

УДК 021.8 + 025.1
ББК 78.34

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В РАЗВИТИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Авдеева З.К.¹, Коврига С.В.²

(Институт проблем управления РАН, Москва)

В статье предложена схема диагностирования проблем развития сложных систем, основанная на построении когнитивной карты развития исследуемой системы, и поддерживающие ее методы, применение которых позволяет: исследовать проблемы различных типов, связанных с взаимодействием активных субъектов, неблагоприятным влиянием внешней среды и структурными особенностями системы; рассматривать проблемы в комплексе и определять приоритеты в решении проблем в зависимости от причин их возникновения.³

Ключевые слова: когнитивная карта, развитие сложных систем, проблемная ситуация, активные субъекты, диагностирование

Введение

Современное управление целенаправленным развитием системы различной природы (бизнес, социально-

¹ Зинаида Константиновна Авдеева, с.н.с, доцент НИУ ВШЭ (avdeeva@ipu.ru).

² Светлана Вадимовна Коврига, н.с. (kovriga@ipu.ru)

³ Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 12-07-311-31)

экономическими, полирегиональными и др.) включает в себя ряд этапов, таких как

– целеполагание (что не так в текущем состоянии, что хотим достичь с учетом складывающихся условий) и формирование стратегии,

– стратегическое и далее тактическое планирование (что сделать, чтобы достичь целей),

– исполнение (как сделать, организовать планируемое?),

– контроль (чего удалось достичь)

– и коррекция планов, представлений о системе, целях развития и пр.

В классике управление развитием системой чаще всего рассматривается как выбор наилучшего (в некотором смысле) управления среди некоторых вариантов (пространства альтернатив).

При этом под управлением понимается целенаправленное воздействие на те или иные компоненты системы или ее процессы. В типовой постановке предполагается заданным некоторое целевое состояние или цель, однако целеполагание само по себе является сложной задачей и относится к одному из основных этапов разработки стратегии развития системы (Ансофф, 1999). Оно подразумевает выявление принципов образования целей и разработку наиболее эффективных механизмов их достижения путем анализа проблемных ситуаций и выявления благоприятных возможностей со стороны внешней среды и сильных сторон СС (Авдеева, 2005; Авдеева, Коврига и др., 2007) при:

- неопределенности, выражаемой как в неизвестности внешних условий, так и в многообразии вариантов складывающихся условий;
- неполноте и неоднородности информации, которая выражается как в недостатке количественной информации о системе, так и в многообразии источников информации (количественной, текстовой, экспертной и пр.), анализ которой позволяет выстраивать более или менее целостное представление о развитии системы;

- многообразии вариантов развития событий.

Перечисленные условия обуславливают необходимость разработки и исследования экспертно-формальных методов анализа проблемных ситуаций в развитии исследуемых систем, рассматриваемых как отклонение от их целенаправленного развития, в основе которых лежит аппарат представления разнородных знаний и информации посредством когнитивных карт (моделей представлений таких знаний о развитии системы в виде структуры причинно-следственных связей между факторами).

Спектр приложений когнитивных карт простирается от концептуального моделирования, нацеленного на улучшение структуризации и понимания проблемы путем построения общего представления о ней, до более типичного моделирования динамики слабоструктурированных ситуаций для решения стратегических проблем [3,5,8,11,17] при управлении сложными системами. В частности, функциональные когнитивные карты применяются для моделирования супервизора производственной системы [57], создания причинно-следственных моделей, основанных на знаниях, для технологического управления [33], моделирования стратегий социально-экономических систем [3, AvdKov, MaxKov], анализа последствий аварийных режимов работы сложных систем [48] и ряд других.

При анализе проблемы важно ее правильно структурировать, т.е. выделить ее симптомы, причины и следствия. Симптомы - это некоторые видимые проявления проблемы, которые привлекают к ней внимание, но объяснить не могут. Причины - это исходные движущие силы, породившие проблему. Следствия - это результаты, к которым приводят данные проблемы. Если следствия обуславливают необходимость обязательного решения проблемы, то симптомы полезны тем, что показывают первые признаки ее наличия. Воздействовать же надо на причины, породившие проблему [АвдКов]. Также важнейшим элементом структурирования проблемы является выделение активных субъектов ситуации (АСС). АСС – субъект, влияющий на на-

правленность изменения ситуации через реализацию своих интересов и противодействие интересам других субъектов ситуации благодаря имеющимся у него рычагам управления (активное управление ситуацией) либо благодаря использованию возможностей вне поля его активности (пассивное управление ситуацией). Различные точки зрения, убеждения и интересы АСС приводят к разному видению направлений развития системы.

Предлагаемый в работе подход основан на формализации и систематизации процесса работы с проблемной ситуацией путем представления знаний о развитии системы в виде когнитивной карты и ее анализе с целью выявления проблемных факторов, определения структуры проблем (симптомов, причин, АСС) и формирования приоритетных направлений их решения. При этом проблемная ситуация рассматривается как отклонение развития системы от желательного.

