

СЦЕНАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Кульба В. В.¹, Кононов Д. А.², Чернов И. В.³,
Рощин П. Е.⁴, Шулигина О. А.⁵**

*(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)*

Описаны основные компоненты методологии сценарного исследования: сценарная система, система сценарного анализа, система сценарного синтеза, основы сценарного исчисления. Рассмотрены вербальные и формальные определения сценария и указаны этапы его формирования. В качестве приложений рассмотрено применение методологии сценарного исследования сложных систем для анализа эффективности методов группового управления социально-экономической системой Амурской области РФ.

Ключевые слова: сценарное исследование, сложная система, групповое управление, региональная система управления, Амурская область Российской Федерации.

¹ Владимир Васильевич Кульба, засл. деят. науки РФ, д.т.н., проф. (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-90-09, kulba@ipu.ru).

² Дмитрий Алексеевич Кононов, к.т.н., доцент (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-89-59, dakref@uimail.ru).

³ Игорь Викторович Чернов, к.т.н. (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-89-59, ichernov@gmail.com).

⁴ Павел Евгеньевич Рощин, аспирант, (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-89-59, pavel.roshchin@gmail.com).

⁵ Ольга Александровна Шулигина, аспирант (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-89-59, shuliginaoa@mail.ru).

1. Введение

Поиск оптимальных механизмов управления сложными системами (СС) представляет собой достаточно сложную и, в то же время, важную задачу. При разработке конкретных планов действий для программно-целевого управления необходимо проведение широкомасштабных исследований социально-экономической системы (СЭС), направленных на преодоление кризисных тенденций и обеспечение устойчивого развития в условиях рынка и расширяющейся глобализации. Требуется разработать постановки и методы решения задач прогнозирования и моделирования альтернативных вариантов развития крупномасштабных социально-экономических систем.

В [3, 7, 9, 12, 15] предложен подход к формированию описания поведения и развития сложных систем в виде формализованных сценариев на определенном интервале времени в условиях ресурсных, финансовых, социальных и других типов ограничений. Там же предложена формализованная методология сценарного исследования социально-экономических систем. Ее сущность заключается в том, что сценарий поведения СЭС представляет собой последовательные этапы развития системы, каждый из которых имеет свои особенности и специфические черты. В соответствии с целями и критериями периодизации развития на каждом этапе определяются проблемы, требующие своего решения. Формализованная процедура генерации сценариев позволяет строить и подвергать анализу альтернативные варианты развития, т.е. осуществлять сценарный анализ поведения системы.

Существующий в настоящее время аппарат системного анализа ориентирован на исследование проблем и динамики развития сложных крупномасштабных систем, обеспечивает рассмотрение множества альтернативных решений, каждое из которых описывается достаточно большим числом переменных, позволяет учитывать риски различного типа, вырабатывать эффективные решения в условиях ограниченного времени и ресурсов [17]. Методологический аппарат формализованного сценарного исследования содержит ряд основных компонентов:

модели и методы сценарного анализа, основы сценарного исчисления и модели и методы сценарного синтеза.

В настоящей работе рассмотрены основы методологии сценарного исследования и ее применение для решения задач анализа эффективности методов группового управления на примере модели поведения «взвешенные ориентированные графы». Представлены результаты разработки модели анализа эффективности группового управления региональной социально-экономической системой Амурской области [2].

2. Сценарное исследование сложных систем

Под сценарным исследованием будем понимать такой способ изучения СС, когда основным средством исследования является построение и анализ спектра сценариев в различных ее стратах, а целью исследования – синтез сценария с заданными свойствами. Формализация соответствующей системы моделей предложена в ряде работ [3, 7, 9, 12].

2.1. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ СЦЕНАРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Предложенная в [1] типология прикладных систем позволяет провести структуризацию СЭС и изучать ее подсистемы методами формализованного сценарного исследования. Опыт разработки различных сценарных систем показывает, что уже на уровне классификации можно выделить ряд их характерных структурных особенностей. Можно их сгруппировать по признакам, определяющим уникальные свойства и связи между показателями выделенной классификационной группы. Далее, используя различные формальные характеристики, а также операции в рассматриваемых сценарных пространствах, можно провести эффективный анализ и осуществить синтез оптимальных сценариев развития, и, таким образом, осуществить конструирование оптимального сценария преобразований.

В содержательном плане сценарием поведения объекта является модель изменения обстановки, связанной с возникнове-

нием и развитием той или иной ситуации в дискретном временном пространстве с определяемым временным шагом.

С использованием понятий сценарной методологии [3, 7, 8, 15, 18, 21] сценарием поведения объекта является последовательность расширенных фазовых состояний (выделенных событий) и предполагаемых условий его функционирования (квазиинформационных гипотез). Сценарий описывает процесс изменения его параметров, дискретно фиксируя принципиальные с точки зрения исследователя моменты перехода в новое качественное состояние. При линейной структуре упорядочения событий в модели поведения используют две временные шкалы.

Сценарий \mathfrak{R} как объект исследования представляет собой сложную, иерархически построенную конструкцию [15]. Выделим исходные элементы:

общемодельные: $\mathbf{M} = (M_0; M_E; M_D, M_{0E}; M_{ME}; \widehat{A})$ (метанабор), множества внутренних состояний $Y \subseteq E^m$ и состояний окружения СЭС $X \subseteq E^n$, расширенное фазовое пространство $X \times Y = Z \subseteq E^{n+m}$ и его экспертно-значимое разбиение (ЭЗР) $\Xi = \{\{Z^{(\alpha)}\}, A^{(e)}\}$;

пространственно-информационные: шкала траекторий ZT , шкала событий \mathfrak{RT} , экспертно-значимое событие (ЭЗС) $\mathfrak{Z}^{\alpha}_{ev}(\mathbf{z}, t)$, глубина $N \in \mathfrak{RT}$, горизонт $t_N = T \in ZT$, условное решение $\zeta(t_i) = (\mathfrak{S}(t_i), \gamma(t_i))$ в момент времени $t_i \in ZT$, в том числе, управляемо-контролируемые факторы (УК-факторы) $\mathfrak{S} \in M_0 \subseteq E^d$, неконтролируемые факторы $\gamma \in \Gamma$, множество условных решений $S^{cs} = M_0 \times \Gamma$.

Сценарий \mathfrak{R} с началом в ЭЗС $\mathfrak{Z}^{\alpha(0)}_{ev}(\mathbf{z}(t_0), t_0) = \{Z^{\alpha(0)}, (\mathbf{z}(t_0), t_0)\}$ в соответствии со шкалами траекторий ZT и событий \mathfrak{RT} построен по правилам:

$$(1) \mathfrak{R} = \mathfrak{R}\left\{I(t_i), t_i\right\}, \text{ где } t_i \in \widehat{A} \text{ при } i = 0, 1, \dots, N; t_0 = 0,$$

$$(2) I(t_i) = (S(t_i), M^{(КИГ)}(t_i)), \text{ где } t_i \in \widehat{A} \text{ при } i = 0, 1, \dots, N; t_0 = 0.$$

Обстановка $I(t_i)$ при $t_i \in ZT \subseteq R$ характеризуется ситуацией $S(t_i)$ и квазиинформационной гипотезой (КИГ) $M^{(КИГ)}(t_i)$.

