

ОБ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С САМООРГАНИЗАЦИЕЙ

Иште синергетикалык теңдемелер идеясын колдонуу менен татаал информациялык системалардагы аныкталган маселелерди чыгаруу каралат.

Динамикалык системалардын өзүн-өзү уюштуруу процессинин башкы белгилери каралган. Чечилүүчү проблеманын схемалык курамынын жана этаптарынын түзүлүшүн чагылдырган өзүн-өзү уюштуруучу системанын функцияланыш алгоритминин мисалы келтирилген. Схемада көрсөтүлгөн көп өлчөмдүү параметрлүү бир катар учурлардагы функционалдык көз карандылыктын анык эмес берилишиндеги жалпы математикалык формалаштыруу келтирилген. Тиешелүү баа, жыйынтыктар берилген.

В работе рассматриваются решения определенных задач в сложных информационных системах с использованием идей синергетического уравнения. Рассматриваются главные признаки процесса самоорганизации динамических систем. Приведен пример алгоритма функционирования системы с самоорганизацией, который отражает структуру схематического состава и этапов решаемой проблемы.

Приведены общие математические формулировки задач в неявном представлении функциональных зависимостей с многомерными параметрами ряда случаев, указанные в схеме. Даны соответствующие оценки, выводы.

In work the decision of certain problems in difficult information systems with use of ideas synergetical equations is considered. The main signs of process of self-organising of dynamic systems are considered. The example of algorithm functioning of system with self-organising which reflects structure of schematic structure and stages of solved problem is resulted.

The general mathematical formulation of problems in implicit representation of functional dependences with multidimensional parameters of some the cases, specified in the scheme are resulted. Corresponding estimations, conclusions are given.

Традиционная теория информации (ТТИ) занимается, главным образом, проблемами рецепции (получения), передачи и хранения информации. При этом ТТИ носит антропный характер /1/, при котором считается, что объект, принимающий информацию, некое разумное существо, стремящееся к «желаемой» цели. Вопрос о ценности передаваемой или принимаемой информации оставался вне рассмотрения. Поэтому в ТТИ до сих пор остаются без ответа следующие вопросы /1/: что такое «цель» и как она интерпретируется применительно к

неживым объектам, может ли изменяться ценность информации с учетом времени и в каких пределах?

В последние годы эти вопросы находят свое определенное решение в сложных информационных системах с использованием идей синергетического уравнения. Как известно, синергетика – это наука, изучающая «совместное действие» на систему нескольких внешних факторов, при котором происходит самоорганизация системы, т.е. самопроизвольное усложнение формы или структуры при медленном изменении ее параметров. В сложных динамических системах самоорганизации, имеющих много степеней свободы, выделяется несколько главных степеней – «параметров порядка», под которые через определенное время «подстраиваются» все остальные степени свободы. Примером самоорганизации в сложных системах является самопроизвольное возникновение режима автоколебаний в нелинейных САУ, в радиотехнических системах и т.п., когда ритмический режим автоколебаний появляется «вдруг» при плавном изменении параметров. Основной причиной возникновения эффекта «неожиданности» является режим неустойчивости – внутреннее взаимодействие координат состояния и нелинейных процессов управления.

Теория информации тесно связана с термодинамикой. Информацию можно выразить через энтропию, и наоборот. В термодинамике энтропия – мера беспорядка, в теории информации – недостаток информации о системе, это мера неизвестности. Следовательно, изменение структур системы – это следствие протекания ее энтропийно-информационных процессов.

Рассмотрим новую концепцию управляемого взаимодействия энергии, вещества и информации. К настоящему времени выявлено наличие глубокой связи функционирования сложных нелинейных динамических систем с теми информационными процессами, которые возникают в этих системах от взаимодействия с внешней средой. Как отмечено в работах /3, 4/, маломощные информационные управляющие сигналы, действуя в точках бифуркаций таких сложных систем, могут привести к значительным и даже катастрофическим последствиям.

Например, нелинейная система автоматического управления (НСАУ) будет *открытой* в термодинамическом смысле, если через нее будет протекать энергия или информация от соответствующего источника, в котором их носителями являются как раз синтезируемые сигналы управления. В открытой системе происходит обмен между подсистемами, окружающим веществом и энергией.