Подход состоит из следующих этапов:

- формализация знаний экспертов или знаний, извлекаемых из доступных информационных источников, о развитии системы в виде когнитивной карты с использованием различных методов структуризации (например, Авдеева, Коврига, 2010);

- формирование модели развития системы на основе когнитивной карты, которая включает определение начальных условий, целевого образа ситуации, активных субъектов с их интересами и рычагами управления;

- диагностирование проблем развития системы, которое основано на применении ряда базовых методов структурного анализа модели развития системы (Максимов, Максимов, Коврига) и процедур выявления проблемных факторов, основанных на анализе динамики ситуации. Общая схема диагностирования приведена на рис 1.

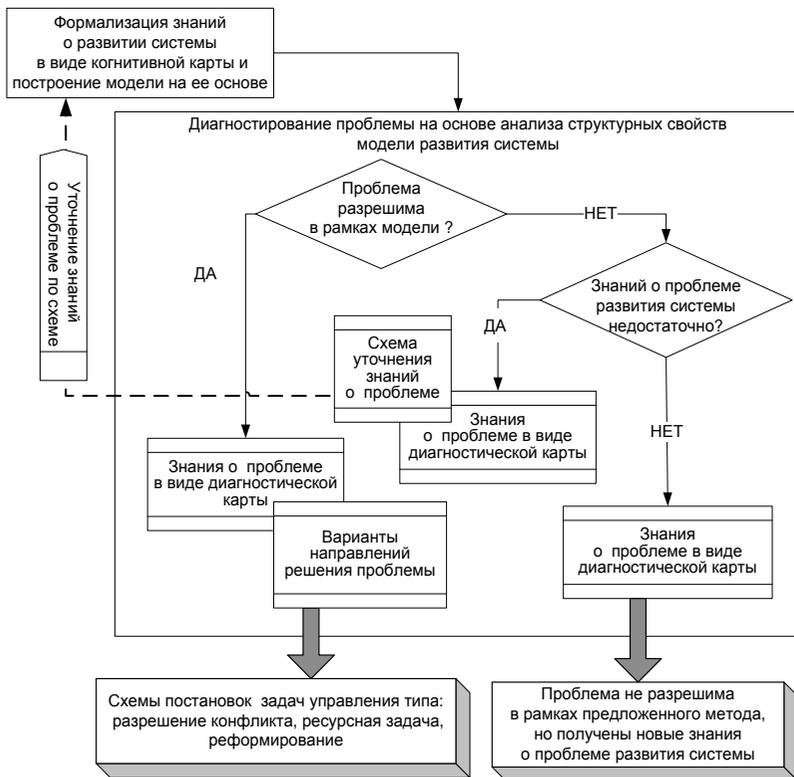


Рис.1. Диагностирование проблем на основе анализа модели развития системы

Результатом диагностирования проблем на основе анализа модели развития системы являются:

- диагностическая карта проблемы, в которой определены факторы-симптомы, факторы-причины, активные субъекты, связанные с проблемной ситуацией;
- варианты направлений разрешения проблемы (конкретные сценарии) либо знания о том, почему проблема не разрешима.

Понятие разрешимости проблемной ситуации формулируется в рамках построенной модели развития системы. Если в модели можно найти такие факторы, воздействие на которые, приведет к коррекции отклонения в сторону целенаправленного развития ситуации, то проблема разрешима в рамках модели развития системы.

Применение предложенного подхода позволяет поддержать решение важной управленческой задачи по целеполаганию развития системы в части формирования и анализа целей развития, так как выявленные проблемы становятся задачами управления развитием системы.

1. Модель развития системы на основе функциональной когнитивной карты K_{F^1}

Построение модели развития СС базируется на структуризации знаний о развитии СС в виде знаковой (первичной) когнитивной карты и последующем выборе соответствующего типа функциональной карты (Abramova et. al., 2011) в зависимости от тех или иных свойств, присущих исследуемой ситуации и поставленных формальных задач. Этап структуризации является ключевым для получения новых знаний о развитии ситуации, но остается за рамками данной статьи (некоторые методы структуризации и проблемы этого этапа изложены в Авдеева, Коврига, 2010). Одним из ключевых элементов при формировании стратегии развития СС является выявление и анализ проблемных ситуаций на формальной когнитивной карте, рассматриваемых как отклонение развития СС от желательного.

