
**РАЗДЕЛ ВТОРОЙ.
ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ
СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**

**SECTION TWO.
THEORY OF GOVERNANCE**

О КОМПЬЮТЕРНОМ ИССЛЕДОВАНИИ АКТИВНЫХ СИСТЕМ

А.В. МЕДВЕДЕВ

Сибирский государственный аэрокосмический
университет им. академика М.Ф. Решетнева
(Красноярск). saor_medvedev@sibsau.ru

Рассматривается проблема моделирования организационных систем, содержащих как элемент человека или группу людей. Принципиальное отличие между техническими и активными системами заключается в наличии дополнительных контуров управления на некоторых выходах и входах системы, а также в наличии качественных (нечисловых) переменных. Предлагается метод исследования активных систем средствами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: активные системы, идентификация, априорная информация, измерение, К-модели, социальные системы.

Ограничиваясь одними рассуждениями, мы уподобились бы некоторым древним философам, пытавшимся добывать законы природы из собственной головы. При этом неизбежно возникает опасность, что построенный таким образом мир при всех своих достоинствах окажется весьма мало похожим на действительный...

Л.Д. Ландау

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия все большее внимание исследователей привлекают процессы организационного характера. К ним относятся процессы, протекающие с участием человека или коллективов людей,

в частности, объекты промышленности, коммерческие структуры, региональные образования и многие другие подобные процессы и соответствующие им системы. Для таких систем будем придерживаться названия *активные системы* [1], хотя в литературе встречаются и другие названия (целенаправленные системы, социальные системы, организационные, социально-экономические, человеко-машинные, социотехнические и т.д.). Их характерной особенностью являются неполнота и неопределенность априорных данных, множество разнообразных целей и др. При моделировании таких систем приходится формулировать те или иные задачи локального характера в различных, принципиально отличающихся, постановках, а их объединение в единую систему представляет серьезные трудности. Не случайно задача управления организацией, коллективами во многом остается в большей степени искусством, чем наукой. Различные уровни априорной информации, характеристики процессов, проблемы их моделирования более подробно были рассмотрены ранее [2, 3].

Существенным в рассматриваемых задачах является то, что «входные-выходные» переменные организационного процесса являются как вещественными, так и экспертными оценками, т.е. качественными переменными, нечисловую оценку (измерение) которых может дать только эксперт или группа экспертов. Оценка их может даваться в различных качественных шкалах [4]. В отличие от технических систем управления, в активных системах управления появляется необходимость введения контуров управления процессом реализации уже полученных управленческих решений. Последние также должны быть отнесены к классу активных процессов. Наконец, оценка выходных переменных процесса – отклик системы на соответствующие управляющие воздействия – осуществляется также активной системой, включающей в себя человека (группу экспертов). Безусловно, здесь важную роль будут играть психологические, эмоциональные и др. черты человека, а также опыт экспертов. Именно по этой причине управление организацией, регионом и др. часто относят скорее к искусству, чем к науке. Наиболее эффективным направлением создания систем управления активными процессами является рациональный синтез двух составляющих: искусства и науки на основе уже накопленного опыта. Особое значение приобретают исследования в области обучающихся систем [5, 6]. Действительно, к активным системам управления (а это, наиболее вероятно, интеллектуальные компьютерные системы) естественно предъявить требования обучаемости, т.е. повышения качества управления в процессе своего функционирования. Иными словами, обучающаяся активная система управления в процессе своего функционирования должна становиться все более «умной». А это связано не только с накоплением и анализом данных, что является само по

себе не очень простой задачей, но и с развитием теории обучающихся и самообучающихся систем.

АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

Рассмотрим схему локальной организационной системы, представленную рис. 1 и формулой (1), где A – неизвестный оператор объекта, $x(t)$, $q(t)$, $z(t)$ – выходные переменные процесса, $u(t)$ – управляющее воздействие, $\mu(t)$ – входная контролируемая, но не управляемая переменная процесса, $\omega(t)$ – переменная, характеризующая промежуточное состояние процесса, дающая дополнительную информацию о протекании процесса, $\theta(t)$ представляет собой воздействие внешней среды на объект. Повторим, что для активных систем часть переменных может иметь нечисловую природу, например, это могут быть какие-либо распоряжения, постановления, приказы, а также законодательные акты, которые с течением времени претерпевают те или иные изменения. Входная переменная $\lambda(t)$ не поддается контролю, $\xi(t)$ – векторное случайное воздействие, t – непрерывное время, H^u , H^v , H^x , H^y , H^z , H^q , H^z – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, устройства для измерения наблюдаемых переменных, μ_t , u_t , x_t ,

θ_t , q_t , z_t , ω_t – означает наблюдение $\mu(t)$, $u(t)$, $x(t)$, $\theta(t)$, $q(t)$, $z(t)$, $\omega(t)$ в дискретное время t . Контроль переменных (x , u , μ , θ , q , z) осуществляется

через некоторый интервал времени, т.е. x_i , u_i , μ_i , θ_i , q_i , z_i , ω_i , $i = \overline{1, s}$ – выборка измерений переменных процесса (x_1 , u_1 , μ_1 , θ_1 , q_1 , z_1 , ω_1), (x_2 , u_2 , μ_2 , θ_2 , q_2 , z_2 , ω_2), ..., (x_s , u_s , μ_s , θ_s , q_s , z_s , ω_s), ..., s – объем выборки, $h\mu(t)$, $h^x(t)$, $h^u(t)$, $h^\omega(t)$, $h^q(t)$, $h^z(t)$, со значком сверху – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса.