Ситуация представляет собой набор событий, произошедших до момента t :

$$(3) S(t) = \{ \mathfrak{S}^{(i)}(\mathbf{z}^{(i)}(t_i), t_i) \mid 0 \leq t_i \leq t, i = 0, 1, \dots, s; t_0 = 0 \},$$

а *ожидаемое событие* представляет собой ожидаемую реализацию $\mathbf{z}(t) \in Z$ факторов расширенной фазовой траектории в элементарном разбиении (ЭР) $Z^\alpha \in \Xi$ в момент времени t :

$$(4) \mathfrak{S}_{ev}^\alpha(t) = \{ Z^\alpha, \mathbf{z}(t), t \}.$$

Наступление очередного ЭЗС $\mathfrak{S}_{ev}^{\alpha(i+1)}(t_{i+1})$ сценария \mathfrak{R} в момент времени t_{i+1} по шкале ZT или в момент времени $i+1$ по дискретной шкале \mathfrak{RT} определяют *сценарно-формирующие* элементы сценария: ситуация $S(t_i)$, КИГ $M^{(KHF)}(t_i)$ и *стратегия* формирования сценария $\check{C}(t_i)$ в момент времени t_i как тернарное отношение:

$$(5) \mathfrak{S}_{ev}^{\alpha(i+1)}(t_{i+1}) = (S(t_i), M^{(KHF)}(t_i), \check{C}(t_i)).$$

Каждый из указанных элементов характеризует процесс его построения с определенной стороны:

- $\mathfrak{S}_{ev}^\alpha(\mathbf{z}, t)$ – экспертно-значимые события представляют собой наиболее важные события для лица, принимающего решения (ЛПР), которые необходимо осуществить при реализации сценария; в частности, с точки зрения конкретного планирования это – опорные точки плана, а выбранный (синтезированный) сценарий задает плановую траекторию развития объекта; между двумя ЭЗС конкретизируются плановые задания исходя из того, что первое ЭЗС есть начальное состояние объекта, а последующие – промежуточные цели, которые следует достичь;
- с помощью шкалы ZT описывают течение времени в динамической траектории объекта в расширенном фазовом пространстве $Z = X \times Y$ (обычно – шкала непрерывного времени), при этом $\Sigma T \subseteq ZT$ – набор моментов фиксации (непрерывной) траектории поведения; t_N – горизонт сценария, т.е. момент времени осуществления последнего события сценария;

- в соответствии со шкалой \mathcal{RT} дискретного времени происходят события формируемого сценария как реализации актов выбора, при этом $\mathcal{R}\Sigma T$ – образ ΣT на шкале \mathcal{RT} ; N – глубина;
- $S(t_i)$ – ситуация, описываемая набором важнейших параметров СЭС, определяет фазовые условия, в которых исследователю приходится принимать решение;
- $M^{(KIII)}(t_i)$ – квазиинформационная гипотеза; отражает структуру знаний исследователя и фактически представляет модель учитываемой неопределенности [15];
- $\tilde{C}(t_i)$ – стратегия формирования сценария выделяет те способы продолжения сценария, которые может позволить себе оперирующая сторона.

Могут быть определены сценарии основных типов:

- **синергические сценарии**, моделирующие поведенческие аспекты исследуемой системы и описывающие спектр развития в отсутствие управляющих воздействий на процессы функционирования СЭС;
- **сценарии прямого управления**, моделирующие спектр развития в связи с выбранным комплексом мероприятий, реализующих прямую задачу управления;
- **аттрактивные сценарии** – сценарии поведения СЭС в соответствии с желательными «разумными» с точки зрения целеполагания лица, принимающего решения (ЛПР), управляющими воздействиями, т.е. реализующими обратную задачу управления. Управление определяется в результате реализации текущих ситуаций, возникающих под влиянием внешних событий, а также решений ЛПР. В рамках указанной схемы сценарий может быть синтезирован как инструмент формального анализа альтернативных вариантов развития ситуации при заданных целевых установках в условиях неопределенности.

Наступление очередного ЭЗС $\mathfrak{Z}^{\alpha(i+1)}_{ev}(t_{i+1})$ синергического сценария определяется обшемодельными и экспертными сценарно-формирующими элементами по правилу (5). Наступление

очередного ЭЗС аттрактивного сценария дополнительно требует уточнения правил оперирования с пространственно-информационными компонентами для принятия управленческого условного решения по схеме:

- правило $\mathbf{A}^{(A)}(t_i) \subseteq \hat{A}$ оценки эффективности стратегии $\tilde{C}^{(A)}(t_i)$, позволяющего определить условное решение $\zeta(t_i) \in S^{cs}$;
- правило $\Lambda^{-1}(\mathfrak{P}(t_i), \gamma(t_i))$ определения элементов УК-фактора;
- правило $\mathbf{A}^{(fixm)}(t_i) \subseteq \hat{A}$ фиксации момента времени очередного ЭЗС $\mathfrak{Z}^{\alpha(i+1)}_{ev}(t_{i+1})$.

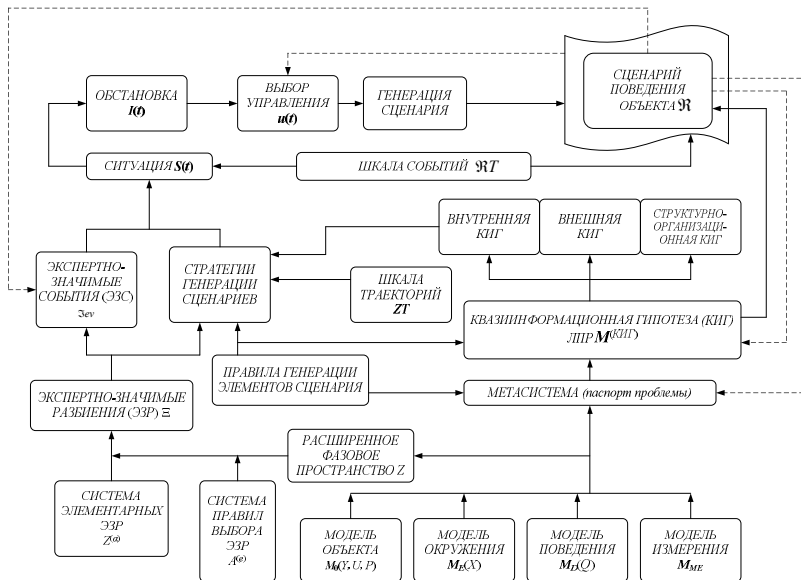


Рис. 1. Сценарная система и схема формирования сценария

Формально стратегия определена как тернарное отношение:

$$(6) \quad \tilde{C}^{(A)}(t_i) = (\mathbf{A}^{(A)}(t_i), \Lambda^{-1}(\mathfrak{P}(t_i), \gamma(t_i)), \mathbf{A}^{(fixm)}(t_i)).$$

Как только в момент времени $t \in ZT$ фиксирована КИГ в виде структурированного подмножества $M^{(KIH)}(t) \subseteq S^{cs} = Z^0$ пространства Z , может быть определено очередное ЭЗС путем ука-

зания УК-фактора $\mathfrak{F} = \Lambda(\mathbf{u}, \mathbf{p}, \Delta)$ в соответствии с выбранной стратегией \tilde{C} формирования сценария \mathfrak{R} . \tilde{C} строится на основе правил $A^{(s)} \subseteq \hat{A}$. Каждая точка $\mathbf{z} = (\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in Z$ вместе с фиксированными правилами дискретизации траектории $\mathbf{A}^{(fixm)}(t_i) \subseteq \hat{A}$ в каждый момент времени $t_i \in ZT, i = 0, 1, \dots$ (или на некотором горизонте сценария $T \in ZT$) и элементами метанабора \mathbf{M} определяют сценарий поведения объекта $\mathfrak{R}(\mathbf{z}, I(t_i), t_i)$, исходящий из точки \mathbf{z} , как последовательность КИГ, стратегий формирования сценария, правил их выбора и соответствующих им ожидаемых событий. Представление сценария \mathfrak{R} как последовательности ЭЗС и КИГ, т.е. обстановок (1)-(4) ориентировано на ЛПР или «внешнего пользователя» по отношению к процессу анализа проблемы. В отличие от (1), технология получения сценария в виде набора стратегий и правил выбора (6) предназначена для эксперта, занимающегося постановкой и решением изучаемой проблемы. Общая схема формирования сценария представлена на рис. 1.

2.2. ПОНЯТИЕ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Важнейшими этапами сценарного исследования сложной системы являются сценарный анализ и сценарный синтез. Множественность сценариев поведения СС проявляется в качественно различных ее сторонах, которые фиксируются в модели анализа полученного спектра сценариев. Многогранность объекта исследования при формализованном подходе отображается в разнообразии его характеристик и свойств. Под характеристикой подразумевается формализованная в виде формальной модели качественная сторона объекта исследования. Соответствующая выбранной шкале числовая функция f называется *числовой характеристикой*, или *показателем измерения объекта*; булевская характеристика объекта представляет собой модель *свойства объекта*. Возможны и другие модели характеристик.

Исходным набором характеристик анализа и синтеза может служить набор характеристик $\mathbf{f}^{(e)}$ элемента $e(\mathfrak{R})$ сценария \mathfrak{R} или других компонентов сценарной системы. Метрические характе-

ристики элементов сценария и сценария в целом определяют его свойства как элемента расширенного фазового $Z \subseteq E^{n+m}$, сценарного $Z^{(cs)}$, а также метрического $Me(Z, \rho_Z)$ и нормированного $Nor(Z, n_Z)$ пространств, построенных на их основе.