Модель развития СС на основе функциональной карты, включает кортеж параметров

$$M_S = \langle K_{F^1} (X = (X_{int} \cup X_{int}), A, f_{K_{F^1}}); AS^p(H^p_c, H^p_u); C(X^C, R(X^C)); X(0); G \rangle,$$

где K_{F^1} – функциональная когнитивная карта, характеризующая развитие СС, AS^p – активные субъекты, влияющие на СС;

C – целевой образ СС, который определяет желательные направления изменения системы с позиции субъекта управления и формально представляется как

$$C = (X^C, R(X^C)), \quad (1)$$

где X^C – подмножество целевых факторов, $X^C \subseteq X$ (X – множество факторов модели);

$R(X^C)$ – вектор оценок динамики факторов (ОДФ), определяющий желательные направления изменения целевых факторов.

$$R(x_i^C) = \begin{cases} +1, & \text{если желательно увеличение фактора } x_i^C \\ -1, & \text{если желательно уменьшение фактора } x_i^C \end{cases} \quad (2)$$

$X(0)$ – вектор начальных значений (вектора),

G – вектор управляющих воздействий (вектора).

При структуризации знаний о развитии СС важную роль играют АСС, которые оказывают влияние на формирование целей развития СС через реализацию своих интересов и противодействие интересам других субъектов. При этом АСС может предпринимать активное управление ситуацией благодаря имеющимся у него рычагам управления, либо пассивное управление ситуацией благодаря использованию возможностей вне поля его активности. На когнитивной карте АСС, AS_p , задан на подмножестве факторов $H_p \subset X = x_i, i = 1, \dots, n$, куда входят факторы H^p_c , входящие в область его интересов, и факторы H^p_u , которыми он управляет. (Авдеева, Коврига и др., 2003; Коврига, Максимов, 2005)

Среди разнообразия формальных когнитивных карт (Авдеева, 2009; Abramova et.al. 2008; Abramova et. al. , 2011 – IFAC), применяемых для решения тех или иных задач анализа и моделирования развития СС для предлагаемого подхода целесооб-

разно использовать функциональную когнитивную карту⁴, обладающие следующими свойствами:

- допустимость структурного анализа интегрального взаимовлияния между факторами;
- выразимость управленческого воздействия;
- линейность для обеспечения возможности решения некоторых «слабых» обратных задач, в которых цель задается в виде направления изменения, а не фиксированного значения.

Теоретическая модель (некоторый тип функциональной карты) формально определяет правила изменения как отдельных факторов-переменных карты, так и общую характеристику динамических особенностей моделируемой ситуации на основе этой карты.

В функциональных картах, на языке которой представимы знания о развитии СС и возможно решать задачи анализа таких ситуаций, в отличие от других когнитивных карт основным функциональным элементом является уже не фактор, а функциональный узел (фактор со всеми факторами прямого влияния на него) (Абрамова et. al., 2011). Приведем описание функциональной когнитивной карты линейного типа, на примере которой излагается основные идеи предлагаемого подхода к диагностированию проблем развития СС. В карте типа K_{F-1} допустимы следующие типы факторов: *условно-независимые* – те, на которые не влияют другие факторы карты и могут изменяться лишь из-за внешних воздействий⁵, и смешанные, изменение которых может быть обусловлено изменением факторов-причин и внешним воздействием g . На рис. 2 (а,б) соответственно, приведены их структурные модели.

⁴ Для упрощения изложения далее по тексту вместо функциональной когнитивной карты используем когнитивная карта.

⁵ При построении карты этими факторами ограничивается рассмотрение ситуации.

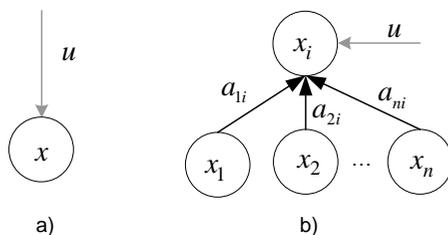


Рис. 2. Допустимые типы факторов в картах типа K_{F^1}

Пусть карта K_{F^1} задана множеством факторов $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ и множеством XI прямых причинно-следственных влияний факторов на факторы. Прямому причинно-следственному влиянию можно поставить в соответствии различные параметры – переменные или константные, которые могут иметь различную интерпретацию. В рассматриваемом типе карты такому влиянию ставится в соответствие вес влияния (положительного или отрицательного), в частности вес влияния фактора i на фактор j , $a_{ij} \in [-1; 1]$, числовому значению которого часто соответствует значение в вербальной шкале типа «сильно», «слабо». Вопросы выбора весов посвящены отдельные исследования (Абрамова, Воронина, 2011), т.к. этот параметр содержательно связан с правилом оценки влияний факторов на фактор и служит источником риска для достоверности результатов. Оценки взаимовлияний причинно-следственных факторов удобно представлять в виде матрицы A размера $n \times n$.

Факторам X приписаны переменные $X(t)$, значения которых задаются в шкале $[-1, 1]$ с соответствующим вербальным значением в терминах прироста (типа сильно/ слабо выросло). Время в описываемой модели условное, не имеющее предметной интерпретации. На факторы карты допускается подача внешних воздействий U (не обусловленных прямыми влияниями от смежных факторов), задаваемые в шкале $[-1, 1]$ с соответствующим вербальным значением в терминах прироста.