Отметим ещё одно существенное отличие выходных переменных $z(t)$, $q(t)$ и $x(t)$, представленных на рис. 1. Выходная переменная $x(t)$ контролируется через интервалы времени Δt , как и входные переменные, а $q(t)$ контролируются через существенно большие интервалы времени ΔT , $z(t)$ – через ($T \gg \Delta T \gg \Delta t$). (Ограничимся двумя градациями интервалов между отсчётами переменных, хотя их может быть и больше.) Стрелки, помещенные внутри объекта (рис. 1), символизируют наличие в объекте человека (коллектива людей).

Выходная переменная $x(t)$ определяется следующим образом:

$$x(t) = A(u(t-\tau), \mu(t-\tau), \omega(t-\tau), \lambda(t-\tau), \theta(t-\tau), \xi(t-\tau)). \quad (1)$$

Запаздывание τ , присущее процессу, и запаздывания (задержки) при измерении или оценке тех или иных переменных процесса, могут быть разными, но ради простоты будем обозначать их одним символом.

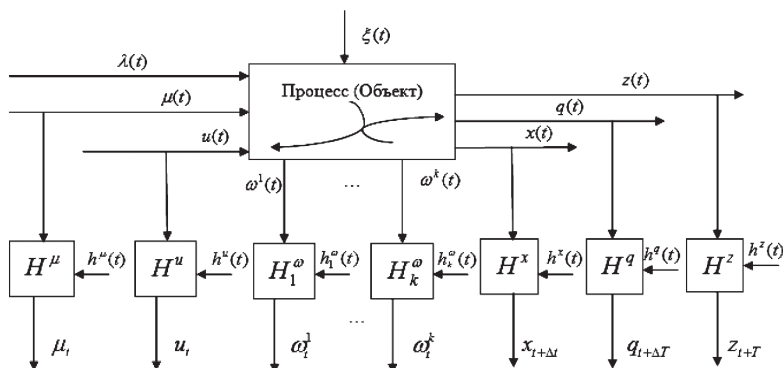


Рис. 1. Общая схема многомерного активного процесса

Неизвестный оператор системы A отображается его моделью, тогда модель исследуемого процесса $x(t)$ может быть представлена как:

$$\hat{x}(t) = \hat{A}_x(u(t-\tau), \mu(t-\tau), \omega(t-\tau), \theta(t-\tau), t). \quad (2)$$

При прогнозировании и целесообразно использовать следующие модели:

$$\hat{q}(t) = \hat{A}_q(u(t-\tau), \mu(t-\tau), \omega(t-\tau), \theta(t-\tau), \hat{x}(t), t), \quad (3)$$

$$\hat{z}(t) = \hat{A}_z(u(t-\tau), \mu(t-\tau), \omega(t-\tau), \theta(t-\tau), \hat{x}(t), \hat{q}(t), t), \quad (4)$$

где τ – запаздывания, различные по соответствующим каналам связи (из соображений простоты мы используем одно и то же обозначение), знак « $\wedge$ » означает модель соответствующего процесса. Ещё раз подчеркнём, что при исследовании реальных социально-экономических процессов некоторые переменные могут быть и качественные.

В дальнейшем все входные переменные, поддающиеся контролю, объединим в один *совокупный вектор* $v(t)$, а выходные – в совокупный вектор $y(t)$; векторы промежуточных переменных обозначим, как и ранее, $\omega(t)$. Тогда схема, представленная на рис. 1, примет вид (БИ – блок измерения переменных):

Поясним содержание термина «совокупный вектор» – это вектор, составленный из некоторых компонент соответствующих векторов. Например, компоненты вектора входных переменных (рис. 2) $v(t)$ могут быть такими: $v_t^1 = (u_t^1, \mu_t^3, \theta_t^1, u_t^2)$, $v_t^2 = (u_t^2, u_t^4, \theta_t^3, \mu_t^1, \mu_t^3)$, т.п. Соответственно, компоненты векторов $\omega(t)$ и $y(t)$ могут быть составлены так: $\omega_t^1 = (\omega_{1t}, \omega_{3t}, \omega_{4t})$, $\omega_t^2 = (\omega_{2t}, \omega_{3t})$; $y_t^1 = (x_t^1, x_t^2, z_t^2, q_t^1)$, $y_t^2 = (x_t^3, z_t^2, q_t^1, q_t^2, x_t^4)$, т.п. Состав компонент составных векторов находится в прямой зависимости от конкретного исследуемого процесса, наличия априорной информации о нем, его характеристик, свойств и т.д.

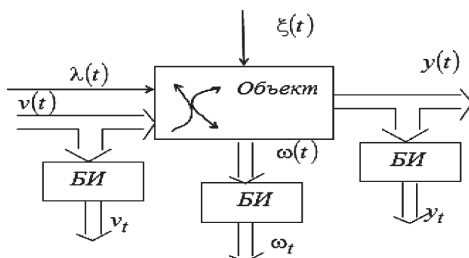


Рис. 2. Схема активной системы

Принципиальным отличием моделирования организационных систем от других является наличие обратных связей, контуров управления и т.п., «встроенных» в исследуемый процесс извне. Это меняет коренным образом взгляд на проблему идентификации, которая усугубляется еще и тем, что необходимо изучать проблему идентификации в «широком» смысле, то есть в условиях меньшей априорной информации, чем при параметрической идентификации. В условиях *непараметрической* неопределенности [2] возможно использование статистик $y_s(t) = S(v(t), \omega(t), \bar{y}_s, \bar{v}_s, \bar{\omega}_s)$, где S – непараметрическая статистика [3, 7, 8], $\bar{y}_s = (y_1, \dots, y_s)$, $\bar{v}_s = (v_1, \dots, v_s)$, $\bar{\omega}_s = (\omega_1, \dots, \omega_s)$ – временные векторы, S – объем выборки наблюдений «входных-выходных» переменных объекта.

