

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
(ВИНИТИ)

# НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА  
ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 7

Москва 1998

## ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 004.891.2:004.052.2

А. Н. Райков

*“Благом или целью является приведение к согласию противоречий внутри хаоса”.*

Г. Гегель

### К основам устойчивости и целенаправленности функционирования систем поддержки решений

Часть I. Устойчивость\*

*Свобода и необходимость, хаос и порядок, гражданское общество и государство, информационное общество и государственное управление — закономерные диады социального целого. Возможно ли определение необходимого соотношения между порядком и хаосом при принятии управленческих решений.*

Информационные системы поддержки решений (СПР) в социально-политических и экономических областях призваны упорядочить ход развития событий, обеспечить порядок внутри хаоса. Основными функциями таких систем является анализ и прогноз ситуации в условиях неопределенности. И вообще, полезность методологической

парадигмы наведения порядка внутри хаоса подтверждается не одним поколением. Человек всегда стремится упорядочить свою деятельность: следуя накопленному опыту, он строит сценарии развития событий; группируя людей, он играет в политические игры; систематизируя информацию, он в интуитивном ожидании ищет идею решения сложной

\*“Часть II. Целенаправленность” планируется опубликовать в одном из следующих номеров журнала.

проблемы и пр. А между тем, в какой степени порядок, кристаллизуя хаос за счет принятия определенных прогнозных решений, определяет устойчивость и целенаправленность развития социума в естественно-хаотичном мире?

Начнем с того, что СПР, применяемые в социально-политических и экономических областях — это компонент человеко-машинной системы.\* В целом социально-политическая и экономическая система является информационно открытой для хаотического взаимодействия с внешним миром\*\*.

Хотя это, на первый взгляд, является банальным утверждением, для более строгого рассмотрения вопроса требуются некоторые пояснения.

Работа рассматриваемых СПР опирается на возможности информационно-интеллектуальных технологий, поскольку они функционируют в сфере деятельности, по традиционным меркам не поддающейся простой формализации. Базовые компоненты СПР функционируют как бы “над” обычным информационно-телекоммуникационным срезом. В этом “надпространстве” больше манипулируют понятиями: интуиция, эмоции, естественный язык, мышление, сознание, принятие решений, экспертиза и пр. А здесь неопределенности всегда будет хватать. Поэтому, понимая необъятность поставленного вопроса, попробуем подойти к ответу с более общих фундаментальных позиций.

Исследования в области искусственного интеллекта в последние лет пятнадцать дали большой импульс решению проблем языка, мышления и сознания. Особенно заметно становление когнитивной парадигмы, которая объединила усилия математиков, физиков, психологов, лингвистов, логиков, специалистов продвинутой компьютерной науки. По когнитивному подходу мышление представляет собой манипулирование ментальными представлениями типа фреймов, планов, сценариев, моделей и других структур знания\*\*\*.

При этом, выделяются два довольно самостоятельных компонента. Во-первых, это структуры представления знаний в виде различных форматов, и, во вторых, это способы их понятийной организации (стратегии и механизмы семантического вывода). Этот подход, как известно, оказался чрезвычайно плодотворным в плане практического создания важнейшего класса интеллектуальных систем — экспертных систем (для детерминированных проблемных областей).

Однако со стороны теоретиков искусственного интеллекта все острее ощущается ограниченность традиционного когнитивного подхода. Сейчас исследования переориентируются на более полный учет особенностей человеческого мышления. Эти исследования больше акцентируют внимание на вопросе единства знаний и эмоций, чувств и мотива-

ций, неаналитической обработки визуальных образов, закрепления человеческих навыков. К работам все больше подключаются философы, семиотики, культурологи, нейрофизиологи, нейробиологи, специалисты по этике и даже специалисты по восточным религиям. Переоценивается влияние эмоций на сам механизм естественно-логического вывода.

