УДК 669.21

САМООРГАНИЗАЦИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ И ГРАНИЦА ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВОСПРИЯТИЯ

д.т.н., проф. В.И. Большаков, д.т.н., проф. Ю.И. Дубров, к. ф.-м. н., доц. А.И. Ткаченко

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Мы достаточно часто пользуемся термином «сложная система» (СС), поэтому попытаемся подробней, разъяснить, что мы под этим термином понимаем. Для этого мы не будем приводить существующее множество трактовок этого термина, а попытаемся дать его определение, способствующее более наглядной его интерпретации. В самом начале своего фундаментального труда [1] Г. Хакен отмечает, что при наивном подходе такую систему можно представить состоящей из большого числа частей, элементов или компонентов, которые могут быть как одного, так и различного рода. Однако, как это отмечает дальше Г. Хакен, системы могут быть сложными не только потому, что они состоят из большого числа частей, а еще и потому, что их отличает сложное поведение Естественно предположить, что сложность поведения СС пропорциональна информационной энтропии, т.е. неопределенности, которая присуща в основном антропоморфным СС.

Для этого ниже рассматриваются СС, для каждой из которых предполагается:

1. Существование системы в общем случае случайных функций отклика

$$\{Z_i(x_1,...,x_n), i=1,...,s\} \tag{1}$$

определенных в некоторой области F, n - мерного факторного пространства.

2. Существование функции

$$L(Z_1,\dots,Z_S)\,, \tag{2}$$

отражающей организованность СС и обладающей следующими свойствами:

а) сложная функция

$$L(Z_1(x_1,...,x_n),...,Z_S(x_1,...,x_n)) \tag{3}$$

называемая в дальнейшем *критерием качества функционирования СС,* определена в той же области F факторного пространства, что и функции (1).

б) если L, Z_i и $\overline{L}, \overline{Z}_i, i=1,...,s$ - функции (1) и (2) двух СС рассматриваемого класса, то из выполнимости в любой фиксированной точке $(x_1^{(0)},...,x_n^{(0)})$ области F соотношения

$$M(L(Z_i(x_1^{(0)},...,x_n^{(0)}),...,Z_S(x_1^{(0)},...,x_n^{(0)}))) >$$
$$M(\overline{L}(\overline{Z}_i(x_1^{(0)},...,x_n^{(0)},...,\overline{Z}_S(x_1^{(0)},...,x_n^{(0)}))),$$

где M - математическое ожидание, следует, что СС с функциями L, Z_i функционирует в точке $x_1^{(0)},...,x_n^{(0)}$ более качественно, чем СС с функциями. $\overline{L}, \overline{Z}_i$.

3. Первоначально, какая бы то ни была информация о функциях (1) может отсутствовать. Особая роль принадлежит функции (2), по которой формируется *критерий качества функционирования СС.*

Таким образом, общая постановка задачи, может быть формализована следующим образом требуется найти квазиоптимальное приближение функций отклика

$$Z_i^*(x_1,...,x_n), \; i=1,...,s, \tag{1}$$

на основании, которого, используя функции (2) и (3), можно будет производить оценку качества функционирования СС в точках области F .

Ввиду большого разнообразия СС, охватываемых общей постановкой задачи, конкретизация такого понятия, как «квазиоптимальность» существенно затруднена. В дальнейшем исследуется ряд подклассов СС, для каждого из которых это понятие уточняется в виду учета специфики СС каждого класса. При этом конкретизируются также функции (1) и (2).

Некоторые подклассы СС.

Организованность эволюционирующей системы, как функции количества запоминаемой ею информации может происходить так, как показано на графиках рисунка 1.

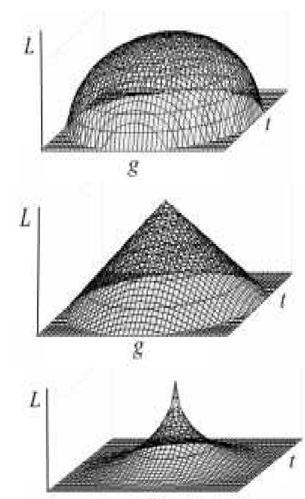

Рис. 1. Организованность эволюционной системы

На этих графиках количество информации g и время t представлены в условных единицах, а организованность - L в безразмерных. Закономерность, которая отображена представленными на рисунках поверхностями, может быть описана какой-либо эмпирической формулой, например такой как

$$L(t,g)=\left\{1-\left[\frac{1-g}{2}(a_1(1-sign(1-g))+a_2(1-sign(1-g))\right]^2\right\}^{0,5} \quad (4)$$