В качестве непараметрических моделей некоторых фрагментов активных систем, *содержащих только числовые переменные*, могут быть приняты следующие статистики:

$$y_s(v(t), \omega(t)) = \frac{\sum_{i=1}^S y_i W(\eta_s(v(t) - v_i)) W(\eta_s(\omega(t) - \omega_i))}{\sum_{i=1}^S W(\eta_s(v(t) - v_i)) W(\eta_s(\omega(t) - \omega_i))} \quad (5)$$

где $W(\cdot)$ – функции, аналогичные колоколообразным (ядерным) функциям из [7, 8], весовые коэффициенты η_s – коэффициенты, обратные параметрам размытости, входящим в непараметрические оценки и алгоритмы [2, 7, 8], с той лишь разницей, что $\eta_s \rightarrow \infty$, а играет роль весовых коэффициентов при соответствующих компонентах векторов $v(t)$ и $\omega(t)$, поэтому в дальнейшем индекс S при η мы будем опускать.

Оценка из класса (5) в многомерном случае примет вид

$$y_s(v(t), \omega(t)) = \frac{\sum_{i=1}^S y_i \prod_{j=1}^n W(\eta_t^j(v^j(t) - v_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_t^j(\omega^j(t) - \omega_i^j))}{\sum_{i=1}^S \prod_{j=1}^n W(\eta_t^j(v^j(t) - v_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_t^j(\omega^j(t) - \omega_i^j))} \quad (6)$$

либо

$$y_s(v(t), \omega(t)) = \sum_{i=1}^s \alpha_i(v(t), \omega(t)) y_i, \tag{7}$$

где
$$\alpha_i(v(t), \omega(t)) = \frac{\prod_{j=1}^n W(\eta_i^j(v^j(t) - v_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_i^j(\omega^j(t) - \omega_i^j))}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n W(\eta_i^j(v^j(t) - v_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_i^j(\omega^j(t) - \omega_i^j))}, \tag{8}$$

а $\sum_{i=1}^s \alpha_i(v(t), \omega(t)) = 1$ для любого t , коэффициенты η_i являются весовыми

коэффициентами, n – число компонент составного вектора $v(t)$.

Более общая схема активной системы показана на рис. 3.

Специального рассмотрения требует проблема включения в модель системы тех её фрагментов, которые характеризуются наличием нечисловых переменных. Сами такие переменные фиксируются в номинальной или порядковой шкалах и не допускают арифметических операций над ними при их обработке. Распространённая практика «оцифровывания» качественных данных и последующее обращение с цифровыми символами как с числами чреваты получением результатов, не несущих того содержания и того качества, которые хотелось бы получить. Для оценивания соотношений, зависимостей между разношкальными переменными требуются специальные приёмы [17].

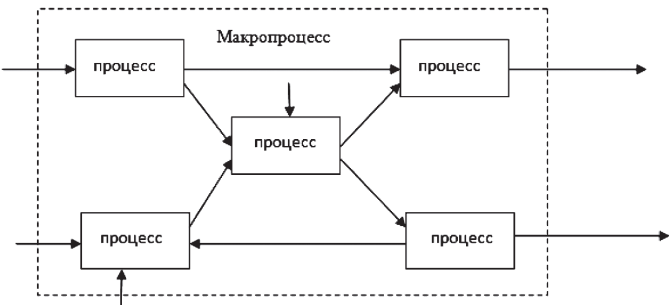


Рис. 3. Фрагмент организационного процесса

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ

Сначала приведем укрупненную схему управления техническим объектом, в достаточной степени приближенную к реальности.

Здесь введены обозначения: УУ – управляющее устройство; ИМ – исполнительный механизм; БК – блок контроля; БВЗ – блок выдачи зада-

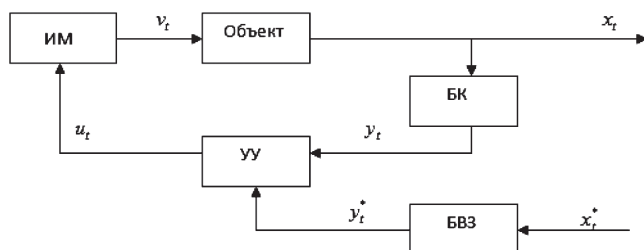


Рис. 4. Упрощенная схема управления техническим объектом

ния; u_t – полученное (расчетное) управляющее воздействие; v_t – управляющее воздействие, поданное ИМ на объект; x_t – выходная переменная объекта; y_t – измеренное значение x_t ; x_t^* – заданное значение выхода объекта; y_t^* – задание, поданное на УУ. Схема системы управления, приведенная на рис. 4, хотя и является упрощенной, но в ней присутствуют все важнейшие элементы, в частности, исполнительный механизм, блок контроля выходной переменной процесса, блок выдачи задающего воздействия. Следует иметь в виду, что все эти приборы, механизмы и т.п. выполняют предписанные им действия с той или иной случайной погрешностью, неточностью. Конечно же, при разработке средств автоматизации, управления теми или иными процессами стремятся использовать все новейшие достижения науки, техники, технологии и др. и достигают успеха в самых различных областях практики и производства, в частности, к ним можно отнести разнообразные электромеханические машины, механизмы, турбины, реакторы, летательные аппараты, плавильные печи и многое другое.

При исследовании организационных систем, разработки для них средств моделирования и управления все обстоит совсем иначе. Главным отличием систем управления активными процессами от вышеназванных является то, что все или большая часть блоков, входящих в нее, также являются активными системами (рис. 5).