Основные параметры традиционных когнитивных систем опираются на принцип их информационной открытости: приобретение нового знания путем усвоения внешней информации, оперирование ментальными представлениями. Имеются и принципиально иные подходы. Интересна концепция организации живых систем, развития чилийским биологом У. Матураной\*\*\*\*, согласно которой организация живых систем определяется областью их возможных взаимодействий. Причем, идентичность живой системы сохраняется до тех пор, пока единство ее взаимодействий не нарушено. При этом основная функция языка заключается не в передаче информации, а в самоориентации человека в его познавательной деятельности: знать — значит вести себя адекватным образом, сохраняя идентичность живой системы. Язык здесь скорее ассоциируется с порядком, а эмоции — с хаосом.

И вообще, сейчас наибольшей критике подвергается тезис о возможности четкого и однозначного разграничения на объективный мир физических явлений и субъективный ментальный мир мыслей и чувств. Такое понимание реальности наивно сводит роль познающего субъекта к “сбору информации”, построению ментальных образов и манипулированию ими. На самом же деле, по мнению, например, герменевтика Мартина Хайдеггера, а позднее Ханса Гадамера, окружающий мир не может быть жестко отграничен от человека, поскольку он структурирован посредством его целей, обстоятельств и намерений.

Заслуживают внимания в этой связи исследования групповой деятельности лиц, принимающих решения, а также формирования групп интересов\*\*\*\*\*. Группы интересов предохраняют демократию от деспотизма, концентрируют взгляды, оппонировать власти, децентрализуют управление, дают гражданину возможность политического влияния.

К исследованию группового поведения относится, например, психологический трансактный анализ (трансакция — единица обмена информацией между двумя людьми, состоящая из стимула-вопроса и реакции-ответа). Одно из его направлений — это анализ сценариев действий, под которыми здесь понимается система циклически воспроизводящихся человеком поведенческих актов, причину и смысл которых сам человек не всегда осознает. Сценарное поведение проявляется в ситуациях принятия решения, когда человек использует

\*Райков А. Н. Информационные системы поддержки государственных решений // Вестник РОИВТ.— М.: ВИМИ, 1995.— № 5.— С. 18-29.

\*\*Райков А. Н. Устойчивость государственного управления и открытость информационной сферы // Вестник РОИВТ.— М.: ВИМИ, 1996.— № 6.— С. 3-13. Райков А. Н. Открытые системы для открытых проблемных областей // Вестник РОИВТ.— М.: ВИМИ, 1996.— № 5.— С. 23-29.

\*\*\*Петров В. В. Язык и искусственный интеллект: рубежи 90-х годов / В сб. Язык и интеллект. Пер. с англ. и нем. / Сост. и вступ. ст. В. В. Петрова.— М.: Издательская группа “Прогресс”, 1995.— 416 с.

\*\*\*\*Maturana H., Varela F. Autopoiesis and Cognition. Dord-recht, 1981; Diskurs den Radikalen konstruktivismus.— Frankfurt / M., 1986.

\*\*\*\*\*Васильев А. В. Анализ политического поведения малых групп: подход к выявлению цикличности поведения. В кн.: Политическое управление: теория и практика.— М., РАГС, 1997.— С. 125-137.

свой опыт. Сценарным поведением, как бы, можно заболеть, поскольку в постоянно изменяющихся условиях сложившиеся и ставшие уже стереотипными сценарии могут оказаться неадекватными, а решение, принятое по недосмотру на их основе, — неблагоприятным. Не случайно, древнее правило гласит: "Взявшись за плуг, не оборачивайся назад" (его, видимо, тоже следует применять творчески).

Отсюда, в частности, следует, что некорректно разработанная или применяемая СПР может повысить риск принятия неблагоприятного решения, поскольку большинство популярных подходов к созданию СПР опирается на так называемый кэйс-метод (решение лицу подсказывается на основе аналогий с накопленными случаями). На основе этого метода, например, делаются ныне очень популярные экспертные системы и нейронные технологии.