Только в «открытых» системах, обменивающихся с внешней средой, веществом и информацией, происходят процессы *самоорганизации*, т.е. процессы возникновения из физического хаоса новых упорядоченных структур, приводящих к новым свойствам системы.

Для рассмотрения процесса самоорганизации необходимо исходное уравнение НСАУ расширить таким образом, чтобы включенные в уравнение внешние силы оказались для нее внутренними /1/.

Рассмотрим главные признаки процесса самоорганизации динамических систем /2, 3/ на примере алгоритма их функционирования (рис.1), основанного на информационной динамике.

1. *Движение* системы должно протекать в нелинейной области ее фазового пространства.
2. *Открытость (разомкнутость)* системы, в которой происходят процессы обмена энергией, веществом и информацией с внешней средой.
3. *Наличие неравновесной термодинамической ситуации*, т.е. ситуации, при которой приток энергии к системе должен быть достаточным как для погашения энтропии, так и для ее уменьшения, что приводит к усилению порядка в системе.
4. *Согласованность (когерентность)* протекающих в системе процессов. При этом не любой из множества процессов может быть процессом самоорганизации, необходимо, чтобы он был еще и самосогласованным, кооперативным.

Если приток энергии к системе достаточен для погашения или уменьшения энтропии, то это усиливает порядок в системе. При совместном действии энергии, вещества и информации в условиях термодинамической неравновесности и влияния бифуркаций возникает *самоорганизация*, это когда обе – энергетическая и информационно-управляющая подсистемы образуют неразрывное *единое целое*, приводящее к когерентному поведению большого числа фазовых переменных.

Траектории систем чрезвычайно чувствительны к малым μ -флуктуациям, проходя последовательно многие точки бифуркации. Вследствие этого изображающая точка системы легко перебрасывается с одной траектории на другую из-за действия μ или малых структурных изменений.

В процессе самоорганизации и образования диссипативных структур – аттракторов происходит уменьшение числа степеней свободы, при этом выделяется несколько параметров порядка (макропеременные) $\Psi_s(x_1, \dots, x_n)$, под которые подстраиваются остальные. Происходит динамическая декомпозиция фазового пространства, приводящая к выделению параметров порядка – макропеременных, к которым притягиваются остальные координаты системы. Параметры порядка позволяют построить базовые упрощенные (агрегированные) модели, учитывающие взаимодействия лишь отдельных координат состояния.

Самый простой аттрактор – точка, более сложный аттрактор – предельный цикл, тор. Аттракторы имеют размерность, всегда меньшую размерности исходной системы, что означает «забывание» начальных условий, при которых начинаются траектории движения к аттрактору, вследствие чего к системе применимо инвариантное решение нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих собой *асимптотику* большого класса других решений. Прилагая к системе малые воздействия, согласованные с ее внутренними свойствами, можно обеспечить качественно новое поведение системы вдали от ее положения равновесия.

На аттракторах наилучшим образом согласуются естественные (энергетические, механические, тепловые и т.д.) свойства ОУ и требования задачи управления. Такие аттракторы (синергии) формируют внутрисистемные связи, в результате в фазовом пространстве возникает *когерентное* коллективное движение. Это позволяет реализовать направленную (целевую) самоорганизацию коллективного состояния в динамических системах. Этот подход позволяет

существенно продвинуться в решении поставленной академиком А.А.Красовским прикладной проблемы создания физической (химической, биологической, социально-экономической) теории управления /4/. При этом остается требование обеспечения общесистемных динамических свойств – асимптотического

движения, грубости и минимума времени переходных процессов. Известно, что диссипативные системы имеют *внутренние степени свободы*, или *параметры порядка*, соответствующие ее внутренним аттракторам, т.е. некоторым мультистабильным состояниям. Отсюда следует, что выбор соответствующей траектории движения в бифуркационных точках системы будет определяться стоянием внутренних степеней свободы, если в системе организовать соответствующую обратную связь между динамическими и внутренними степенями свободы. При этом система приобретает необычные свойства своего поведения и реакции на внешние воздействия. Для расширения возможностей системы следует сформировать ее управляющую часть таким образом, чтобы в ней могли возникнуть новые дополнительные степени свободы или параметры порядка в результате новых бифуркаций, что означает расширение размерности и объема фазового пространства системы.