Ряд общемодельных характеристик сценарной системы предложен в [15]. Рассмотрим пространственные характеристики пошаговых ЭЗС сценариев, которые целесообразно использовать в сценарном анализе и синтезе как показатели эффективности проведения мероприятий управления.

Пусть заданы вектор $\mathbf{a} \in Z$, направление $\mathbf{b} \in Z (\|\mathbf{b}\|_E = 1)$ и число $\delta > 0$. Для формирования целей и оценок эффективности управления \mathbf{u} следует определить характеристики сценария \mathfrak{R} развития ситуаций на горизонте $\Delta = [t_0, T]$:

текущее удаление сценария \mathfrak{R} от вектора \mathbf{a}

$$d_E^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}) = \rho_E(\mathbf{z}(t), \mathbf{a}) = \|\mathbf{z}(t) - \mathbf{a}\|_E;$$

характеристика может быть использована для мониторинга фактического отклонения текущей ситуации от целевой в ходе реализации сценария и/или являться текущей оценкой эффективности управления для аттрактивного сценария;

текущее угловое удаление сценария \mathfrak{R} от направления \mathbf{b}

$$d_a^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{b}) = \rho_a(\mathbf{z}(t), \mathbf{b}) = \left\| \frac{\mathbf{z}(t)}{\|\mathbf{z}(t)\|_E} - \frac{\mathbf{b}}{\|\mathbf{b}\|_E} \right\|_E;$$

характеристика может быть использована для мониторинга фактического отклонения текущей ситуации от целевого направления развития в ходе реализации сценария и/или являться текущей оценкой эффективности управления;

минимальное удаление сценария \mathfrak{R} от вектора \mathbf{a} на горизонте Δ

$$d_E^{\min}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta) = \min_{z \in \mathfrak{R}(t_0, T)} \|\mathbf{z} - \mathbf{a}\|_E = \min_{t \in t_0, T} d_E^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta);$$

характеристика может быть использована как аналитическая (целевая) для решения задачи о достижении сценарием целевой ситуации, интересующей оперирующую сторону, и/или являться заключительной оценкой эффективности управления;

минимальное угловое удаление сценария \mathfrak{R} от направления \mathbf{b} на горизонте Δ

$$d_a^{\min}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{b}, \Delta) = \min_{\mathbf{z} \in \mathfrak{R}(t_0, T)} \rho_a(\mathbf{z}, \mathbf{b}) = \min_{t \in t_0, T} d_a^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{b}, \Delta);$$

характеристика может быть использована как аналитическая (целевая) для решения задачи о достижении сценарием целевого направления развития, интересующего оперирующую сторону, и являться заключительной оценкой эффективности управления; *максимальное удаление сценария \mathfrak{R} от вектора \mathbf{a} на горизонте Δ*

$$d_E^{\max}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta) = \max_{\mathbf{z} \in \mathfrak{R}(t_0, T)} \|\mathbf{z} - \mathbf{a}\|_E = \max_{t \in t_0, T} d_E^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta);$$

характеристика может быть использована как аналитическая (целевая) для решения задачи о достижении сценарием целевой ситуации, интересующую оперирующую сторону, и/или являться заключительной оценкой эффективности управления; *максимальное угловое удаление сценария \mathfrak{R} от направления \mathbf{b} на горизонте Δ*

$$d_a^{\max}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{b}, \Delta) = \max_{\mathbf{z} \in \mathfrak{R}(t_0, T)} \rho_a(\mathbf{z}, \mathbf{b}) = \max_{t \in t_0, T} d_a^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{b}, \Delta);$$

характеристика может быть использована как аналитическая (целевая) для решения задачи о достижении сценарием целевого направления развития, интересующего оперирующую сторону, и являться заключительной оценкой эффективности управления; *множество периодов выхода сценарием \mathfrak{R} за δ -окрестность вектора \mathbf{a}*

$$T_E^{(t, out)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta) = \text{Arg}_{t_0 \leq t \leq T} (d_E^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta) \geq \delta);$$

множество периодов пребывания сценария \mathfrak{R} в δ -окрестности вектора \mathbf{a}

$$T_E^{(t, in)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta) = \text{Arg}_{t_0 \leq t \leq T} (d_E^{(t)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta) \leq \delta);$$

характеристики могут быть использованы как целевые для решения задачи о максимальном «физическом» ущербе при удалении сценария от заданного целевого состояния и является оценкой эффективности управления;

первый момент выхода сценарием \mathfrak{R} за δ -окрестность вектора \mathbf{a}

$$T_E^{(min,out)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta) = \min_{t_0 \leq t \leq T} (T_E^{(t,out)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta));$$

последний момент пребывания сценария \mathfrak{R} в δ -окрестности вектора \mathbf{a}

$$T_E^{(max,in)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta) = \max_{t_0 \leq t \leq T} (T_E^{(t,in)}(\mathbf{u}, \mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \delta));$$

характеристики могут быть использованы как целевые для решения задачи быстрогодействия вывода СС на желательный режим функционирования из заданного целевого состояния и является оценкой эффективности результата управления.

Могут быть введены и аналогичные угловые характеристики, фиксирующие удаленность сценария от заданной δ -конической окрестности, а также производные характеристики.

При реализации различных управлений \mathbf{u} , вообще говоря, могут реализоваться различные сценарии \mathfrak{R} , т.е. при $\mathbf{u}^{(1)} \neq \mathbf{u}^{(2)}$, вообще говоря, $\mathfrak{R}(\mathbf{u}^{(1)}, \Delta) \neq \mathfrak{R}(\mathbf{u}^{(2)}, \Delta)$. Соответственно этому можно определить ряд сравнительных характеристик сценариев, которые дают возможность классифицировать сценарии по степени близости, удаленности от цели и т.п. критериям.

Любая из введенных характеристик экспертно-значимых событий и сценариев или их комбинация может быть подвержена текущему анализу, а также положена в основу целеполагания субъекта управления, и, таким образом, явиться основанием критерия формирования оптимального сценария поведения или развития исследуемой сложной системы [15].

Специальные средства анализа и синтеза оптимальных сценариев представляют основы сценарного исчисления в сценарных пространствах [12].

2.3. СЦЕНАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОРИЕНТИРОВАННОМ ГРАФЕ

На языке ориентированных графов введенные ранее понятия приобретают следующий вид. Пусть ЭЗР содержат лишь конечное число элементов.

Тогда могут быть введены структуры $X = \{x^{(1)}, \dots, x^{(n)}\}$ и $E = \{e_{ij}\}$, описывающие связи между элементарными ЭЗР. Полученный оргграф обозначим $G(X, E)$. Для прикладных систем различных классов [1] могут быть построены разные модели объектов и окружения, отличающиеся набором исследуемых параметров их описания и, соответственно, различные оргграфы. В простейшем случае каждой вершине $x^{(i)}$ оргграфа $G(X, E)$ ставится в соответствие параметр v_j . Таким образом, расширенным состоянием системы является вектор-столбец $\mathbf{v} = \{v_j, 1 \leq j \leq n\}$.

Для сценарного исследования СС на оргграфе оперирующая сторона располагает следующими средствами мониторинга и управления в момент времени t :

- обнаруживать и/или применять в качестве управляющих воздействий k -шаговый импульсный процесс $\mathbf{Im}(t, k) = (\mathbf{Im}_j(\tau) \ 1 \leq j \leq n; t \leq \tau \leq t + k)$;

- обнаруживать и/или применять в качестве управляющих воздействий k -шаговый структурный процесс $\Phi(t, k) = (A(\tau) \ t \leq \tau \leq t + k)$;

- обнаруживать и/или применять как управления комплексный процесс $K(t, k) = (\mathbf{Im}(t, k), \Phi(t, k))$.