Введем следующие обозначения: О – объект управления; БПРУ – блок процесса реализации управления; УУ – управляющее устройство; УПР – управление процессом реализации выработанного УУ управляющего воздействия, БКО – блок контроля и оценки компонент вектора выходных переменных управляемого процесса; УС БКО – управляющая система БКО; КУУ – корректирующее управляющее устройство блоком УУ; БФЗВ – блок формирования задающих воздействий; ВС – внешняя среда. Еще раз заметим, что все блоки, входящие в систему управления активным объектом (процессом), сами являются активными. Это прин-

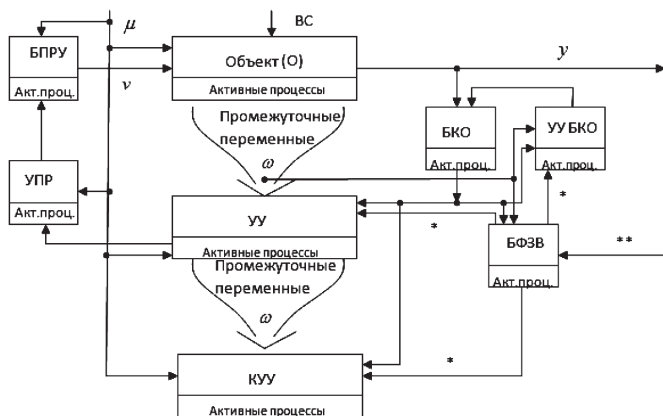


Рис. 5. Общая схема системы управления активным процессом

ципиальное отличие систем управления активными системами от систем управления техническими, технологическими, производственными и многими другими процессами, хотя и последние не исключают участия человека в процессе функционирования соответствующих блоков системы управления.

Приведенная выше схема управления активным объектам, конечно же, носит довольно общий характер. При разработке системы управления конкретным активным объектом необходимо соответствующее наполнение содержанием всех блоков системы. Важнейшим этапом на этом пути будет комплексное использование всей априорной информации, обучающих выборок и т.п. Тем не менее вопрос формирования обучающих выборок является настолько важным, что требует специального рассмотрения. Ниже проанализируем два важнейших аспекта этой проблемы.

Первая проблема состоит в том, что при создании той или иной обучающейся системы требуется обучающая выборка всех измеряемых с шумами переменных, характеризующих исследуемый процесс. Следуя приведенным выше обозначениям, принятым на рис. 2, она может быть

представлена в виде $\{\vec{v}_s, \vec{\omega}_s, \vec{y}_s\}$, где стрелка обозначает временной вектор. При этом по конкретным каналам связи и управления из компонент векторов v, ω, y формируют соответствующие составные векторы. Реальная ситуация складывается так, что объем выборок катастрофически мал по сравнению с размерностью соответствующих векторов, что превращает многие задачи практики в нерешаемые с точки зрения теории управления и математической статистики.

Уже давно эта проблема привлекает внимание исследователей и получила название проблемы «малых выборок». Положение усугубляется еще

и тем, что мы не можем, по ряду причин, изменить ситуацию. Увеличение объема выборки за счет увеличения времени наблюдения во многих случаях недопустимо из-за изменившегося характера протекания активного процесса, неполноты априорной информации, влияния внешней среды и т.п. Более того, оно (увеличение объема выборки) может быть вредно, из-за изменившихся условий функционирования процесса по сравнению с предыдущими, которые, вполне возможно, уже и не повторятся. Таким образом, мы приходим к заключению, что основополагающие понятия теории вероятности и математической статистики, такие как генеральная совокупность, представительность выборки, функции распределения, асимптотическая сходимость, в том или ином смысле, не применимы для исследования многих организационных процессов, а также для построения обучающихся систем управления активными системами. Эти вопросы уже давно привлекают внимание исследователей, в частности, некоторый их анализ приведен в [9]. Тем не менее строить обучающие модели, системы управления активными процессами необходимо, поскольку этого требует практика. Проанализируем одно из направлений исследования на этом пути. Рассмотрим фрагмент следующей активной системы на рис. 6.

Система, показанная на рис. 6, представляет собой достаточно общий фрагмент активной системы, который можно превратить в конкретный (отметим, что это очень объемная и непростая работа) на основе тщательного системного анализа реального процесса из той или иной предметной области деятельности человека. Она необходима для дальнейшей иллюстрации метода исследования подобных систем и происходящих в них процессов. На рис. 6 $A_i, i=1, \dots, 8$ обозначают объекты, «включенные» в си-

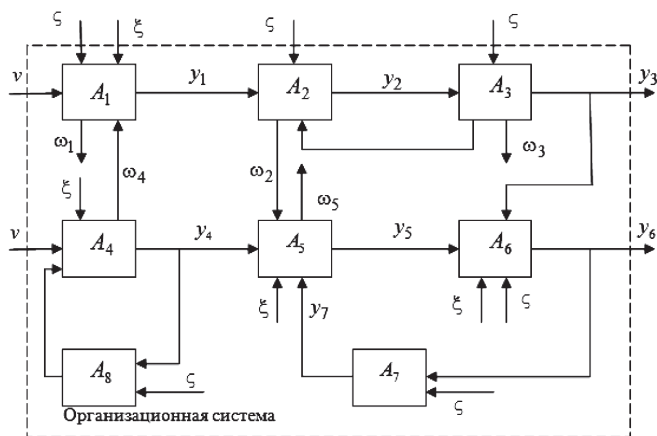


Рис. 6. Фрагмент активной системы

стему. Они же операторы, преобразующие входные переменные, действующие на объект, в выходные. К входным переменным относятся v, ζ, ξ, ω , а также выходные переменные предшествующих объектов, например, выходная переменная $A_1 - y_1$ является входной по отношению к A_2 ; ω – промежуточные контролируемые переменные, дающие дополнительную информацию о протекании процесса в соответствующих объектах; ζ – известные возмущения, действующие на объект, а ξ – случайные помехи, не поддающиеся измерению. Учитывая, что все объекты многоканальные, то все векторные переменные, показанные на рис. 6, – составные.