где $a_1=a_1(t,g)$ и $a_2=a_2(t,g)$ – коэффициенты, являющиеся функциями объемов информации, которую принимает самоорганизующаяся система с учетом как полезной – g_1 так и помехосодержащей информации – g_2. Обозначим через g^* предельное количество информации, после достижения, которого СС действует непродуктивно. Значение g^*переменной g будем называть **границей информационного восприятия (ГИВ)** в момент времени t, если в точке g^* функция $L(t,g)$ достигает максимума. Таким образом, значение g^* является ГИВ в момент времени t, если имеет место соотношение:

$$L(t,g^*)\geq L(t,g); \qquad g\in[g_{\min,}g_{\max}],$$

т. е. для всех точек g, в которых функция $L(t,g)$ определена. В формуле (4) $a_1=a_1(t,g)$ и $a_2=a_2(t,g)$ – коэффициенты, являющиеся функциями объемов информации, которую принимает самоорганизующаяся система с учетом как полезной – g_1 так и помехосодержащей информации – g_2.

Приведенные на рисунке 1 поверхности симметричные, поскольку они построены для условия равенства отношений объемов полезной и помехосодержащей информации. В зависимости от вида функций a_1 и a_2 вид поверхностей, представленных на этих рисунках, может изменяться.

Следует отметить, что для анализа СС наибольший интерес представляет не только функция организованности $L(t,g)$, но и функция ее *накопления* $\sum L(t,g)$, поскольку именно в этой характеристике отражается процесс ее развития или эволюция:

$$\sum L(t,g)=\int_{g_{\min}}^{g} L(t,g)dg,$$

Очевидно, что если точка g^* является ГИВ в момент времени t, то для функции $L(t,g)$ она является точкой перегиба.

Как показали численные исследования, графики функций $\sum L^{+}(t,g)$, при фиксированных t и изменяющихся с постоянным шагом значениях g, представляют собой семейства так называемых кумулятивных S - образных кривых, приведенных на рис. 2, где по линии перегиба AC проходит ГИВ. Эти семейства кривых были получены путем интегрирования функций представляющих поверхности на рисунке 1. Приведем различные варианты выбора кумулятивных функций

Для класса технических эволюционирующих систем, в которых только память является основой их «интеллектуальной» мобильности[1], может быть предложен следующий вид кумулятивной функции:

$$\Sigma L(t,g) = 1 - e^{-\gamma g t}, t > 1, \gamma > 0,$$ для которой

$$g^{*} = \left[\frac{t-1}{\gamma t}\right].$$

Для класса эволюционирующих систем, действия которых связаны с мышлением, памятью, мотивацией, эта функция может быть представлена уравнением вида:

$$\Sigma L(g,t) = e^{-\gamma \varphi(g)^{t}}, \gamma > 0,$$

где равенство нулю второй производной равносильно условию:

$$-\gamma\ t\ \varphi\ (g)^{t} (\varphi'(g))^{2} + (t-1)(\varphi'(g))^{2} + \varphi(g)\varphi''(g) = 0$$

При этом эмпирическая функция накопления организованности достаточно хорошо приближается к реальной, если

$$\varphi = \sqrt{1 + a^{2}(1-g)^{2}},$$

где $a = const$.

Подставляя данное выражение во вторую производную, получаем в неявном виде выражение ГИВ

$$a^{4}\gamma t(1-g^{*})^{2}(1-a^{2}(1-g^{*})^{2})^{0,5} + \frac{a^{2} + a^{4}(t-2)(1-g^{*})^{2}}{1-a^{2}(1-g^{*})^{2}} = 0$$

3. **Рассмотрим возможный подход, направленный на описание развивающейся системы.**

Для этого предполагаем, что эволюционирующая система может находиться в одном из состояний $i = 1,2,\ldots$ и пусть $P_i(t)$ - вероятность того, что в момент времени t, находясь в i - м состоянии она достигает некоторую

[1]К таким системам можно отнести базы данных, например применяемых в автоматизированных системах управления (АСУ).

цель.