В соответствии со схемой преобразования состояния в операторных графах динамику системы определяет соотношение:

$$(7) \ \mathbf{v}(t) = \mathbf{v}(t-1) + \mathbf{Im}(t) \text{ при } t = 1, 2, \dots$$

или

$$(8) \ \mathbf{v}(t) = \mathbf{v}(t-1) + A(t-1)\mathbf{Im}(t-1) + \mathbf{Im}^{(0)}(t) \text{ при } t = 1, 2, \dots$$

Здесь $\mathbf{v}(0) = \mathbf{v}^{(0)}$ – начальное, $\mathbf{v}(t)$ – текущее состояния системы; $\mathbf{v}(t-1)$ – предыдущее состояние системы в момент времени $t-1$;

$A(t-1)$ – матрица смежности в момент времени $t-1$;

$\mathbf{Im}(t-1)$ – импульс, накопленный к моменту времени $(t-1)$, $\mathbf{Im}(0) = \mathbf{Im}^{(0)}(0)$ – начальный импульс;

$\mathbf{Im}^{(0)}(t)$ – импульс в момент времени $t = 1, 2, \dots$

Преобразование состояния происходит по следующему алгоритму в момент времени $t = 1, 2, \dots$:

- на вход вычисления подаются: состояние $\mathbf{v}(t-1)$, матрица смежности $A(t-1)$ и накопленный импульс $\mathbf{Im}(t-1)$;

– вносится текущий импульс (импульсное управление) $\mathbf{Im}^{(0)}(t)$;

– вычисляется текущий накопленный импульс

$$\mathbf{Im}(t) = A(t-1)\mathbf{Im}(t-1) + \mathbf{Im}^{(0)}(t);$$

– по правилу (7) вычисляется текущее состояние $\mathbf{v}(t)$;

– вносится структурное аддитивное управление $\delta A(t)$ и матрица смежности преобразуется по правилу:

$$(9) A(t) = A(t-1) + \delta A(t);$$

– проверяется условие завершенности горизонта сценария $t = T$;

▪ в случае $t < T$ проводится очередной шаг;

▪ в случае $t = T$ процесс завершается.

Как только задан комплексный процесс $K(t, k)$, то, в соответствии с правилами (7)-(8) могут быть построены k -пошаговые сценарии $\mathfrak{R}(K(t, k))$ поведения системы [3, 6, 7, 15, 18, 19].

Зафиксируем временной сегмент $\Delta = [0, T]$.

В соответствии с исходными определениями могут быть рассмотрены два типа сценариев: синергический и аттрактивный. Обозначим пошаговый синергический сценарий $\mathfrak{R}^{(syn)}$. В соответствии с назначаемыми субъектом действия (СД) A_c управлениями $D^{(Ac)}(\Delta)$ на сегменте Δ формируется пошаговый аттрактивный сценарий $\mathfrak{R}^{(Ac)}(D^{(Ac)}(\Delta))$ изменения состояний системы на горизонте Δ .

Положим $\text{var } \mathfrak{R}^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta) = \mathfrak{R}^{(syn)}(\Delta) - \mathfrak{R}^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta)$, где пошаговый «сценарий воздействия» (ВД-сценарий) $\text{var } \mathfrak{R}^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta)$ формируется по правилу:

$$\text{var } \mathfrak{R}^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta) = \{v_l^{(syn)}(\tau) - v_l^{(Ac)}(\tau)\}_{(l=1, n, \tau \in \Delta)}.$$

Рассмотрим множество

$V^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta) = \{v \in \mathfrak{R}^{(syn)}(\Delta), \text{ для которых } \text{var } V^{(Ac)}(D^{(Ac)}, \Delta) \neq 0\}$, т.е. тех состояний системы, которые аттрактивный сценарий изменяет по сравнению с синергическим под воздействием примененного управления $D^{(Ac)}$ на горизонте сценария Δ .

Областью сценарного управления $CU^{(Ac)}$ субъекта действия A_c на отрезке Δ назовем множество

$$CU^{(Ac)}(\Delta) = \bigcup_{D^{(Ac)} \in U^{(Ac)}} U(D^{(Ac)}, \Delta),$$

т.е. тех состояний системы, которые аттрактивный сценарий изменяет по сравнению с синергическим под воздействием произвольного допустимого управления $D^{(Ac)}$ на горизонте сценария Δ . Область управления характеризует ту область расширенного фазового пространства, на которую может воздействовать СД Ac посредством управлений из множества $U^{(Ac)}$.

Отметим, что эта область зависит от ряда факторов: множества управлений $U^{(Ac)}$, модели измерения состояний (шага измерений) M_{ME} , начальных условий и т.п.

Силой комплексного воздействия СД Ac на ситуацию в момент времени t , соответствующей импульсному процессу $\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k)$ и структурному процессу $\Phi^{(Ac)}(t_0, k)$, назовем вектор $\mathbf{F}^{(Ac)}(\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k), \Phi^{(Ac)}(t_0, k), t) = \mathbf{v}^{(Ac)}(t) - \mathbf{v}^{(sym)}(t)$.

Справедлив ряд Утверждений (см. [20]).

Утверждение 1.

Сила воздействия $\mathbf{F}^{(Ac)}$ СД Ac на ситуацию в момент времени t , соответствующая импульсному процессу $\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k)$, равна

$$(10) \mathbf{F}^{(Ac)}(\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k), t) = \sum_{\tau=0}^t (A)^{t-\tau} \mathbf{I}^{(0)}(\tau).$$

Утверждение 2.

Сила воздействия $\mathbf{F}^{(Ac)}$ СД Ac на ситуацию в момент времени t , соответствующая импульсному процессу $\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k)$, является линейной функцией аргумента $\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k)$.

Для субъекта действия Ac в соответствии с (9) положим

$$(11) \delta A^{(Ac)}(t) = A^{(Ac)}(t) - A^{(Ac)}(t-1),$$

и введем последовательность матриц

$$(12) \delta \Phi^{(Ac)}(t_0, k) = \{\delta A^{(Ac)}(t), t = t_0, \dots, t_0 + k\},$$

которую назовем структурным управлением СД Ac на сегменте управления $\Delta = [t_0, t_0 + k]$.

Отметим, что импульсное управление СД совпадает с импульсным процессом, поскольку осуществляется непосредственно указанной величиной импульсов. Структурное управле-

ние НЕ совпадает со структурным процессом, поскольку измеряется в терминах *изменения* структуры матрицы смежности в соответствии с (11)-(12).

Утверждение 3.

Пусть СД Ac осуществил структурное управление $\delta\Phi^{(Ac)}(t_0, k)$ на сегменте управления Δ . Тогда

$$A^{(Ac)}(t) = \sum_{\tau=1}^t \delta A^{(Ac)}(\tau) + A(0) \text{ для каждого } t = 1, 2, \dots, k.$$

Силой комплексного воздействия СД Ac на ситуацию в момент времени t , соответствующей процессу комплексного воздействия $K^{(Ac)}(t_0, k)$, назовем вектор

$$(13) \mathbf{F}^{(Ac)}(K^{(Ac)}(t_0, k), t) = \mathbf{v}^{(Ac)}(t) - \mathbf{v}^{(syn)}(t).$$

Сила воздействия (13) представляет собой изменения, накопленные в момент t при возмущениях $\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k)$ и $\Phi^{(Ac)}(t_0, k)$.

В соответствии с соотношением (7) получим общее уравнение и свойства распространения импульса в исследуемом процессе в момент времени t .

Утверждение 4.

$$(14) \mathbf{F}^{(Ac)}(K^{(Ac)}(t_0, k), t) = \sum_{\tau=0}^t \prod_{r=\tau}^t (A(t-r)) \mathbf{I}^{(0)}(\tau).$$

Если $A(t) = A$ при всех $t = 1, 2, \dots, k$, то (14) переходит в (10).

(14) определяет силу комплексного воздействия в терминах импульсных и структурных процессов, а не в терминах управлений. Пусть

$$(15) \delta_{(t-r)} A^{(Ac)} = \sum_{l=1}^{t-r} \delta A^{(Ac)}(l),$$

т.е. изменения матрицы $A(0)$, накопленные к моменту $t-r$.

Применяя соотношение Утверждения 1-2 к (14), получим:

$$(16) \mathbf{F}^{(Ac)}(\mathbf{Im}^{(Ac)}(t_0, k), \delta\Phi^{(Ac)}(t_0, k), t) = \\ \sum_{\tau=0}^t \prod_{r=\tau}^t \left[\sum_{l=1}^{t-r} \delta A^{(Ac)}(l) + A(0) \right] \mathbf{I}^{(0)}(\tau) = \\ \sum_{\tau=0}^t \prod_{r=\tau}^t [\delta_{(t-r)} A^{(Ac)} + A^{t-\tau}(0)] \mathbf{I}^{(0)}(\tau),$$

Последние соотношения определяют силу комплексного воздействия в терминах импульсных $\mathbf{I}^{(0)}(\tau)$ и аддитивных структурных $\delta A^{(Ac)}(l)$ управлений.