Процесс исследования конкретной, реальной системы на примере фрагмента, показанного на рис. 6, может быть выстроен следующим образом:

I. На основании имеющейся априорной информации, обучающих выборок и их предварительного анализа, системного изучения отдельных блоков и их взаимосвязей формируются операторы $A_i, i = \overline{1,8}$ и соответствующие им составные векторы входных, выходных и промежуточных переменных.

II. На втором этапе осуществляется оценка операторов $A_i, i = \overline{1,8}$ или (и) их параметров с использованием имеющихся обучающих выборок.

Таким образом, получаем оценки $\hat{A}_i, i = \overline{1,8}$ и дополняем их процедурами адаптивной настройки этих операторов по поступающей текущей информации (результатам измерения всех переменных, фигурирующих в исследуемой системе) или их параметров.

III. Третий этап представляет собой собственно компьютерное исследование. При этом задаются значения $v \in \Omega(v), \zeta \in \Omega(\zeta)$, вводятся случайные возмущения из $\xi \in \Omega(\xi)$, а также значения $\omega \in \Omega(\omega)$, затем вычисляются отклики отдельных объектов и всей системы в целом $y \in \Omega(y)$ v, ζ, ξ, ω . Располагая всевозможными значениями входных переменных и откликом на них значений выходных переменных, можно перейти к следующему этапу – ретроспективному анализу функционирования всей системы.

IV. Этап ретроспективного анализа в оценке работы всей системы – соответствия функционирования системы «человеческим» представлениям о том, как должна функционировать система при соответствующих значениях входных переменных. Здесь решающую роль будут играть обучающие выборки, аккумулирующие в себе опыт, знание прошлого, поведение подобных систем при аналогичных действиях ранее. При анализе важнейшая роль будет принадлежать обратной связи. Более конкретно – если поведение системы соответствует нашим представлениям

о реальности, то ее можно использовать для формирования следующих решений (управляющих воздействий при соответствующих конкретных условиях), если же нет, то необходимо перейти к анализу I этапа. В этом случае ясно, что, если допущены серьезные ошибки уже на первом этапе формулировки задачи, определении некоторых переменных, параметров, характера связи переменных процесса (здесь речь идет о переменных, параметрах, не подлежащих оцениванию на II этапе, а заданных исследователем исходя из человеческих, эмоциональных, психологических, социальных и других соображений), необходимо скорректировать значения параметров, входящих в модель, весовых коэффициентов, входящих в обучающиеся модели и алгоритмы принятия решений. Затем возвращаемся к этапу III и т.д.

Заметим, что описанный алгоритм является конкретизацией *метода проб и ошибок*, характерного для управления *сложными системами* [16].

ОБУЧАЮЩИЕСЯ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Необходимость построения адаптивных моделей и алгоритмов принятия решений возникает после постановки задачи идентификации с использованием всей имеющейся априорной информации об исследуемом процессе, формировании соответствующих составных векторов и анализе имеющихся обучающих выборок. Без нарушения общности будем считать, что обучающие выборки сформированы в виде $\vec{v}_s, \vec{\zeta}_s, \vec{y}_s, \vec{\omega}_s$, S – объем выборки. Обучающиеся модели конструируются по аналогии с непараметрическими, но механизм их работы несколько отличен от последних и базируется на широко используемой в математике идее усреднения. Так, объективно существующая, неизвестная зависимость

$y = f(\zeta, v, \omega)$ может быть представлена в виде

$$y_s(v, \zeta, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^S y_i \prod_{j=1}^n W(\eta_j^v(v^j - v_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\lambda(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}{\sum_{i=1}^S \prod_{j=1}^n W(\eta_j^v(v^j - v_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\lambda(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^k W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}, \quad (9)$$

где W – колоколообразные функции, η – весовые коэффициенты соответствующие компонентам составных векторов $\{v, v, \zeta, \omega\}$, m – размерность вектора входа ζ . Заметим, что коэффициенты η уже не удовлетворяют асимптотическим условиям, аналогичным параметрам размытости в непараметрических алгоритмах адаптации [2] и S уже не стремится к бес-

конечности, т.е. $s \rightarrow \infty$. Отметим также, что некоторые элементы обучающих выборок формируются не в результате натурных наблюдений на исследуемом объекте, а группой экспертов, обладающих опытом работы с объектами, аналогичными исследуемым. Эти и другие вопросы, возникающие при исследовании активных систем, а также разработка систем моделирования и управления подобных систем требуют тщательного анализа в каждом конкретном случае.

Ограниченность и трудности формирования обучающих выборок (высокая размерность задач и малый объем выборки s) приводят к необходимости несколько видоизменить оценку (9), например,

$$\hat{y}_s = \frac{\sum_{i=1}^s \varphi_i(v, \zeta, \omega) \prod_{j=1}^k W(\eta_j^v(v^j - v_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\lambda(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^n W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k W(\eta_j^v(v^j - v_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\lambda(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^n W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}, \quad (10)$$

где $\varphi_i(v, \zeta, \omega)$, $i = \overline{1, s}$ – гиперплоскости от аргументов $\{v, \zeta, \omega\}$, оцененные по исходной выборке $\vec{v}_s, \vec{\zeta}_s, \vec{\omega}_s$ тем или иным способом, например, методом стохастических аппроксимаций или методом наименьших квадратов. Замена $y_i, i = \overline{1, s}$ в (9) на гиперплоскость $\varphi_i(v, \zeta, \omega), i = \overline{1, s}$ в окрестности точки $\{v_i, \zeta_i, \omega_i, i = \overline{1, s}\}$ позволяет несколько повысить качество аппроксимации $y = f(v, \zeta, \omega)$ и избежать неопределенности в (10) [10].