В основе построения сценариев поведения социальной группы лежит тот факт, что основные "структурные компоненты социально-политической психологии восходят к структурным компонентам психологии личности и воспроизводятся в психологии группы". В основе же формирования структурных компонент лежат установки, являющиеся продуктом усвоения человеком установок его социальной среды. С точки зрения соотношения порядка и хаоса: сценарии уменьшают хаос и способствуют порядку.

Таким образом, с системных позиций представляется вполне плодотворной идея о принятии гипотезы (допущения) об изначальной хаотичности процесса принятия решения в среде "внешнее окружение — человек(группа) — СПР". В процессе принятия решения человеком логика больше представляет результат работы мысли — порядок, самому же процессу мышления больше присущи хаотические характеристики. В голове скорее бушует стихия (физическая, химическая, нейрофизиологическая и др.), упорядочиваемая пока непонятными "сгустками мысли", чем ясная логика символов. Так, Хайдеггер, Виноград, Флорес подчеркивают невозможность экспликации человеческой практики посредством ментальных репрезентаций и структур\*. Любопытно заметить, что Виноград ранее являлся одним из основоположников традиционного логико-семантического подхода к созданию систем искусственного интеллекта — революционное же воздействие на него оказала работа феноменолога Эдмунда Гуссерля, сделанная в 1913 году (!).

Символы — на входе и выходе мышления, а внутри — кропотливая и хаотичная работа мысли, иногда углубляющейся в подсознание, иногда выходящей наружу, чтобы "подышать" воздухом логики для самоориентации. Важно не само символическое сообщение, а те операции внутри сознания, которые оно вызывает. Человек сам создает

ту информацию, активизирует и формирует те значения, которые призваны обеспечить его оптимальное "сопряжение" с окружающей средой. При этом основная функция языка — коннотационная\*\*\*. Любой логический символ имеет под собой коннотационный "сгусток мысли" — можно сказать, что символ "кодирует" и "кристаллизует" мысль. Как бы то ни было, эти процессы еще не скоро будут расшифрованы, но они в любом случае подчиняются физическим законам природы: закону сохранения энергии, законам термодинамики неравновесных процессов\*\*\*\*.

Характерной особенностью неорганизованной среды или хаоса является, как известно, слабая чувствительность происходящих в ней процессов к исходным данным, начальным условиям, т. е. информация о начальном состоянии теряется за относительно малый период времени\*\*\*\*\*. Эта характеристика является принципиальной при оценке возможности использования той или иной интеллектуальной технологии, инструментария для решения конкретной задачи.

Например, при возникновении какой-нибудь социально-политической проблемы (особенно в условиях чрезвычайности) в самый начальный момент, как правило, никто не знает, что делать, за исключением того, что возникшую проблему надо решить. Через некоторый интервал времени возникает "зацепка", кто-то подсказывает, например, чего не надо делать. Дальше процесс начинает упорядочиваться, появляются направления действий, определяются взаимоувязанные факторы, характеризующие ситуацию, хотя хаотичность ее осмысления остается еще относительно долго. Да и вообще, когда хаотичность, неопределенность ситуации пропадает, проблема снимается — в дело вступают детерминированные процессы регулирования.

По мере нарушения равновесия (по разным причинам) в хаотичной системе в отдельных местах среды проявляется упорядочение ее элементов, элементы распределяются по группам — возникает информационная определенность. Хаос структурируется, появляются зоны устойчивого и неустойчивого равновесия. Конечное время зоны равновесия обладает структурной устойчивостью, способностью эволюционировать и устанавливать связи. Появление взаимосвязей элементов приводит к закреплению определенных свойств элементов, увеличивает устойчивость образованных структур.

Процессы принятия решений в сложных ситуациях напоминают известное представление неравновесных процессов: сама среда принятия решений физически непрерывна, а параметры среды могут быть как-то заданы в виде полевых переменных — функций координат и времени. В зависимости от конфигурации процесса принятия

\* Диллигенский Г. Г. Социально-политическая психология. — М., 1996. — С. 152.