С характеристикой «сила воздействия» связаны следующие компоненты событийного пространства на взвешенном орграфе:

- субъект действия Ac , осуществляющий воздействие;
- время начала воздействия t_n ;
- время окончания воздействия t_k ;
- момент измерения воздействия t ;
- исходное состояние системы до воздействия $\mathbf{v}(t_n)$;
- комплексный процесс воздействия $K^{(Ac)}(t_n, k)$;
- величина силы воздействия $\mathbf{F}^{(Ac)}$ в момент времени t ;
- текущее состояние системы $\mathbf{v}(t)$ в момент измерения t ;
- заключительное состояние системы после воздействия $\mathbf{v}(t_k)$.

Пусть для набора $\mathbf{i} \subseteq \hat{H} = \{1, \dots, h\}$ каждый СД Ac_i , $i \in \mathbf{i}$, назначил управление $D^{(i)}(\Delta)$, так что $D^{(i)}(\Delta) = \{D^{(i)}(\Delta), i \in \mathbf{i}\}$ на сегменте Δ .

Сценарий $\mathfrak{R}^{(i)}(D^{(i)}, \Delta)$ назовем *сценарием взаимодействия* СД из $\mathbf{i} \subseteq \hat{H}$ при реализации управлений $D^{(i)}(\Delta)$ на горизонте Δ .

Полагая

$$\text{var } \mathfrak{R}^{(i)}(D^{(i)}, \Delta) = \mathfrak{R}^{(sym)}(\Delta) - \mathfrak{R}^{(i)}(D^{(i)}, \Delta),$$

определим множество

$$U(D^{(i)}, \Delta) = \{\mathbf{v} \in \mathfrak{R}^{(sym)}(\Delta), \text{ для которых } \text{var } V^{(i)}(D^{(i)}, \Delta) \neq 0\},$$

т.е. тех внутренних состояний системы, которые общий сценарий изменяет по сравнению с синергическим под воздействием примененного управления $D^{(i)}$ на горизонте сценария Δ . Общий сценарий определяет результат-сценарий совместных действий.

Утверждение 5.

Пусть каждый СД Ac_i , $i \in \mathbf{i}$, осуществил комплексное управление $D^{(i)}(\Delta) = (D_{imp}^{(i)}(\Delta), \Phi_{st}^{(i)}(\Delta))$, содержащее импульсное $D_{imp}^{(i)}(\Delta) = \{D_{imp}^{(i)}(\Delta) = \mathbf{Im}^{(Act_i)}(t_0, k), i \in \mathbf{i}\}$, а также структурное управление $\delta\Phi_{st}^{(i)}(\Delta) = \{\delta\Phi_{st}^{(i)}(\Delta) = \delta\Phi^{(Act_i)}(t_0, k), i \in \mathbf{i}\}$ на сегменте $\Delta = [t_0, t_0 + k]$. Тогда сила их взаимодействия на ситуацию в момент времени t равна:

$$(17) F^{(i)}(D^{(i)}(\Delta), t) = \sum_{\tau=0}^t \prod_{r=\tau}^t \left(\sum_{l=1}^{t-r} \sum_{i \in \mathbf{i}} \delta A^{(i)}(l) + A^{t-r}(0) \right) \sum_{i \in \mathbf{i}} \mathbf{I}^{(0,i)}(\tau).$$

Развивая технику, примененную в Утверждениях 1-5, можно получать различные варианты взаимодействия, а также его характеристики: силу совместного взаимодействия (влияния) субъектов действия на ситуацию, силу взаимного противодействия, область совместного управления, определять в терминах ситуации и целеполагания отношения между СД и т.п.

Для определения указанных компонентов ситуации может быть поставлен ряд задач взаимного поведения субъектов действия Act и An .

Задачи обнаружения.

Задача 1. (прямая задача определения силы воздействия).

Пусть субъекту действия An стало известно, что в момент времени t_0 субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс $\mathbf{I}^{(Act,a)}$. Для заданного множества моментов времени MT определить силу воздействия $\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t)$ для каждого $t \in MT$.

Решение этой задачи получим по формулам (10)-(17):

$$(18) \mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t) = A^t \mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0).$$

Задача 2. (задача определения времени начала воздействия).

Пусть субъекту действия An стало известно, что субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс с

начальным импульсом $\mathbf{I}^{(Act,a)}$, и в моменты времени $t \in MT$ была обнаружена сила воздействия $\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t)$. Определить момент времени t_0 начала воздействия.

Задача 3. (задача оптимального мониторинга начала воздействия).

Пусть субъекту действия An стало известно, что субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс с начальным импульсом $\mathbf{I}^{(Act,a)}$. Найти минимальное множество MT , при котором гарантировано определение момента t_0 .

Задача 4. (задача определения начального импульса).

Пусть субъекту действия An стало известно, что субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс в момент времени t_0 , и в моменты времени $t \in MT$ была обнаружена сила воздействия $\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t)$. Определить направления и величины начального воздействия $\mathbf{I}^{(Act,a)}$.

Задача 5. (задача оптимального мониторинга начального импульса воздействия).

Пусть субъекту действия An стало известно, что субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс $\mathbf{I}^{(Act,a)}$ в момент времени t_0 . Найти минимальное множество MT , при котором гарантировано определение направлений и величин начального воздействия $\mathbf{I}^{(Act,a)}$.

Задачи определения компонентов воздействия.

Задача 6. (прямая задача определения силы воздействия).

Пусть в момент времени t_0 субъект действия Act сгенерировал автономный импульсный процесс $\mathbf{I}^{(Act,a)}$. Для заданного множества моментов времени MT определить силу воздействия $\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t)$ для каждого $t \in MT$.

Решение этой задачи получим по формулам (10)-(17):

$$(19) \mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t) = A^t \mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0).$$

Задача 7. (задача определения времени начала воздействия).

Пусть субъект действия Act имеет возможность сгенерировать автономный импульсный процесс начальным импульсом $\mathbf{I}^{(Act,a)}$ в моменты времени $t \in MT$ с тем, чтобы в момент времени t_3 реализовать силу воздействия

$$\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t_3) = \mathbf{a}.$$

Определить момент времени t_0 начала воздействия.

Задача 8. (задача определения начального импульса).

Пусть субъект действия Act имеет возможность сгенерировать автономный импульсный процесс в момент времени t_0 с тем, чтобы в момент времени t_3 реализовать силу воздействия $\mathbf{F}^{(Act)}(\mathbf{I}^{(Act,a)}(t_0), t_3) = \mathbf{a}$. Определить направления и величины начального воздействия $\mathbf{I}^{(Act,a)}$.

Аналогичные задачи могут быть поставлены для структурных и комплексных воздействий, а также взаимодействия субъектов воздействия.

3. Сценарный анализ группового управления

В настоящем разделе предложены методы исследования эффективности применения *группового управления* для решения задач оперативного, тактического и стратегического управления функционированием и развитием сложных систем.

Групповое управление – это совместное (согласованное) по принятию и реализации решений связанное управление группой объектов (факторов развития), т.е. совокупность принятых и выполненных управленческих решений по отношению к выделенной группе факторов: объектов, явлений и процессов в СС.

В настоящее время методы группового управления применяются в основном в ряде технических систем (управление станками и роботами), в логистике, авиации и т.д. Однако в организационных системах использование указанных методов не рассматривалось.

Разработка средств анализов и оптимального синтеза сценариев группового управления требует: формирования моделей группового управления, проведения классификации методов и их формализации, определения его свойств и характеристик, определения критериев оптимальности, а также условий его реализации.