В системах самоорганизации функционируют две неразрывно связанные подсистемы: вещественно-энергетическая и энтропийно-информационная, которые подчинены разным законам и связаны с разными формами существования материи.

Так, вещественно-энергетическая подсистема подчиняется законам сохранения энергии в пространстве и составляет материальную консервативную часть системы.

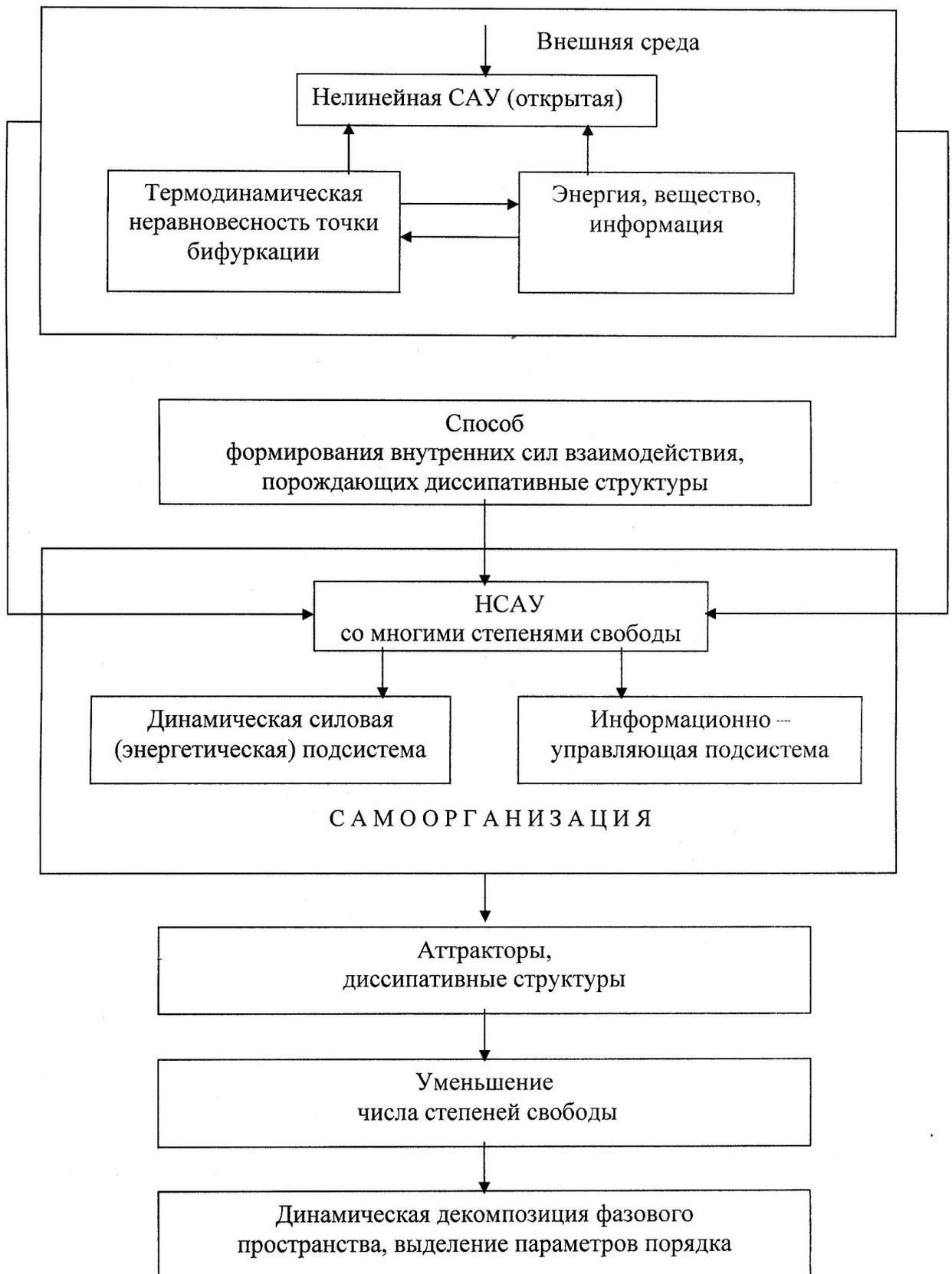


Рисунок 1. Алгоритм функционирования динамической системы с самоорганизацией.