Если процесс протекает не в гиперкубе, содержащемся в пространстве «входных-выходных» переменных, а имеет «трубчатую» форму [3], то при его параметрическом моделировании необходимо введение соответствующего индикатора. Если какой-либо фрагмент активного процесса описывается в виде параметрической модели

$$y_\beta(v^{<\beta>}, \zeta^{<\beta>}, \omega^{<\beta>}) = f^\beta(v^{<\beta>}, \zeta^{<\beta>}, \omega^{<\beta>}, \beta), \quad (11)$$

где β – вектор параметров; $f^\beta(\cdot)$ – параметрическая модель, описывающая тот или иной блок или его отдельный канал; $(v^{<\beta>}, \zeta^{<\beta>}, \omega^{<\beta>})$ – составные векторы входных переменных исследуемого блока, то она должна быть дополнена следующим индикатором:

$$I_s = \text{sgn} \sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k W(\eta_j^v(v^j - v_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\lambda(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^n W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j)). \quad (12)$$

В этом случае модель имеет вид [3]

$$y_\beta(v^{<\beta>}, \zeta^{<\beta>}, \omega^{<\beta>}) = f^\beta(v^{<\beta>}, \zeta^{<\beta>}, \omega^{<\beta>}, \beta) I_s. \quad (13)$$

Обращение индикатора I_s в ноль в (13) означает, что значения (v, ζ, ω) не принадлежат области значения переменных, определяющих «трубчатую» структуру. Иными словами, ясно, что $(v, \zeta, \omega) \in \Omega(v, \zeta, \omega)$, $\Omega(v, \zeta, \omega)$ всегда известна. Область «трубки» обозначим $\Omega^H(v, \zeta, \omega) \subset \Omega(v, \zeta, \omega)$. Отсюда ясно, что далеко не всякая точка $(v, \zeta, \omega) \in \Omega(v, \zeta, \omega)$ также принадлежит $\Omega^H(v, \zeta, \omega)$. Поскольку значения (v, ζ, ω) в некоторых случаях задает сам исследователь, то при анализе активных процессов это обстоятельство должно быть предметом специального рассмотрения. Следует напомнить, что $\Omega^H(v, \zeta, \omega)$ исследователю, чаще всего, не известна.

Обучающийся алгоритм принятия решений может иметь вид

$$v_s^p(y^*, \zeta, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^s v_i^p \prod_{j=1}^k W(\eta_j^v(y^{*j} - y_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\zeta(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^n W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k W(\eta_j^v(y^{*j} - y_i^j)) \prod_{j=1}^m W(\eta_j^\zeta(\zeta^j - \zeta_i^j)) \prod_{j=1}^n W(\eta_j^\omega(\omega^j - \omega_i^j))}, \quad (14)$$

где p – индекс p -й компоненты вектора управляющих воздействий, а y^* – заданные значения выходной переменной.

Ясно, что в различных «разрезах» исследуемого активного процесса значения управляющего воздействия $v_s^p(y^*, \zeta, \omega)$ будут наполнены различным содержанием.

Приведенные выше обучающие алгоритмы носят достаточно общий характер. Их конкретизация может быть осуществлена только при исследовании конкретного активного процесса из той или иной предметной области.

ОБЩАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Как мы отмечали ранее, при исследовании конкретного активного процесса необходимо детальное «погружение» в интересующую нас проблему. Обратимся к организационной системе, представленной на рис. 6, и рассмотрим отдельный ее элемент, например,

$$y_5 = A_5^y(y_4, y_7, \omega_2, \xi, \beta), \quad \omega_5 = A_5^\omega(y_4, y_7, \omega_2, \xi, \tilde{n}), \quad (15)$$

где A_5^y и A_5^ω – операторы, описывающие частный процесс, β, c – векторы коэффициентов, входящих в модели. Это могут быть уравнения алгебраические или разностные с запаздыванием, а также системы уравнений.

Некоторые компоненты векторов β и c могут быть оценены на основании наблюдений, измерений соответствующих переменных. Другие же могут определяться только экспертами, причем содержание этих компонент вектора коэффициентов будет отражать субъективные, психологические, моральные и другие аспекты человека или коллектива, входящего в организационную систему

Из моделей типа (15) для каждого объекта исследуемой организационной системы может быть построена макро модель всего активного процесса, представленного на рис. 6. Теперь важнейшим этапом является определение значений входных переменных (y, v, ζ, ξ), соответствующих текущей ситуации, в которой находится активная система. Таким образом, здесь ощущается дуализм при исследовании системы, который состоит в том, что опыт и знание прошлого, «вложенные» в модели типа (15), а конкретная текущая ситуация является основанием для принятия решений с учетом имеющегося опыта. Если в этом эксперименте мы получаем ожидаемый (желаемый) отклик всей системы, то наши действия, выраженные в значениях (y, v, ζ, ξ), правомерны. Если же отклик системы значительно отличается от ожидаемого (желаемого), то должны быть пересмотрены как значения входных переменных, так и значения внутри-объектных переменных и параметров компонент векторов β, c , определяемых экспертами. (см. алгоритм управления сложными системами).