3.1. МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Модель $M^{гy}$ группового управления в системе S может быть задана разными способами. Выделим следующие компоненты:

$$(20) M^{гy}(S) = \{S; A; C; \mathbf{z}; \mathbf{O}; Act, \mathbf{u}; \mathbf{p}; \xi; \Delta, M_D(S), M^{\Phi}\},$$

где

S – обозначение исследуемой системы;

$\mathbf{y} \in E^m$ – фазовые переменные системы S ;

$\mathbf{x} \in E^k$ – переменные окружения;

$\mathbf{z} = (\mathbf{x}, \mathbf{y})$ – расширенные фазовые переменные системы S ;

$\mathbf{O} = \{O^{(i)}, i = 1, \dots, nO\}$ – объекты управления;

$Act = \{Ac^{(i)}, i = 1, \dots, nA\}$ – субъекты управления;

A – цели управления;

C – стратегии управления;

$\mathbf{u} = (u^{(i)}, i = 1, \dots, d)$ – управляющие воздействия;

$\mathbf{p} = (p^{(i)}, i = 1, \dots, h)$ – ресурсы управления;

ξ – учитываемые виды (модели) неопределенности;

$\Delta = [t_n, t_k]$ – горизонт управления;

$M_D(S)$ – модель поведения системы S ;

$M^{\Phi} = \{\mathbf{f}, \Delta_F\}$ – модель оценки эффективности управления,

\mathbf{f} – набор характеристик сценария \mathcal{R} ;

$\Delta_F = [t_0; t_e]$ – глубина оценки эффективности управления.

Классифицировать групповое управление можно по различным признакам: по классификационным группам объектов управления, времени принятия решений, критериям согласован-

ности управления, сравнительным характеристикам объекта управления, применяемым методам управления и т.п. В частности, по компонентам кортежа (20) могут быть определены понятия параллельного и последовательного, синхронного и асинхронного, периодического и аperiodического, синфазного и других типов группового управления.

Определение $M^{гy}$ группового управления в системе S позволяет перейти к описанию динамики управления и формированию сценариев функционирования исследуемой системы. Генерация таких сценариев может быть осуществлена в автоматическом режиме по предложенной ранее схеме.

Рассмотрим выделенные компоненты группового управления на орграфе $G = (X, E)$.

Объекты управления. В качестве объектов управления O на орграфе в настоящей работе рассматриваются его подструктуры: вершина графа, набор вершин, путь, контур.

Субъекты управления – субъектами управления на орграфе G могут выступать субъекты действия из множества \hat{H} , а также любая их коалиция $i \subseteq \hat{H}$.

Управляющие воздействия – импульсные, структурные, комплексные (см. раздел 2.3).

1) Импульсные управляющие воздействия $\mathbf{Im}(t, k)$.

2) Структурные управляющие воздействия $\Phi(t, k)$.

Стратегическое управление можно представить как изменения δA элементов матрицы смежности $A(t_0)$. Так, естественно интерпретируются следующие изменения дуги $(i \rightarrow j)$, когда элемент a_{ij} заменяют на элемент a_{ij}^r :

- $a_{ij} = 0$, но $a_{ij}^r \neq 0$ означает введение новой дуги;
- $a_{ij} \neq 0$, но $a_{ij}^r = 0$ означает удаление дуги;
- $a_{ij} \neq a_{ij}^r$ означает введение новой дуги;
- $a_{ij}^r = -a_{ij}$ означает перемену знака дуги;
- $a_{ij}^r = a_{ji}$ означает «инвертирование» дуги.

Такие изменения назовем элементарными. В качестве элементарного следует также рассматривать изменение дуги $(i \rightarrow j)$ путем добавления величины $a_{ij}^{(\delta)}$. В этом случае все элементы матрицы δA равны 0, кроме $a_{ij}^{(\delta)}$.

3) Комплексные управляющие воздействия $K(t, k) = (\mathbf{I}m(t, k), \Phi(t, k))$ – совокупность импульсных и структурных управляющих воздействий.

Цели управления представляют собой требуемые состояния объекта или направление развития в результате реализации управленческих решений.

В качестве целей управления будем рассматривать достижение значений целевого вектора $\mathbf{a} \in E^s$ и выбранного направления $\mathbf{b} \in E^p$. Целевой вектор \mathbf{a} представляет собой желаемый набор значений параметров вершин: $\mathbf{a} = \{v_1, \dots, v_s\}$; направление \mathbf{b} характеризует желательное направление развития.

Стратегии управления.

Стратегии управления представляют собой способы осуществления воздействий в зависимости от обстановки. Для группового управления рассматриваются следующие методы:

централизованное управление – воздействие, осуществляемое единственным СД;

распределенное управление – воздействие, осуществляемое несколькими СД;

периодическое управление – воздействие на группу выделенных объектов с заданной периодичностью во времени.

Сосредоточенное управление – воздействие на выделенный объект O (используется как альтернатива групповому управлению в модели сравнения их эффективности).

3.2. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящем разделе приводится анализ эффективности группового управления на примере Амурской области, полученный на основе вычислительного эксперимента.

Модель экономики региона включает 39 основных макроэкономических параметра: 1 – физический объем производства, 2 – инвестиции, 3 – издержки производства, 4 – уровень цен, 5 – объем денежной массы, 6 – технологический прогресс, 7 – производительность труда, 8 – занятость, 9 – уровень жизни, 10 – социальные программы, 11 – теневая экономика, 12 – налоговые

ставки, 13 – бюджет, 14 - макроэкономический риск, 15 – внешние факторы развития, 16 – базовые отрасли ТЭК, 17 – промышленный комплекс, 18 – уникальные природные ресурсы, 19 – сельское хозяйство (с/х), 20 – ресурсная база, 21 – экология, 22 – транспорт и связь, 23 – строительство, 24 – потребительский рынок, 25 – здравоохранение, 26 – образование, 27 – культура, 28 – малое предпринимательство, 29 – жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), 30 – туризм, 31 – ракетно-космическая деятельность (РКД), 32 – миграция из региона, 33 – износ основных фондов экономики, 34 – негативное влияние природно-климатических факторов, 35 – инфляция, 36 – спрос, 37 – потребительский кредит, 38 – монополизм, 39 – влияние Китая.

Модель существующего состояния Амурской области в виде графа G_I представлена на рис. 2.

На рисунке сплошными стрелками изображены отношения типа «положительная связь», т.е. увеличение (уменьшение) параметров в одной вершине приводит к увеличению (уменьшению) значений параметров в связанной с ней непосредственно вершине. Штрихпунктирные линии отражают «отрицательную связь», т.е. противоположный эффект.

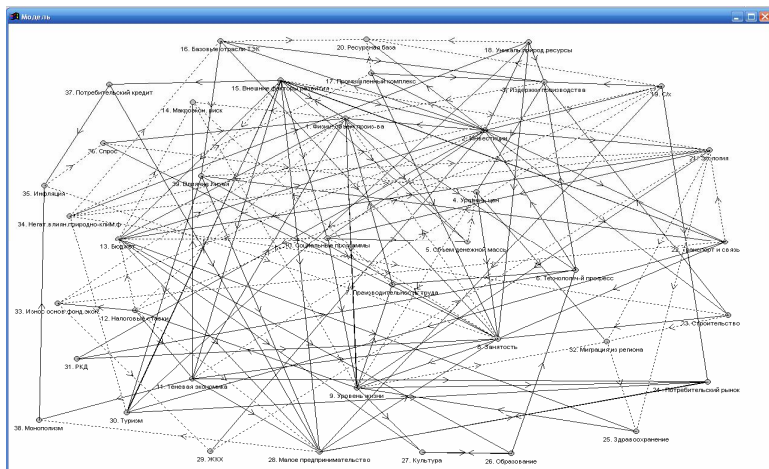


Рис. 2. Исходная модель Амурской области

Главной целью исследования является проведение сравнительного анализа эффективности сценариев развития региона (на примере Амурской области) при различных вариантах принятия управленческих решений и при предлагаемом наборе характеристик сравнения f .

На основе ориентированного графа G_I и методики сценарного исследования [18] были исследованы варианты сценариев развития Амурской области. Формализация ряда сценариев и формальные условия проведения вычислительного эксперимента задачи прямого управления представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сценарии развития Амурской области

№	Целевые факторы	№	Управляемые факторы	Импульс	Шаг
<i>Сценарии выхода из мирового финансово-экономического кризиса</i>					
Сценарий №1 – простой импульсный процесс					
1	«Физический объем производства»	28	«Малое предпринимательство»	+ 1.0	2
9	«Уровень жизни»				
14	«Макроэкономический риск»				
35	«Инфляция»				
36	«Спрос»				
38	«Монополизм»				
Сценарий №2 – простой периодический импульсный процесс					
1	«Физический объем производства»	28	«Малое предпринимательство»	+ 1.0	2
9	«Уровень жизни»	28	«Малое предпринимательство»	+ 1.0	4
14	«Макроэкономический риск»	28	«Малое предпринимательство»	+ 1.0	6
35	«Инфляция»				
36	«Спрос»				
38	«Монополизм»				
Сценарий №3 – групповое управление					
1	«Физический объем производства»	2	«Инвестиции»	+ 1.0	2
9	«Уровень жизни»	28	«Малое предпринимательство»	+ 1.0	4
14	«Макроэкономический риск»	15	«Внешние факторы развития»	+ 1.0	6
35	«Инфляция»				
36	«Спрос»				
38	«Монополизм»				

В качестве целевых показателей (факторов) исследуются следующие значимые для региона факторы: «Физический объем производства», «Уровень жизни», «Макроэкономический риск», «Инфляция», «Спрос», «Монополизм».