Энтропийно-информационная система тесно связана со временем, является свободной нематериальной подсистемой, чутко реагирующей на малейшие изменения окружающей среды. Эта подсистема организует и управляет системой, изменяет форму и внутреннее строение, структуру системы.

В реальной жизни почти все динамические системы, особенно нелинейные, обладают разнотемповостью, то есть имеют быструю x и медленную y переменные движения, например, в сингулярно-возмущенной системе:

$$\mu \frac{dz}{dt} = F(x, y, t)$$

$$\frac{dy}{dt} = f(z, y, t)$$

$$z(0) = z^0, \quad y(0) = y^0,$$

(1)

При $\mu > 0$ имеем систему алгебраических и дифференциальных уравнений, имеющих различные фазовые пространства

$$F(\bar{z}, \bar{y}, t) = 0$$

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = f(\bar{z}, \bar{y}, t)$$

(2)

Здесь система (1) является возмущенной по отношению к (2) и, наоборот, система (2) по отношению к (1) – редуцированной, вырожденной. Состояние системы (1) задается $(m + n)$ числом, траектория определяются $(m + n)$ начальными условиями, для системы (2) фазовое пространство n -мерно. Следовательно, необходимо только n начальных условий. В нелинейной системе (1) для x при изменении y возможны бифуркации, т.е. качественные изменения. Здесь и в подобных динамических моделях очень важен анализ быстропротекающих процессов.

Учет быстропротекающих процессов в динамике процессов.

Обычно при аналитическом конструировании и алгоритмическом обеспечении САУ используются математические идеализированные модели управляемых движений, *не учитываются эффекты быстропротекающих процессов в контурах систем*. При этом предполагается, что неучитываемые малые параметры не влияют на характер движения. На практике эти неучитываемые малые параметры являются причиной качественного изменения вида движения и внутренних свойств систем. Первые исследования влияния малых параметров на динамику управляемых систем с введением определенно грубых динамических систем, сохраняющих свойства при изменении малых параметров, были проведены А.А.Андроновым. Под грубостью Андронов понимал устойчивость состояния покоя или движения при малых отклонениях. Он также ввел понятие грубых состояний равновесия, грубых предельных циклов и установил необходимые и достаточные условия грубости. Эти основополагающие понятия впоследствии

стали основой создания теории чувствительности динамических систем, а также теории робастных САУ.

При исследовании многих технических и физических систем, описываемых системами дифференциальных уравнений высокого порядка, было замечено появление эффекта «жесткости», т.е. необходимость исследовать функции 2-х типов: на некоторых малых отрезках – быстро меняющиеся функции с большими производными, определяющими быстрые движения; а на остальной части – функции с малыми производными, определяющими медленные движения /5/.

Одной из главных задач управляемых систем является формирование такого управления, которое обеспечило бы существование инвариантного множества M для динамической модели со многими степенями свободы. Инвариантность – это неизменность какой-либо величины по отношению к некоторым преобразованиям, в частности, в теории автоматического управления – это независимость каких-либо параметров управляемой системы от изменения других ее параметров или от внешних воздействий.

В САУ инвариантным множеством может быть и положение равновесия. Главное требование – асимптотическая устойчивость для инвариантного множества M . Выявлен большой круг нелинейных систем с несколькими неустойчивыми положениями равновесия, обладающими притягивающими множествами.

При этом оказалось, что кроме стационарных и периодически предельных режимов, существуют иные предельные режимы другой природы, в которых, если даже отдельная траектория неустойчива, то в целом выход на предельный режим оказывается устойчивым (аттрактор). Автоколебание в САУ тесно связано с аттрактором, который иногда даже может представлять собой совокупность группы автоколебаний.