Безусловно, можно утверждать, что возникшие новые для человека активные процессы требуют самого тщательного изучения их аналогов в прошлом, в противном случае какие-либо резкие изменения выходных воздействий, в том числе имеющих характер управляющих воздействий, крайне не желательны, ибо могут привести к отрицательным последствиям. Уместно напомнить замечательную фразу Демокрита: «Даже незначительное отступление от истины в дальнейшем ведет к бесконечным ошибкам».

КОНТРОЛЬ ПЕРЕМЕННЫХ, ИЗМЕРЕНИЯ, ОЦЕНКА

Здесь мы подчеркнем важность проблемы измерения «входных-выходных» переменных исследуемого объекта, процесса. Безусловно, при моделировании и управлении дискретно-непрерывными процессами целесообразно использовать все поддающиеся измерению переменные, но это требует тщательного анализа не только самого конкретного объекта, но и средств и технологии контроля всех доступных переменных, а также априорной информации, которая одновременно по различным каналам измерения переменных многомерной системы объекта может соответствовать различным уровням. Вся это сумма вопросов часто обходится при исследовании проблемы моделирования с теоретической

точки зрения. При решении же прикладных задач, построении моделей конкретных процессов это просто невозможно, ибо «истина ничуть не страдает от того, если кто-либо её не признает» (И.Ф. Шиллер). Представляется уместным еще раз акцентировать внимание исследователя на формулировку проблемы идентификации реального процесса на самой начальной стадии.

Принципиальное отличие организационных систем от технических состоит в существенно отличающихся средствах контроля и измерения соответствующих переменных. И главное здесь обусловлено тем, что элементом средств измерения некоторых «входных-выходных» переменных, характеризующих состояние процесса, является человек, эксперт, группа экспертов.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Ранее [3] мы уже обращали внимание на необходимость использования всей имеющейся информации о процессе и построения К-моделей, базирующихся на триаде: *фундаментальные* законы, априорная информация о *параметрической* структуре отдельных связей (каналов) процесса и имеющихся сведениях *качественного* характера.

Но компьютерная система управления с ЛПР организационными процессами требует также иметь в своём составе систему управления процессами реализации принятых управленческих решений. Это существенно отличает процесс управления активными системами от технических систем.

Из вышесказанного следует, что система управления организационными процессами является принципиально иерархической, многоконтурной системой, включающей в себя человека как необходимый и важнейший элемент. Переход на новый режим подобного процесса, его перестройка являются существенно нелинейной задачей, сложной и с точки зрения теории, и с точки зрения практики. «Трудность проблемы перестройки связана с ее нелинейностью. Привычные методы управления, при которых результаты пропорциональны усилиям, тут не действуют, и нужно выработать специфическую нелинейную интуицию, основанную порой на парадоксальных выводах нелинейной теории» [11].

О необходимости учитывать реальность не раз говорил Я.З. Цыпкин [12], в частности: «Аналитические методы на первый взгляд кажутся наиболее привлекательными, так как они приводят к явному формульному решению задач, но эта привлекательность достигается весьма дорогой ценой, ценой резкого ограничения возможностей. Эти методы пригодны для решения относительно простых задач, которые часто могут быть

сформулированы лишь благодаря далеко идущей идеализации, иногда настолько далекой, что фактически вместо поставленной задачи решает-ся совсем иная». И далее: «...теория оптимальности строилась на элеган-тном с математической точки зрения и очень шатком с точки зрения практических задач основании».

Еще в середине прошлого столетия по поводу применения мате-матики в экономике Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн [13] писали: «Прежде всего, отдадим себе отчет в том, что в настоящее время в эконо-мической теории не существует универсальной системы и, что если она и будет создана, то едва ли это произойдет в ближайшее время. Причина этого кроется в том, что экономика является слишком слож-ной наукой...». И далее: «Часто аргументация против применения ма-тематики состоит из ссылок на субъективные элементы, психологиче-ские факторы и т.п. ...». «Важно осознать, что экономисты не могут надеяться на более легкую судьбу, чем та, которая постигла ученых других специальностей».

Необходимо со всей серьезностью отнестись и к следующему: «Важ-ность социальных явлений, обилие и многообразие их проявлений, а также сложность их структуры, по меньшей мере, такие же, как и в физике. Поэтому следует ожидать (или опасаться), что для достижения в этой области решающих успехов потребуются математические от-крытия, сопоставимые с открытием инфинитезимальных исчислений. Тем более маловероятно, что простое повторение тех математических приемов, которые нам помогали в физике, поможет нам и в экономи-ке. Вероятность этого покажется еще меньше, когда мы увидим, что в наших рассуждениях появляются математические задачи, совершенно отличные от задач, встречающихся в физике.

Эти соображения следует иметь в виду в связи с имеющим место в наши дни злоупотреблением в использовании дифференциального и интегрального исчислений, дифференциальных уравнений и т.д. как основного метода в математической экономике».

И далее: «Несомненно, представляется разумным вскрыть, что именно привело к прогрессу в других науках, и исследовать, почему применение этих принципов не может привести к прогрессу в эконо-мике. Если же действительно возникает необходимость приложения к экономике каких-то иных принципов, то это может обнаружиться толь-ко в процессе фактического развития экономической теории. Это само по себе будет переворотом в науке».

Прошло более полувека, но математики для экономической науки, а также для моделирования и управления организационными процес-сами не появилось, хотя некоторые продвижения в этом направлении

есть: основы теории активных систем, теория размытых множеств, теория принятия решений, системный анализ и теория систем и др.