Сценарий № 1. Предполагается лишь одно положительное импульсное воздействие (+ 1.0) в фактор «Малое предпринимательство» на втором шаге моделирования (простой импульсный процесс). Модель управления в данном случае имеет вид:

$$M^{(1)}(S) = \{S; A; C; \mathbf{z}; \mathbf{O}; \mathbf{Act}; \mathbf{u}; \Delta; \Delta_F\}, \text{ где}$$

S – исследуемая система – Амурская область;

A – цель управления – достижение целевого вектора \mathbf{a} ;

C – стратегия управления – простое импульсное управление;

$\mathbf{z} = \{v_1 - v_{39}\}$ – расширенные фазовые переменные системы S ;

$\mathbf{O} = \{v_1, v_9, v_{14}, v_{35}, v_{36}, v_{38}\}$ – объекты управления;

\mathbf{Act} – субъект управления: региональное (областное) управление;

\mathbf{u} – управляющие воздействия – импульс в вершину $\{v_{28}\}$;

$\Delta = [1; 25]$ – горизонт управления;

$\Delta_F = [1; 50]$ – глубина оценки эффективности.

Сценарий № 2. Импульсное воздействие (+ 1.0) вносится в фактор «Малое предпринимательство» на втором, четвертом и шестом шагах моделирования (периодическое импульсное управление с периодом $p = 2$). Модель управления в данном случае имеет вид:

$$M^{(2)}(S) = \{S; A; C; \mathbf{z}; \mathbf{O}; \mathbf{Act}; \mathbf{u}; p; \Delta; \Delta_F\}, \text{ где}$$

S – исследуемая система – Амурская область;

A – цель управления – достижение целевого вектора \mathbf{a} ;

C – стратегия управления – простое периодическое импульсное управление;

$\mathbf{z} = \{v_1 - v_{39}\}$ – расширенные фазовые переменные системы S ;

$\mathbf{O} = \{v_1, v_9, v_{14}, v_{35}, v_{36}, v_{38}\}$ – объекты управления;

\mathbf{Act} – субъект управления: региональное (областное) управление;

\mathbf{u} – управляющие воздействия: последовательность импульсов в вершину $\{v_{28}\}$; $p = 2$ – периодичность воздействия;

$\Delta = [1; 25]$ – горизонт управления;

$\Delta_F = [1; 50]$ – глубина оценки эффективности.

Сценарий № 3. Применяется групповое управление. Управленческие решения (+ 1.0) вносятся на втором, четвертом и шестом шагах моделирования в факторы «Инвестиции», «Малое предпринимательство», «Внешние факторы развития» соответственно.

Модель группового управления в данном случае имеет вид:

$$M^{IV}(S) = \{S; A; C; \mathbf{z}; \mathbf{O}; \mathbf{Act}; \mathbf{u}; p; \Delta; \Delta_F\}, \text{ где}$$

S – исследуемая система – Амурская область;

A – цель управления – достижение целевого вектора \mathbf{a} ;

C – стратегия управления – импульсное периодическое групповое управление;

$\mathbf{z} = \{v_1 - v_{39}\}$ – расширенные фазовые переменные системы S ;

$\mathbf{O} = \{v_1, v_9, v_{14}, v_{35}, v_{36}, v_{38}\}$ – объекты управления;

\mathbf{Act} – субъекты управления: совместное федеральное и региональное управление;

\mathbf{u} – управляющие воздействия: последовательность импульсных периодических воздействий с периодом $p = 2$ в вершины $\{v_1, v_{28}, v_{15}\}$;

$\Delta = [1; 25]$ – горизонт управления;

$\Delta_F = [1; 80]$ – глубина оценки эффективности.

Результаты моделирования по каждому из рассматриваемых сценариев приведены на рис. 3 – 5.

Из полученных результатов моделирования видно, что сценарий № 1 (рис. 2) полностью не удовлетворяет предложенным требованиям. При принятии предложенных управленческих воздействий СЭС не входит в стадию стабильного роста. В остальных сценариях происходит достижение поставленных целей и выход СЭС на стабильный, стационарный режим развития (рис. 3 – 4). Требуется дополнительный анализ сценариев по предложенным в п. 2.1 характеристикам сценариев.

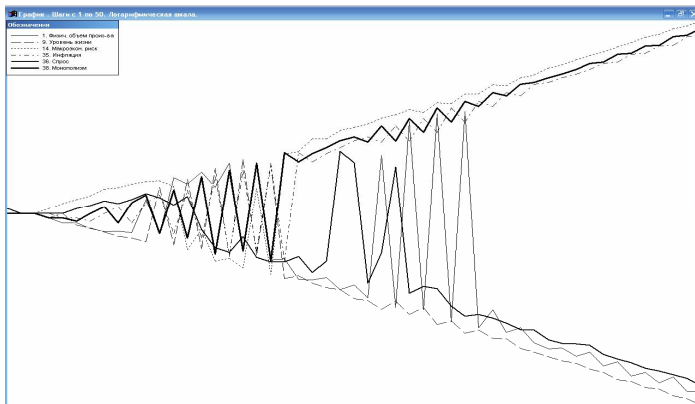


Рис. 3 – сценарий простого импульсного управления

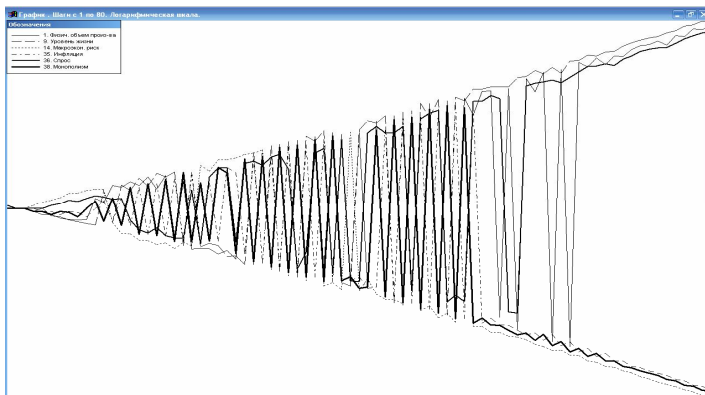


Рис. 4 – сценарий простого периодического управления

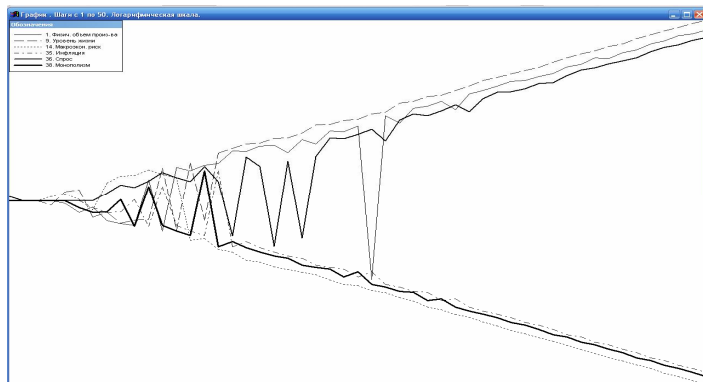


Рис. 5 – сценарий группового управления

Анализ характеристик сценариев.

Для оценки эффективности сценариев были определены следующие характеристики развития ситуаций.

1. Текущее удаление сценария \mathcal{R} от целевого вектора \mathbf{a} .
2. Минимальное удаление сценария \mathcal{R} от целевого вектора \mathbf{a} на горизонте T .
3. Число шагов до минимального удаления сценария \mathcal{R} от целевого вектора \mathbf{a} на горизонте T .