Теоретическая модель карты типа K_{F^1} определяет функцию $f_{K_{F^1}}$, которая задает правило изменения смешанного фактора x_i карты в момент $(t+1)$ с учетом его значения в предыдущий момент времени⁶, изменения значений факторов-причин и внешнего воздействия в виде импульса при $t=0$ (Максимов, Корноушенко, 1998), как:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in I_i} a_{ij} x_j(t) - x_j(t-1) + g_i(t), \quad (3)$$

где $i=1, \dots, N$; I_i – индексы факторов, оказывающих прямое влияние на фактор x_i , вид функции $f_{K_{F^1}}: X, A, G: [-1, 1]^n \times [-1, 1]^n \rightarrow R$.

В случае условно независимых факторов переменные вырожденные, то есть при любом t равны константе.

Влияния, как прямые, так и опосредованные (косвенные, «отдаленные»), которым подвержен каждый фактор когнитивной карты типа K_{F^1} с функцией вида (3), можно определить с помощью матрица интегральных влияний Q , являющейся оценкой сумма бесконечного ряда A^t .

$$Q = \lim_{t \rightarrow \infty} (E_N + A + A^2 + \dots + A^t) \cong E_N - A^{-1} \quad (4)$$

На рис. 3 для пары факторов x_i, x_j показаны все (прямая и опосредованные) влияния x_i на x_j .

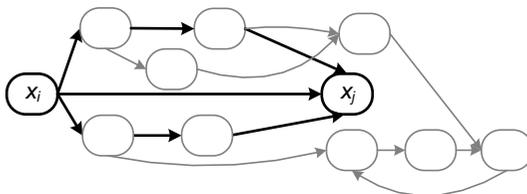


Рис. 3. Пример условной карты со структурой взаимовлияний

⁶ модельного

Исследованиям сходимости этого ряда посвящены многочисленные исследования специалистов по дискретным динамическим системам (например, Робертс, 1976; Корноушенко, Максимов, 1998). Необходимое и достаточное условие существования предела состоит в том, что собственные значения результирующей матрицы содержатся внутри окружности единичного радиуса на комплексной плоскости. Если матрица A не удовлетворяет этому условию, то некоторые исследователи предлагают проводить «нормировку» матрицы A с помощью стабилизирующий множителя $0 < k_{стаб} < 1$, т.е. $Ak_{стаб}$. Эта процедура приемлема с некоторыми оговорками и аналогична смене масштаба, т.е. все влияния пропорционально уменьшаются. Заметим, что в модели развития на основе карты типа $K_{F,1}$ возможны и неустойчивые состояния, не имеющие конечных значений ни за конечное время, ни в асимптотике. В рамках изложения метода ограничимся рассмотрением устойчивых состояний и предположим, что начальные данные подобраны таким образом, что мы имеем дело с этим классом состояний, т.е. мы ограничиваемся когнитивными картами, для которых сумма ряда A^t сходится.

Предлагаемый подход базируется на методе структурно-целевого анализа когнитивной карты (Корноушенко, Максимов, 2001; Коврига, Максимов, 2005), в котором для выявления противоречий между факторами используется показатель ОДФ, R (2).

Определение 2. Пусть есть пара факторов x_i и x_j , а соответственно r_i и r_j -показатель ОДФ факторов. Между ними есть противоречие, если :

$$r_i \times r_j \neq \text{sign}(q_{ij}) \quad (4.1)$$

где q_{ij} – элемент матрицы Q , характеризующий интегральное взаимовлияние между факторами.

Суть противоречия между парой факторов состоит в том, что изменение одного фактора в желательном направлении (в соответствии с его ОДФ) приводит к нежелательному измене-

нию второго фактора (т. е. к изменению в направлении, противоположном установленной для него ОДФ) через связывающую их структуру взаимовлияний в когнитивной карте (рис. 3).

В рамках заданного типа карты K_{F_1} динамика развития СС определяется через вектора результирующих значений факторов в некоторый момент времени T .

Зная начальное состояние ситуации $X(0)$, и, принимая, что $x(t)=0$ при $t < 0^7$, $G(0)$ - вектор импульсных воздействий со значением внутри интервала $[-1, 1]$, подаваемое в момент $t=0$ на управляющий фактор x , динамика развития СС характеризуется вектором $X(t)$:

$$X(t) = QX(0) + QBU, \quad (5)$$

где $U = (u_1, \dots, u_l)^T$ - внешний входной вектор, а $B = (0, 1)$ - матрица размера $p \times n$, ненулевые элементы которой указывают на номера корректируемых координат начального состояния $X(0)$.

2. Диагностирование проблемной ситуации в развитии системы

Проблемная ситуация в развитии СС может быть обусловлена:

- неблагоприятными условиями внешней среды (социальной, политической, экономической и пр.);
- недооценкой слабых сторон СС;
- недостаточным количеством управленческих ресурсов;
- противоречиями в интересах активных субъектов ситуации, возникающими при их взаимодействии.