\*\* Flores F., Graves M., Hartfield B., Winograd T. Computers Systems and the Design of Organizational Interaction. — In: ACM Transactions on Office Information Systems. Vol. 6. — № 2. — 1988. — P. 153-172.

\*\*\* См. также сноску на работу В. В. Петрова.

\*\*\*\* Raikov A. N., Ulyanov S. V. Fuzzy modelling of support decision as intelligent technology in control of complicated social-political object // Proceedings of the Int. Conf. on Application of Fuzzy Systems (ICAFS-94). — University of Tabriz, Iran, 17-19 October, 1994. — P. 281-283.

\*\*\*\*\* Могилевский В. Д. Основы теории систем: учебное пособие. Часть 1. — М.: Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет). — 1997. — 76 с.; Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 344 с.; Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М.: Прогресс, 1986. — 431 с.

решения общая система поддается макроскопическому описанию: всегда можно выделить взаимосвязанную совокупность лиц, принимающих решения, собственно СПР, окружающую среду — все эти элементы достаточно велики и содержат очень большое количество частиц. Состояние же каждого элемента характеризуется температурой, давлением и другими термодинамическими параметрами.

Высказав, в общем-то очевидный, тезис о подчиненности процессов принятия решений фундаментальным закономерностям природы, попробуем оценить (скорее качественно, чем количественно) устойчивость процессов принятия решений на основе применения СПР и интеллектуальных технологий. Под *устойчивостью функционирования СПР* будем понимать ее способность поддерживать процесс решения имеющейся проблемы до его завершения при определенных возмущающих воздействиях, оказываемых на этот процесс внутренними и внешними факторами.

Одним из общих подходов к оценке устойчивости таких систем может быть использован информационно-термодинамический метод, позволяющий оценить границы и тенденции изменения устойчивости динамических неравновесных управляемых систем в зависимости от их структуры и интенсивности процессов обмена информацией\*. Вопрос о правомерности применения термодинамических закономерностей для исследования процессов мышления ставится, хотя и довольно робко, уже давно\*\*.

В этих работах предлагается определить энтропию термодинамической системы через изменение структуры состояния элементов системы (гамильтонова система), имея в виду, что мы рассматриваем систему взаимодействия энергий свободных полей элементов конфигурации процесса принятия решения. В этом случае элементы системы характеризуются наборами переменных негеометрической природы (энергия, электромагнитная индукция, потенциал, температура, энтропия) и переменных геометрической природы (фаза, позиция, координата, скорость и др.). Для характеристики рассматриваемой системы, нахождения уравнений взаимодействующих полей воспользуемся лагранжианом  $L = K - U$ , где  $K$  — кинетическая энергия,  $U$  — потенциальная, который, будучи более общим по сравнению с гамильтоновым подходом, справедлив и для нелокальных полей.

Тогда, состояние рассматриваемой системы определяется из уравнения Лагранжа второго рода. Для оценки устойчивости системы используется ее полная энергия  $E = K + U$ . Для информационно-изолированной системы между производством энтропии и функцией Ляпунова  $V$  (в качестве которой будем использовать полную энергию системы) выполняется строгое соотношение:

$$\sigma = \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{T} \frac{dV}{dt},$$

\*Захаров В. Н., Ульянов С. В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. II. Эволюция и принципы построения // Техническая кибернетика.— 1993.— № 4.— С. 189–205; Петров Б. Н., Ульянов Г. М., Ульянов С. В. Динамические системы с нечеткой и случайно изменяющейся структурами // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика.— М.: ВИНТИ АН СССР, 1979. Т. 11; См. также нашу совместную работу с С. В. Ульяновым.

\*\*Bergston, G. M. & Nevanlinna, O. An Entropy Model of Primitive Neurol Systems. International Journal of Neurosciences.— 1972.— № 4. P. 171–173; Лефевр В. А. Космический субъект.— М.: Институт психологии РАН. Ин-кварт, 1996.— 184 с.

