная наддисциплинарность, чем в математике, в силу наличия модельного слоя и операций приготовления соответствующей неравновесной нелинейной среды и измерения параметров порядка динамической структуры. Синергетика является естественной наукой, а не математикой, но и не физикой, что проявляется в том, что "первичным идеальным объектом" здесь является мода  $M$ , отвечающей физике, соответствует не система, а состояние системы.

### **Список использованной литературы:**

1. Кузнецов Б.Л. Расширяющееся пространство синергетики // Экономическая синергетики – Наб. Челны, препринт ОЦИССС, 2014, <http://synergy.es.rae.ru>
2. М.Л. Калужский. Общая теория систем. Курс лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 144с.
3. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве / Сост. и отв. ред. Копчик В.А. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – 495 с.