⁷ По сути, это допущение можно трактовать следующим образом: достаточно долгое время значение фактора не менялось.

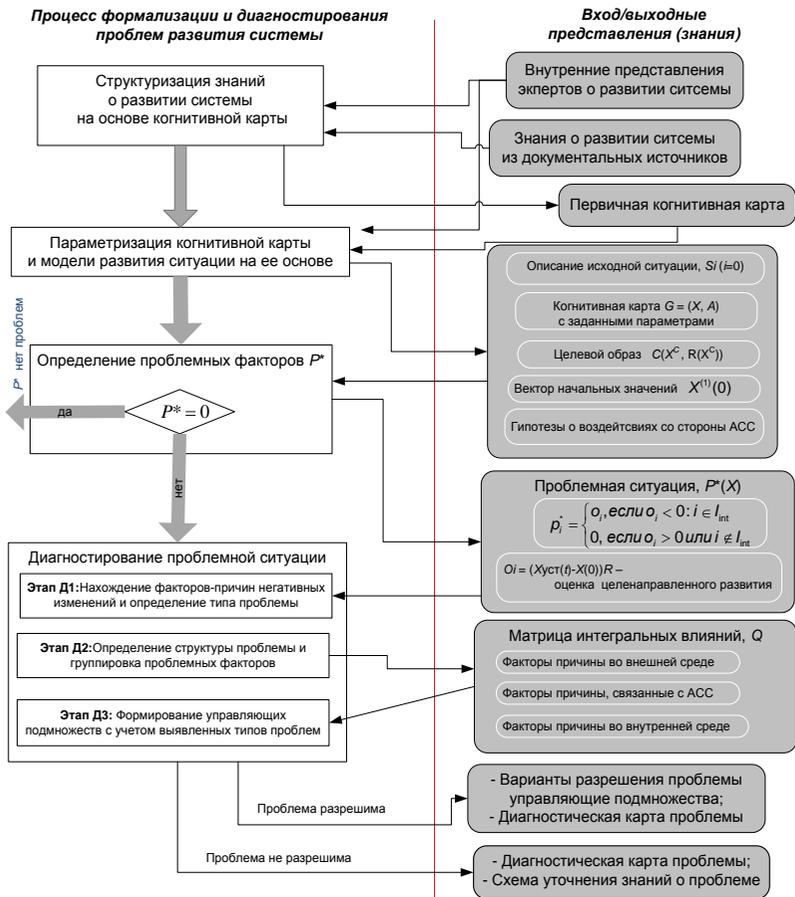


Рис. 4. Конкретизированная схема структурирования и диагностирования проблемной ситуации в развитии системы

Диагностирование проблемной ситуации опирается на анализ структурных свойств когнитивной карты и включает этапы (рис. 4.) :

Д0. Определение проблемных факторов P^* .

Д1. Нахождение факторов-причин негативного влияния на проблемные факторы и определение типа проблемы.

Д2. Определение структуры проблемы и группировка проблемных факторов.

Д3. Формирование управляющих подмножеств с учетом выявленных типов проблем.

В ходе выполнения этапов диагностирования формируется *диагностическая карта проблемы*.

Определение 2: Диагностической картой проблемы называется кортеж вида $K=(P^*, L_{res}, T(P^*), As^p)$, где

P^* - проблемные факторы;

$$L_{res} = (\{X_{res}^{int} = X^{res} \cup X^{int}\}; \{X_{res}^{ext} = X^{res} \cup X^{ext}\}; \{X_{res}^{as} = X^{res} \cup X^{as}\})$$

– подмножество факторов-причин негативного влияния на проблемные факторы, сгруппированные по трем областям: внешняя среда, внешняя среда, активные субъекты;

$T(L_{res})$ – тип проблемы, определяемый по L_{res} , исходя из сочетания подмножеств факторов в L_{res} см. раздел 2.2., например, проблема во внутренней среде, если $T(L_{res})=1$, если $L_{res} = (\{X_{res}^{int} \neq \emptyset\}; \{X_{res}^{ext} = \emptyset\}; \{X_{res}^{as} = \emptyset\})$;

As^p - активные субъекты, участвующие в проблеме .

2.1 ЭТАП Д0. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ФАКТОРОВ

На данном этапе в соответствии с определением 2 оценивается целенаправленность изменения ситуации $O(S_r)$ и определяется проблемность развития системы.

Определение 3: Состояние системы называется проблемным, когда наблюдается отклонение ее развития от желательного направления, заданного вектором ОДФ, $P^* = \{p_i^*\}$, в котором каждый элемент

$$p_i^* = \begin{cases} o_i^r, & \text{если } o_i^r < 0; i \in I_{int} \\ 0, & \text{если } o_i^r > 0 \text{ или } i \notin I_{int} \end{cases}, \quad (6)$$

где p_i^* – проблемные факторы когнитивной карты ситуации;

o_i^r – оценка целенаправленного развития по фактору x_i ,
 $o_i = r_i \Delta x_i = x_i t - x_i 0 \cdot r_i$, где $r_i = R(x_i)$ – ОДФ фактора,
 $i = \overline{(1, n)}$;

I_{int} – индексы факторов внутренней среды, характеризующих состояние системы.