Из полученных результатов видно, что в сценарии №1 и сценарии №2 на 7 шаге наблюдается наименьшее удаление от целевого вектора. В сценарии №3 наименьшее удаление происходит на 25 шаге. Однако в сценарии №3 это удаление по величине является наименьшим из всех рассматриваемых сценариев.

4. Текущее угловое удаление сценария \mathcal{R} от вектора \mathbf{a} .

Анализ результатов показывает, что только в сценарии №3 наблюдается наименьшее угловое удаление от целевого вектора на заданном горизонте T . Это свидетельствует об эффективности данного сценария по сравнению с остальными.

В итоге приведем сравнительную таблицу результатов моделирования по этим и другим предложенным характеристикам.

Таблица 2. Сравнительная таблица результатов моделирования по характеристикам

Характеристика	Импульсное сосредоточенное управление		Групповое управление
	Сценарий №1	Сценарий №2	Сценарий №3
1. Число шагов до минимального удаления от целевого вектора	7	7	25
2. Минимальное удаление сценария от целевого вектора (условная шкала)	100	100	59
3. Число выходов за зону допустимых значений			
1. Физический объем производства	20	20	1
9. Уровень жизни	17	17	1
14. Макроэкономический риск	17	16	0
35. Инфляция	14	13	0
36. Спрос	4	5	19
38. Монополизм	15	14	0
4. Пребывание в зоне допустимых значений			
1. Физический объем производства	5	5	24
9. Уровень жизни	8	8	24
14. Макроэкономический риск	8	9	25
35. Инфляция	11	12	25
36. Спрос	21	20	6
38. Монополизм	10	11	25
5. Номер шага выхода на стационарный режим на всем промежутке			
1. Физический объем производства	показатель не удовлетворяет характеристике	65	27
9. Уровень жизни		51	15
14. Макроэкономический риск		53	13
35. Инфляция		54	16
36. Спрос		59	22
38. Монополизм		53	15
Горизонт моделирования	25	25	25

4. Заключение

На основе методологии сценарного исследования, представленной в настоящей работе, рассмотрена задача анализа эффективности методов группового управления региональной системой Амурской области. Рассчитаны три сценария развития региона: сценарий простого импульсного управления (сценарий №1), сценарий простого периодического импульсного управления (сценарий №2) и сценарий группового управления (сценарий №3). Для каждого сценария предложены модели управления. На основе предложенного набора характеристик проведен сравнительный анализ эффективности сценариев развития региона. Результаты анализа представлены в таблице 2. Вычислительный эксперимент показал эффективность группового управления по ряду характеристик.

Литература

1. АРХИПОВА Н.И., КОНОНОВ Д.А., КУЛЬБА В.В. *Сценарное исследование социально-экономических систем: синтез оптимальных сценариев* // Вестник РГГУ, 2010, в печати.
2. БУЛАНОВ В.Б., ДАШКОВА О.А., ШУЛИГИНА О.А., КОНОНОВ Д.А., ЧЕРНОВ И.В. *Сценарный анализ развития Амурской области* / Научное издание. – М.: ИПУ РАН, 2009.
3. ГЛАДКОВ Ю.М., КОНОНОВ Д.А., КРАПЧАТОВ А.И. *Сценарное исследование социально-экономических систем: методология, задачи, практика применения* // Вестник РГГУ, 2007, № 12/07. С. 100 – 119.
4. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г.. *Социальные сети. Модели информационного влияния, управления и противоборства.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.
5. КОНОНОВ Д.А. *Основы исчисления сценариев поведения сложных систем в АСУ ЧС* // Автоматика и телемеханика. № 9. 2002. С. 142 – 152.

6. КОНОНОВ Д.А. *Эффективные стратегии формирования сценариев в АСУ ЧС* // Автоматика и телемеханика. № 2. 2001. С. 170 – 181.
7. КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., КУЛЬБА В.В. *Модели и методы анализа сценариев развития социально-экономических систем в АСУ ЧС* // Автоматика и телемеханика. № 9. 1999. С. 122 – 136.
8. КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., КУЛЬБА В.В. *Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем* // Финансовая математика / под ред. Ю.М. Осипова, М.В. Грачевой, Р.М. Нижегородцева, Е.С. Зотовой. – М.: ТЕИС. 2001. С. 7 – 53.
9. КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., КУЛЬБА В.В. *Формирование и анализ сценариев развития социально-экономических систем с использованием аппарата операторных графов* // Автоматика и телемеханика. №1. 2007. С. 121 – 136.
10. КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., КУЛЬБА В.В. *Формирование региональных сценариев поведения в АСУ ЧС* // Автоматика и телемеханика. № 8. 2000. С. 155 – 167.
11. КОНОНОВ Д.А., КУЛЬБА В.В., ШУБИН А.Н. *Информационное управление: принципы моделирования и области использования* // Труды ИПУ РАН. Т. X. – М.: ИПУ РАН. 2004. С. 5 – 29.
12. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А. *Сценарное исчисление как методология анализа сложных систем* // Труды ИПУ РАН. Т. IX. – М.: ИПУ РАН. 2000. С. 16 – 34.
13. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., ЦЫГАНОВ В.В., ЧЕРНОВ И.В. *Характеристики, методы и функции информационного управления* // Информационные войны. 2009. №2. С. 22 – 35.
14. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., ЦЫГАНОВ В.В., ЧЕРНОВ И.В. *Средства и объекты информационного управления* / Информационные Войны. 2009. № 4. С. 20 – 32.

15. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., КОСЯЧЕНКО С.А., ШУБИН А.Н. *Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем.* / Серия «Системы и проблемы управления». — М.: СИНТЕГ, 2004.
16. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., ЧЕРНОВ И.В., ЯНИЧ С.С. *Сценарии управления государством (на примере Союза Сербии и Черногории)* // Проблемы управления. № 5, 2005. С. 33 – 42.
17. *Моделирование и управление процессами регионального развития* / под ред. С.Н. Васильева – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
18. *Управление и контроль реализации социально-экономических целевых программ* / под ред. В.В. Кульбы и С.С. Ковалевского. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
19. ШУЛЬЦ В.Л., КУЛЬБА В.В., ШЕЛКОВ А.Б., КОНОНОВ Д.А. *Информационное управление: поддержка стратегических проектов освоения арктического сектора. Часть 1. Методологические основы* // Национальная безопасность (ИСПИ РАН). – 2010. – № 2.
20. ШУЛЬЦ В.Л., КУЛЬБА В.В., ШЕЛКОВ А.Б., КОНОНОВ Д.А. *Информационное управление: поддержка стратегических проектов освоения арктического сектора. Часть 2. Сценарное моделирование информационных кампаний* // Национальная безопасность (ИСПИ РАН). – 2010. – № 3.
21. KONONOV D.A., KOSYACHENKO S.A., AND KUL'BA V.V. *A scenario methodology as connectability from strategy to operation in complex system* /SIC Journal, V. 10, No 4. December 30, 2001.

SCENARIO-BASED RESEARCH OF COMPLEX SYSTEMS: ANALYSIS OF GROUP MANAGEMENT METHODS

Vladimir Kulba, Institute of Control Sciences of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences,

professor (65, Profsoyuznaya st., Moscow, (495)334-90-09, kulba@ipu.ru).

Dmitry Kononov, Institute of Control Sciences of RAS, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, associate professor (65, Profsoyuznaya st., Moscow, (495)334-89-59, dakref@umail.ru).

Igor Chernov, Institute of Control Sciences of RAS, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, associate professor (65, Profsoyuznaya st., Moscow, (495)334-89-59, ichernov@gmail.com).

Pavel Roshchin, Institute of Control Sciences of RAS, post-graduate student (65, Profsoyuznaya st., Moscow, (495)334-89-59, pavel.roshchin@gmail.com).

Olga Shuligina, Institute of Control Sciences of RAS, post-graduate student (65, Profsoyuznaya st., Moscow, (495)334-89-59, shuliginaoa@mail.ru).

Abstract: Main components of scenario-based research methodology are described: the scenario system, the system of scenario analysis, the system of scenario synthesis, basics of scenario calculus. Verbal and formal definitions of a scenario and of its formation stages are given. Application is considered of complex systems' scenario-based research methodology to the analysis of effectiveness of group management in the socio-economic system of the Amur region of Russian Federation.

Keywords: scenario-based research, complex system, group management, regional management system, the Amur region of Russian Federation.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Д. А. Новиковым*