Математическим аппаратом синергетики является известная теория динамических систем, основанная на дифференциальных модулях вида /3/, учитывающих действия быстропротекающих процессов

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} F(x_1, x_2, \dots, x_n) + D_i \Delta x_i, \\ i = \overline{1, n} \\ (3)$$

где x_i – динамические переменные (фазовые координаты, концентрации реагирующих веществ; $F_i(x_i)$ – нелинейные функции, характеризующие их взаимодействие в данной точке пространства; τ_i – характерные времена изменения переменных x_i ; $D_i \Delta x_i$ – спектр распространения динамических переменных x_i в пространстве (например D_i – коэффициенты диффузии).

Интересным является то, что процессы, описываемые уравнением (1), протекают в ограниченном пространстве, в случае же динамических переменных, распространенных в пространстве равномерно, имеем систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

(4)

Так как уравнения (3) и/или (4) являются динамическими, то их решения однозначно определяются начальными и граничными условиями, а также параметрами и свойствами.

Однако часто возникают ситуации, когда решения динамических уравнений теряют устойчивость.

Современные сложные объекты управления многомерны, многосвязанны, нелинейны, нестационарны, неопределенны, стохастичны и т.д. Недостаток достоверной информации об объекте – главный источник неопределенности. В этих случаях эффективно применение адаптивных принципов управления, позволяющих устранить неопределенности, возникающие из-за отсутствия необходимой информации о структуре и параметрах объекта, или современных методах синергетики.

Как указано в [2], синергетический подход к аналитическому конструированию нелинейных агрегированных регуляторов опирается на идею введения притягивающих инвариантных многообразий (аттракторов), где происходят согласования энергетических, механических, тепловых информационных свойств объекта и требований задачи управления.

$$x(t) = f(x, u),$$

где $x(x_1, \dots, x_n)$ – фазовые переменные, координаты точки, движущейся в фазовом пространстве; n – число степеней свободы; u – вектор управления размерности $m \leq n$.

Необходимо найти закон управления $u(\Psi) = u(x)$, переводящий объект из произвольного начального состояния $x_0(x_{10}, \dots, x_{n0})$ сначала в окрестность инвариантного многообразия $\Psi(x_1, \dots, x_n) = 0$ в фазовом пространстве координат, а затем в асимптотически устойчивое движение вдоль этого многообразия в желаемое состояние, в частности, в начало ее координат.

Закон управления $u(\Psi)$ удерживает изображающую точку в указанной окрестности при дальнейшем движении вдоль $\Psi(x_1, \dots, x_n) = 0$. При этом на траекториях движения к многообразию $\Psi(x_1, \dots, x_n) = 0$ достигается минимум.

Обычно оптимизирующим универсальным критерием, отражающим работу системы в режиме малых и больших отклонений, принимается критерий качества.

$$J = \int_0^{\infty} F(\Psi, \dot{\Psi}) dt,$$

где $\Psi(x_1, \dots, x_n)$ – агрегированная макропеременная, представляющая кусочно-непрерывную функцию фазовых координат x_1, \dots, x_n .

Обычно подынтегральную дифференцируемую по всем аргументам функцию $F(\Psi, \dot{\Psi})$ принимают в квадратичной форме

$$F(\Psi, \dot{\Psi}) = m^2 \dot{\Psi}^2 + c^2 \Psi^2(t).$$

В этом случае критерий качества принимает вид

$$J = \int_0^{\infty} [m^2 \varphi^2(\psi) + c^2 \psi^2(t)] dt .$$

Известно, что по количеству информации не определяют представление об ее свойствах. Здесь важны такие понятия информации, как «ценная», «новая», «запомненная» и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. – М.: Знание, 1990 (сер. «Математика и кибернетика», №5).
2. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. – М.: Едиторная УРСС, 2005.
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоиздат, 1994.
4. Красовский А.А. Проблемы физической теории управления //Автоматика и телемеханика. – 1990. – № 11.
5. Шаршеналиев Ж., Бакасов А.О некоторых основах системного анализа динамических систем методом синергетического управления //Известия НАН КР. – 2011. – № 2.