2.2. ЭТАП Д1. НАХОЖДЕНИЕ ФАКТОРОВ-ПРИЧИН НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ПРОБЛЕМНЫЕ ФАКТОРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОБЛЕМЫ

Нахождение факторов-источников (причин) негативного влияния на проблемные факторы $P^* = \{ p_i^* \}$ и их группировка. Негативное влияние некоторого фактора на P^* состоит в том, что его изменение приводит к нежелательному изменению хотя бы одного фактора из P^* .

Для нахождения факторов-источников (причин) негативного влияния на проблемные факторы $P^* = \{ p_i^* \}$ и выделения из P^* вектора целей $Y^* = \{ y_i^* \} \subseteq P^*$, применяется структурно-целевой анализ [Корно, Макс_Коврига2005] или метод построения подграфа причин.

При структурно-целевом анализе устанавливается наличие противоречия между проблемным фактором и фактором-источником интегрального влияния на него (4.1). Если противоречие есть, то фактор-источник интегрального влияния является причиной негативного влияния на проблемный фактор:

$$r_i \neq \text{sign } q_{ki} \times \text{sign } x_k, \quad \forall x_k \in X, \quad \forall p_i^* \in P^*, \quad (7)$$

где r_i – ОДФ проблемного фактора p_i^* , q_{ki} – интегральное влияние фактора x_k на p_i^* .

Метод построения графа причин GR состоит в следующем (Авдеева, Коврига, 2011).

1. В рамках модели развития системы, $M(K, X(0), U, C)$, строится матрица переходного процесса $A_p [n \times n]$.

2. Для каждого проблемного фактора p_i по строке i определяется такт m формирования отклонения от целенаправленного развития, заданного целевым образом, C .

Пусть $X(m)$ – вектор значений факторов на m -ом такте моделирования ситуации, а x_j – проблемный фактор. Тогда такт k формирования отклонения определяется с помощью оценки $dx_j(m) = x_j(m) - x_j(m-1)$ для $m=m-1, \dots, 2$:

- при $r_j=1$ (ОДФ фактора x_j) номер «негативного» такта определяется как число k из условия $sign(dX(k+1)_j) = -1$ и $sign(dX(k)_j) \neq -1$;
- при $r_j=-1$ определяется из условия $sign(dX(k+1)_j) = 1$ и $sign(dX(k)_j) \neq 1$.
- при $r_j=0$ считаем, что любое развитие ситуации для ЛПП является приемлемым и формально можно положить значение $k=0$.

3. На основе анализа подматрицы $Ap_{[k-1 \times n]}$, элементы которой характеризуют наличие пути длиной k между факторами i и j , выделяются факторы, влияющие на проблемный фактор на $k-1$ шаге. Таким образом, для каждого элемента $p_i^* \in P^*$ выбираются факторы-причины $geas(p_i^*) = \{x_{m^i}\}$, где m^i – номера факторов когнитивной карты, влияющие на i -й фактор на $k-1$ такте.

4. Для каждого проблемного фактора строится подграф причин $GR(p_i^*)$.

Далее, после выявления факторов-источников негативного влияния, они группируются по области влияния на (рис 5):

- внутренние факторы негативного влияния;
- внешние факторы негативного влияния (факторы-угрозы внешней среды, Threats $\{Th_i\}$),
- факторы, обусловленные влиянием других АСС $\{H_i^{Th}\}$.

В связи с этим можно определить *три типа проблемы*:

- проблема внутренней среды T^{int} ;
- проблема внешней среды T^{out} ;
- проблема конфликтной среды T^{conf} .

Нахождение факторов-источников (причин)
негативного влияния на P^* и их группировка