ЭПИЛОГ

Общий итог настоящей работы состоит в сравнительно обобщенном анализе проблемы моделирования и управления организационными процессами. На этом пути рассматривались следующие вопросы:

- модели и алгоритмы принятия решений для организационных систем из класса непараметрических алгоритмов адаптации;
- в системе управления активными процессами ее элементы также являются активными блоками, что принципиально отличает последнюю от систем управления техническими системами;
- приведен возможный вариант структуры системы активного управления и его отличительные черты от системы управления техническим объектом;
- определены этапы конструирования и компьютерных исследований системы активного управления;
- даны обучающиеся модели активных процессов. Отмечено, что, несмотря на внешнюю схожесть с непараметрическими алгоритмами адаптации, механизм их работы существенно отличается от последних.

И еще одно важное обстоятельство. Конечно же, использование только математического подхода совершенно недостаточно для моделирования и управления активными процессами, тем более что многие его составляющие (блоки) просто не поддаются математической формализации. Уверенность Н. Винера в том, что «модели управления в обществе и экономике могут изучаться теми же методами, что и в технических управляющих устройствах», может быть справедливой только для отдельных фрагментов, блоков, каналов, являющихся составляющими частями активного процесса. Выше приведены мысли Дж. фон Неймана и О. Morgenштерна по этому поводу. Трудно не согласиться с профессором Ф.П. Тарасенко, что «мир, в котором нам предстоит существовать всю жизнь, оказался невообразимо огромным и сложным. Выживать, расти и развиваться в нем можно лишь в согласии с ним, не противореча его природным особенностям и ограничениям, которые мы отображаем понятием «законов природы». Реализуемыми являются только те наши цели, планы и действия, которые не противоречат этим законам. Отсюда необходимость узнать, как «устроена» природа и что в ней происходит» [16]. В этом случае наиболее целесообразным представляется при изучении этого «мира» использовать синтез существующей математической технологии, компьютерных и информационных технологий и дальнейшего развития того, что Н.Н. Моисеев называл машинной математикой,

объединяющих умение работать с вещественными, лингвистическими, качественными и другими переменными, в различных шкалах [4, 17].

И, наконец, последнее. Конечно же, было бы заманчиво «поставить», говоря языком теории управления, на входе управляемой системы обратный оператор. Ясно, что в данном случае можно говорить лишь о некотором его приближении. Тем не менее эта мысль не кажется такой уж безнадежной. Более того, в такой конструкции (обратный оператор – объект /оператор/) можно усмотреть некоторую аналогию с понятием *симметрии*. Великий математик прошлого столетия Г. Вейль, когда уже на склоне лет выступал с лекциями о симметрии [18], назвал их своей «лебединой песней»: «Я хочу выразить горячую благодарность Издательству Принстонского университета и его сотрудникам за то всестороннее внимание, которое они проявили в отношении этой небольшой книги. Не менее искреннюю благодарность я приношу руководству Принстонского университета, которое предоставило мне возможность прочесть эти лекции – мою лебединую песнь – накануне ухода из Института высших исследований». В самом начале своего выступления он высказывает следующую мысль: «Если я не ошибаюсь, в нашем повседневном языке слово *симметрия* употребляется в двух значениях. В одном смысле *симметричное* означает нечто, обладающее хорошим соотношением пропорций, уравновешенное, а *симметрия* означает тот вид согласованности отдельных частей, который объединяет их в единое целое. *Красота* тесно связана с симметрией». И далее: «Симметрия – в широком или узком смысле в зависимости от того, как вы определите значение этого понятия, – является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство... Сначала мы несколько более подробно рассмотрим зеркальную симметрию и ее роль в искусстве, в живой и неживой природе».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977.
2. Медведев А.В. Непараметрические системы адаптации. – Новосибирск: Наука, 1983.
3. Medvedev A.V. Nonparametric approximation in adaptive systems theory // Works of Applied Methods of Statistical Analysis. Simulation and Statistical Inference, Novosibirsk: STU, 2011.
4. Загоруйко Н.Г. Когнитивный анализ данных. – Новосибирск: Гео, 2013. – 186 с.
5. Фельдбаум А.А. Принципы обучения людей и автоматов // Кибернетика, мышление, жизнь. – М.: Мысль, 1964.

6. *Нейман Дж.* Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971.
7. *Надарая Э.А.* Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии. – Тбилиси: Изд-во Тбил. ун-та, 1983.
8. *Кошкин Г.М., Пивен И.Г.* Непараметрическая идентификация стохастических объектов. – Хабаровск: Российская академия наук, Дальневосточное отделение, 2009. 336 с.
9. *Методы классической и современной теории автоматического управления. Т 5: Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова.* – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 684 с.
10. *Катковник В.Я.* Непараметрическая идентификация и сглаживание данных. – М.: Наука, 1985. – 336 с.
11. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. – М.: Наука, 1990.
12. *Цыпкин Я.З.* Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
13. *Нейман Дж., Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970.
14. *Дискуссия об образовании // Вестник СибГАУ.* – Красноярск, 2010. – Вып. 5.
15. *Тарасенко Ф.П.* О роли ошибок в управленческой деятельности // Проблемы управления в социальных системах. – 2011. – Т 2, вып. 4. – С. 30–48.
16. *Тарасенко Ф.П.* Моделирование и феномен человека. Часть I: Моделирование – инфраструктура взаимодействия человека с реальностью. – М.: Научные технологии, 2012. – 136 с.
17. *Серых А.П.* Вопросы сравнения разнотипных векторов в задачах управления социальными системами // Проблемы управления в социальных системах. – 2010. – Т 2, вып. 3. – С. 93–103.
18. *Вейль Г.* Симметрия. – М.: Наука, 1968. – 191 с.