Также предполагаем, что плотность распределения - σ зависит от количества поступившей в эту систему информации - g, которую самоорганизующаяся система может трансформировать в оценку «расстояния» до цели, при численных значениях некоторых переменных характеризующих ее состояние.

Пусть функции $P_i,\ i=1,2,...$, удовлетворяют системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP}{dt} = o(g)(P_{i-1} - P_i)$$

при

$$P_0 = e^{-o(g)t}$$

При начальных условиях $P_0(0)=1,\ P_i(0)=0,\quad i=1,2,...$ решение системы дифференциальных уравнений задает распределение Пуассона. Следовательно, вероятность того, что в момент времени t эволюционирующая система достигнет преследуемую ею цель, определится как:

$$P(t) = \sum_{i=1}^{\infty} P_i(t) = 1 - e^{-o(g)t} = L^+(t,g).$$

Таким образом ГИВ определяется как точка, в которой функция $o(g)$ достигает максимума.

Для выявления качественных особенностей рассматриваемых моделей, были проведены их численные исследования.

С целью обеспечения численных исследований была выполнена нормировка аргумента g. Для этого принималось, что $g_{\min}=0,\ g_{\max}=2$. После чего, без потери общности, вместо аргумента g рассматривался аргумент:

$$\frac{2(g_{\min} - g_{\max})}{g_{\min} - g_{\max}}$$

Результаты численных исследований данной модели представлены на рис.2 где показан график зависимости накопления организованности СС от параметров t,g. На графиках рисунка 2 показано восемь кривых, соответствующих определенным моментам «жизни» СС. Там, где скорость изменения организованности убывает, проходя через нуль, организованность имеет максимум. Именно эта координата параметра нагружения и определяет ГИВ[2] ото-

[2] Кое где, в тексте ГИВ обозначается как Bound, что переводится с английского языка как граница.

браженную катастрофой складки по линии AC .[3]

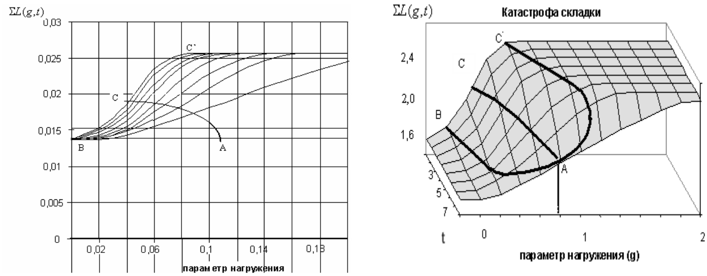

Рис.2. Кривые равновесных состояний

Кривая катастроф на рис.2 - это кривая равновесных состояний. Покажем, как специфическая конфигурация этого многообразия (кривая катастроф) обуславливает существенные границы изменения организованности.

Обычная последовательность событий, приводящих к изменению организованности, начинается с малых значений параметра нагружения, т.е. количества поступающей в СС информации. При этом поддерживается низкая скорость накопления организованности, соответствующая низкому значению равновесного состояния. По мере старения эволюционирующей системы скорость изменения ее организованности монотонно и равномерно движется вдоль нижней части линии BAC' .

В момент, когда эта система достигает точки *A*, она переходит на качественно другой уровень накопления организованности. Очевидно, что если развивающаяся система способна достичь состояния лежащего за точкой *A*, то катастрофа[4] неминуема.

Последнее происходит в результате действия внутренних механизмов, порождающих конкретную конфигурацию линии катастроф. Очевидно, движение к линии катастроф не прекратится, даже если удастся уменьшить величину параметра нагружения.

Состояние развивающейся системы в точке *C* является равновесным только в том случае, если она неизменна во времени. Однако в действительности, по мере насыщение эволюционирующей системы информацией, при больших скоростях изменения ее организованности, происходят необратимые изменения ее структуры, что, в свою очередь, приводит к ее переходу в новое равновесное состояние (точка $C^{'}$).

Таким образом, в новом состоянии равновесия мы имеем абсолютно но-

[3] Этот термин нами взят из теории катастроф.

[4] Т.е. ее скачкообразный переход в новое качественное состояние.

вую эволюционирующую систему, которая вновь, при изменении параметра нагружения начинает процесс своего развития аналогично описанному выше. Отсюда следует, что любая система способная воспринимать информацию, крайне уязвима, относительно ее увеличения.