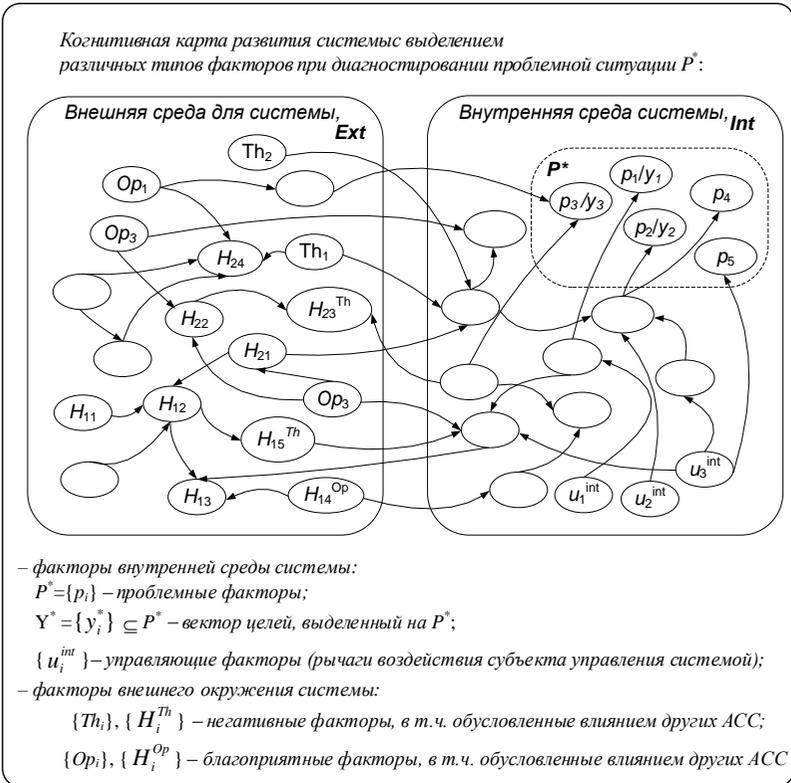


Рис. 5. Общая схема определения типа проблемы.

При этом проблема считается однородной, если она обусловлена причинами только одной из перечисленных групп факторов негативного влияния. Предложенный подход проработан для однородных проблем. Разнородные проблемные ситуации, причины которых обусловлены сочетанием факторов негативного влияния из различных групп, являются предметом дальнейших исследований и требуют введения меры негативного воздействия той или иной группы факторов, а также развития методов анализа разрешимости ситуации.

2.3. ЭТАП Д2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ

Этап определения структуры проблемной ситуации связан с анализом подграфов причин проблемных факторов $p_i^* \in P^*$, полученных на предыдущем этапе, с целью определения взаимосвязанности между этими факторами для выбора приоритетов и стратегий их решения.

Структура проблемной ситуации представляется в виде общего графа причин G^{reas} , который наглядно позволяет выделить взаимосвязи между подграфами причин отдельных факторов. Схематический пример графа G^{reas} для проблемной ситуации $P^* = \{p_1^*, p_2^*, p_3^*\}$ приведен на рис. 6. В данном примере G^{reas} включает 3 подграфа причин:

- $G_{sub}^1 = (\{x_1, x_2, x_3\}, \{g_{11}, g_{21}, g_{31}\}, p_1^*)$,
- $G_{sub}^2 = (x_4, g_{42}, p_2^*)$,
- $G_{sub}^3 = (p_2^*, g_{23}, p_3^*)$.

При этом из структуры G^{reas} видно, что фактор x_4 является не только причиной негативного влияния на фактор p_2^* , но и косвенной причиной негативного влияния на фактор p_3^* , т.е. причина порождает последовательность проблем. Могут быть случаи, когда причина порождает параллельно несколько проблем. Естественно предположить, что приоритет решения определяется именно для проблем, которые связаны такого рода зависимостями, т.к. нахождения рычагов воздействия на причину будет способствовать решению сразу нескольких связанных проблем.

Полученная структура проблемной ситуации P^* отражает не только взаимосвязи между проблемами, но также типы факторов-причин негативного влияния на p_i^* из P^* (типы проблем), которые определяются на предыдущем этапе Д1 (разд. 2.2).

Построение и анализ общего графа причин G^{reas} для проблемной ситуации P^* позволяет выбирать не только различные приоритеты, но и стратегии решения проблем. В частности, мож-

но руководствоваться стратегией решения в первую очередь тех проблем p_i^* из P^* , которые согласованы (не противоречивы)⁸ между собой. Тем самым на их основе формируются вектора целей $Y^* = \{y_i^*\} \subseteq P^*$ для решения задачи нахождения согласованных управлений по достижению Y^* . Согласованность управлений означает, что любая y_i^* из Y^* под действием вектора управлений изменяется в желательном направлении.

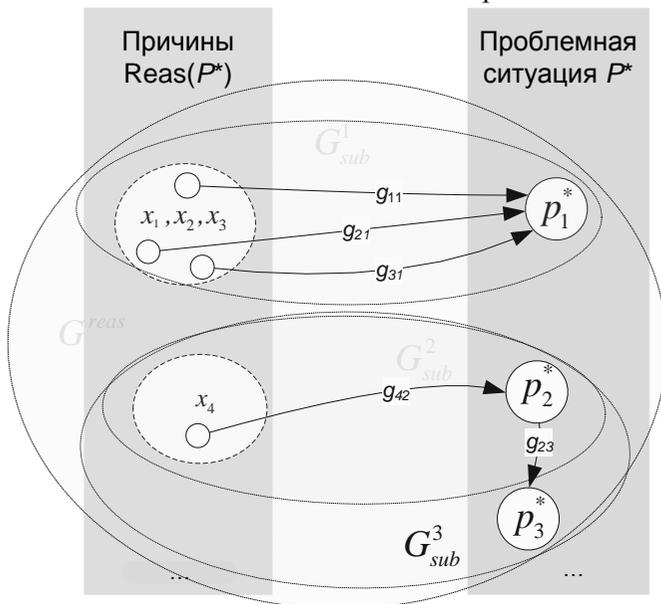


Рис. 6. Схематичный пример построения графа причин для проблемной ситуации $P^* = \{p_1^*, p_2^*, p_3^*\}$