где  $S$  — энтропия изолированной системы,  $T$  — нормирующий множитель,  $\sigma$  — скорость порождения производства энтропии. Из этого соотношения следует взаимосвязь устойчивости поведения системы и второго закона термодинамики. Изменение состояния (“движение”) системы поддержки решений порождает (или уменьшает) производство энтропии (как формы информации), а изменение формы системы порождает новое движение. При этом требуется выполнение условий устойчивости по Ляпунову [ $dV/dt < 0$ ] и второго закона термодинамики  $\sigma > 0$ . Из приведенного соотношения также следует, что при определенных параметрах состояния системы, приводящих к его нарушению, неизбежна потеря устойчивости ее поведения.

Таким образом, термодинамический анализ информационно-изолированных систем указывает на необходимость наличия открытости их структуры и обмена информацией с внешней средой для обеспечения устойчивости функционирования. Отсутствие в структуре СПР процесса обмена информацией с внешней средой приводит к накоплению энтропии (деградации) в системе, нарушению условия устойчивости.

Системы поддержки решений с управляемым информационно-энтропийным обменом в простейшем случае описываются уравнением вида:

$$\dot{x} = \varphi(x_1, \dots, x_n, S); S = S_{\text{пр}} - S_{\text{обм}},$$

уравнением производства энтропии:

$$\dot{S}_{\text{пр}} = \psi(x, \dot{x}, S),$$

уравнением скорости энтропийного обмена с внешней средой:

$$S_{\text{обм}} = F(x, \dot{x}, S).$$

Для системы вышеприведенных уравнений функция  $V$  имеет вид:

$$V = 1/2 \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 + S^2 \right).$$

Здесь рассматривается общий случай поведения СПР с включением в ее внутреннюю структуру энтропии  $S$  как параметра, влияющего на форму изменения состояния системы, а  $S_{\text{пр}}$  — энтропия, произведенная изолированной системой,  $S_{\text{обм}}$  — энтропия информационного обмена СПР с внешней средой (извлечение информации и знаний из внешней среды). Для информационно-открытой системы условие связи производства энтропии, скорости обмена информацией с внешней средой и функции Ляпунова в термодинамическом смысле имеет вид следующего соотношения:

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^n \varphi_i x_i + (S_{\text{пр}} - S_{\text{обм}})(\psi - F).$$

Это соотношение описывает условие устойчивости процессов принятия решений на основе СПР с управляемым информационно-энтропийным обменом. С помощью этого соотношения можно осуществлять оценку устойчивости процессов функционирования интеллектуально-информационных систем поддержки принятия решений в информационно-открытых проблемных областях. Из соотношения непосредственно следуют пять принципов, определяющих уровень интеллектуальности СПР\* :

1. Наличие взаимодействия СПР с внешним окружением с использованием информационных каналов связи.

2. Принципиальная информационная открытость СПР с целью повышения их интеллектуальности и самосовершенствования поведения.

3. Наличие механизмов прогноза изменений внешнего окружения и собственного поведения в постоянно меняющихся условиях.

4. Наличие у СПР иерархической управляющей структуры, построенной по правилу: повышение интеллектуальности и снижение требований к точности решений по мере повышения ранга иерархии.

5. Сохраняемость функционирования СПР, возможно, с некоторой потерей эффективности, при разрыве отдельных взаимосвязей иерархической управляющей структуры.

Чем в большей степени в СПР реализованы эти принципы, тем система управления более устойчива, более совершенна и адаптивна к постоянно изменяющимся условиям.

Первый принцип подчеркивает непосредственную связь СПР с внешним окружением, получая из него необходимую для решения задач информацию. Сама СПР, при этом, оказывает на внешний мир активное воздействие. Извлекая из внешнего мира необходимые знания, СПР организует целенаправленное поведение свое и внешнего мира.

Принципиальная открытость СПР в соответствии со вторым принципом обеспечивается наличием в ее иерархической структуре таких компонентов, как самонастройка, самоорганизация и самообучение.

В соответствии с третьим принципом СПР без прогноза может быть не готова к неожиданностям внешнего мира, и, работая стереотипно, будет давать неблагоприятные решения. Такая система явно неустойчива.