Факты, подтверждающие наличие ГИВ у самоорганизующихся систем.

Приведенный анализ показывает, что у любой системы, способной воспринимать информацию, есть своя ГИВ. Этот факт достаточно хорошо согласуются с данными, которые доказывают возможности самоорганизации материи на основе существующих принципов физики и биологии.

К таковым можно отнести следующее:

В биологических системах, мишенью отбора, а значит и эволюции является *квазивид*, представленный распределением *фенотипически*[5] родственных *реплицирующих*[6] единицах. В центре этого распределения находится копия (или выраженный набор копий), отвечающая *фенотипу* с максимальной селективной ценностью. Содержание информации в этой главной копии, выраженное числом символов (*нуклеотидов*), приходящимся на реплицирующую единицу, ограничено. *Превышение этого порога содержания информации (в нашей терминологии ГИВ) приводит к ее распаду вследствие постоянного накопления ошибок, т.е. к катастрофе;*

Физические свойства, присущие *нуклеиновым кислотам*, допускают воспроизводимое накопление информации не более чем 50-100 *нуклеотидов*[3,4];

Феноменологическое описание процесса самоорганизации СС, базирующееся на механизмах накопления информации, полностью согласуются с теорией *прерывистой эволюции* [5], так как при этом подтверждается факт существования периодов быстрых изменений и длительных равновесий. При этом хотелось бы отметить, что основной принцип прерывистой эволюции - отбор видов, является единственно понятным способом создания информации.

Именно отбор создает неравновесные состояния СС, поддерживающиеся за счет поступления в нее информации, приводящей к специфическим изменениям памяти. Таким образом, отбор является первопричиной формирования опыта;

---

[5]Фенотип [гр. phaino являю + тип] - совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития (онтогенеза); фенотип определяется взаимодействием генотипа, т.е. наследственной основы организма, с условиями среды, в которых протекает его развитие.

[6]Репликация [лат. replicari - отражать] - биол. ауторепродукция - создание себе подобной структуры; репликация лежит в основе передачи наследственной информации от клетки к клетке и от поколения к поколению.

Известны закономерности, накладывающие ограничения на возможности по совершенствованию эволюционирующих систем. К ним относится, например, квантово - механический принцип неопределенности, который накладывает фундаментальное ограничение на максимально возможный размер памяти компьютера, поскольку, как показано в [6-7], с увеличением ее объема, с некоторого момента теряется точность вычислений производимых с его помощью.

Из выше изложенного следует, что задача качественного исследования эволюционирующей системы может быть сведена к определению ее ГИВ, зависящей от определяющих параметров – количества и качества поступающей в систему информации и скорости роста ее организованности.

Такое исследование состоит в том, чтобы описать все возможные бифуркации, построить множество значений бифуркационных параметров на области с различным типом фазовых портретов, и указать для каждой области соответствующий ей фазовый портрет с областью определения ГИВ.

Опираясь на авторитет великого И.П. Павлова, подытожим это его словами *«... вся жизнь от простейших до сложнейших организмов, включая, конечно и человека, есть длинный ряд все усложняющихся до высочайшей степени уравновешивания внешней среды»* Слова эти, думается, точно характеризуют перспективы применения системного подхода не только для анализа работоспособности и синтеза систем искусственного происхождения, но и общества, так как понятие уравновешивания, является одним из центральных понятий кибернетики, являющейся в свою очередь всего лишь составной частью общей теории систем.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1.*Хакен Г.* Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. - М.:Мир,1985.

2. *Паск Г.* Модель эволюции. //Принципы самоорганизации: Мир, 1966, С.284-314.

3. *Ферстер Г*. Самоорганизующиеся системы. М., Мир,1964-470 с.

4. *Дубров Ю.І.* Людина в сучасному виробництві: проблеми психічної стійкості та інтелектуальної мобільності. // Вісник НАН України.-1998.- С. 81 - 90.

5. *Eigen M., Schuster P.* Naturwissenshaften, 1978, Bd 65, No 1.

6. *Eigen M., Schuster P.* Naturwissenshaften, 1978, Bd 65, No 7.

7. *Шарль Г., Бенне П., Рольф Ландауэр*. Физические пределы вычислений. // В мире науки. - 1985. - С.24 - 37.