Четвертый принцип позволяет распределить сложность компонентов СПР по уровням. И, наконец, пятый принцип "следит" за тем, чтобы со-

блюдалось основное свойство системы — единство взаимодействия ее компонентов (это не всегда на практике самоочевидно).

Рассмотрим некоторые примеры принятия решений по повышению устойчивости работы СПР. При этом, обратим внимание на то, что в вышеприведенном соотношении оценки устойчивости системы первый член выражения  $\sum_{i=1}^n \varphi_i x_i$  — определяет

ПОРЯДОК (П), а второй член  $(S_{\text{пр}} - S_{\text{обм}})(\psi - F)$  — БЕСПОРЯДОК (Б, хаос) в процессах принятия решений на базе СПР. Для обеспечения устойчивости функционирования СПР "сумма" порядка (П) и хаоса (Б) должна иметь, как показано выше, отрицательное значение.

Рассмотрим состояние системы при различных условиях.

Пусть  $B \cong 0$ ,  $P \neq 0$ . Поскольку порядок какой-то имеется, он не может быть отрицательным (он либо есть, либо его нет,  $x_i > 0$ ), то  $\varphi_i$  должно быть — для обеспечения устойчивости — отрицательным, т. е. порядок необходимо уменьшать — в противном случае устойчивость системы будет падать, управление на основе принятия решений деградировать.

Пусть  $P \cong 0$ ,  $B \neq 0$  (полный хаос). Тогда, если внутренний хаос больше внешнего ( $S_{\text{пр}} - S_{\text{обм}} > 0$ ), то для повышения устойчивости системы необходимо сделать скорость нарастания внутреннего хаоса меньше скорости нарастания хаоса, привносимого извне (например, ускорить "информационное приоткрытие" системы). Если же внутренний хаос меньше внешнего ( $S_{\text{пр}} - S_{\text{обм}} < 0$ ), то для повышения устойчивости системы необходимо сделать скорость нарастания внутреннего хаоса больше скорости нарастания хаоса, привносимого извне (например, замедлить "информационное приоткрытие" системы).

Еще один абстрактный пример — применительно к области государственного строительства. Пусть  $S_{\text{обм}} \cong 0$ ,  $F \cong 0$  (для государства это жесткий протекционизм, информационная закрытость границ — Северная Корея, ряд бывших соцстран). Тогда, при жестком директивном порядке ( $x_i > 0$ ,  $S_{\text{пр}} \cong 0$ ,  $\psi \cong 0$ ) система будет неустойчивой, а при  $\psi = 0$  займет некоторое экстремальное состояние. Для повышения устойчивости развития системы жесткий порядок в ней надо начать "смягчать" (делать  $\varphi_i < 0$ ), что с некоторым временным лагом приведет к росту внутренней хаотичности ( $S_{\text{пр}} > 0$ ,  $\psi > 0$ ), а это, в свою очередь, для компенсации внутренней неустойчивости системы потребует приоткрытия границ, чтобы сделать  $S_{\text{обм}} > 0$  и  $F > 0$ . Для наших примеров будет характерен следующий график\*\* :

\*Ulyanov S. V., Yamafuji K., Fukuda T., Aai F., Rizzotto G. G. and Pagni A. "Quantum and Thermodynamic Self-Organization for Artificial Life of Biological Nano-Robot with AI Control System (Report 1. Quantum Motion and Thermodynamic Stability)", REEE Forum on Micromachine and Micromechatronics, pp. 15-24, Nagoya, Japan, 1995. См. также сноску на работу Захарова В. Н., Ульянова С. В.

\*\*Идея построения этого графика была подсказана в выступлении академика Владимира Арнольда на семинаре "Аналитика в госучреждениях", проведенном в сентябре 1997 г. в Администрации Президента РФ, и опубликована им в журнале "Открытая политика" № 11(25) за ноябрь 1997 г. в статье "Математика и математическое образование в современном мире", стр. 66-69.