⁸ Понятие противоречия между парой факторов введено в разд. 1 содержательно и формально в виде (4.1)

2.4. ЭТАП ДЗ. ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПОДМНОЖЕСТВ С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ТИПОВ ПРОБЛЕМ

С учетом выявленной структуры проблемной ситуации и типов отдельных проблем в ней на данном этапе проводится анализ модели развития СС с целью определения факторов, благоприятно влияющих на разрешение проблемной ситуации, т.е. таких факторов, воздействия на которые приводит к коррекции отклонения. Нахождение таких управляющих подмножеств является необходимым компонентом стратегии решения проблем.

Для определения подмножества возможных управляющих факторов U^* , на основе которого формируются векторы управлений, предлагается ряд методов (или их сочетание): структурно-целевой анализ, SWOT-анализ на когнитивной карте, подход к выявлению конфликтности интересов при взаимодействии нескольких АСС (подробно они изложены в [Авдеева, Коврига, 2010]). Основная идея этих методов состоит в нахождении таких факторов в когнитивной карте, изменение которых противодействует факторам-причинам проблем и способствует изменению проблемных факторов в желательном направлении. Все эти методы основаны на анализе структурных свойств модели развития СС.

Результатом этапа ДЗ является подмножество возможных управляющих факторов U^* , способствующих достижению Y^* (желательного изменения состояния ситуации).

При формировании U^* выбор метода анализа структурных свойств модели целесообразно осуществлять исходя из действия:

- механизмов противодействия факторам-источникам негативных влияний на Y^* : ликвидация и/или компенсация;
- механизмов управления субъекта управления, с чьей позиции разрешается проблемная ситуация: активное или/и пассивное управление.

Благодаря механизму ликвидации обеспечивается опосредованное влияние на достижение вектора Y^* путем устранения или ослабления факторов-причин негативного влияния на Y^* .

Механизм компенсации лишь нивелирует воздействие негативных факторов. Он направлен на выявление факторов благоприятного влияния на Y^* , изменение которых способствует желательному изменению Y^* в условиях сохраняющегося негативного влияния факторов-причин проблем.

Подмножество U^* с точки зрения субъекта управления может формироваться из области его активного управления и/или области пассивного управления.

Активное управление подразумевает применение собственных рычагов управления $\{U_i^{int}\}$ для достижения поставленных целей (например, внутренние рычаги управления руководства СС).

Пассивное управление предполагает использование возможностей вне поля активности субъекта управления. Например, это может быть использование факторов благоприятного влияния внешней среды (**O**pportunities $\{Op_i\}$ или факторов влияния других АСС, $\{H_i^{Op}\}$).

Сформированное подмножество U^* является основой для последующего выбора векторов управлений $U_j^* \subseteq U^*$.

Таким образом, результатом диагностирования проблем (рис. 1) является:

1) Диагностическая карта проблемной ситуации, определяющая структуру проблемной ситуации и типы отдельных проблем в ней.

2) В случае разрешимости проблемной ситуации на модели СС⁹ является вектор непротиворечивых целей $Y^* \subseteq P^*$ и подмножество возможных управляющих факторов U^* для выбора векторов управлений $U_j^* \subseteq U^*$, способствующих изменению Y^* в желательном направлении.

3) В случае неразрешимости проблемной ситуации в рамках модели развития СС по диагностической карте можно (1) сформировать так называемую *схему уточнения знаний* для последующего уточнения знаний о проблемной ситуации, которые не были учтены при построении модели СС на основе выбранного типа когнитивной карты либо (2) сделать вывод о неприменимости предложенного подхода к поставленной задаче диагностирования проблем в развитии сложной системе (с учетом выбранного типа теоретической модели для формализации).

3. Пример применения диагностирования проблемной ситуации в развитии некоторого региона

Предложенная схема диагностирования проблем развития СС была применена в ряде прикладных работ, в частности, для анализа проблем:

- взаимодействия транснациональной компании с государством (ОАО «Газпром»);
 - развития региона (Самарская область);
 - развития потенциала города (г. Кронштадт);
 - развития бизнес-системы;
 - развития бизнеса на базе анализа бизнес-плана
- и подтвердила свою работоспособность.

⁹ Речь идет о конкретной модели развития системы, построенной на основе выбранного типа функциональной когнитивной карты (теоретической модели).

В рамках выполнения перечисленных работ при диагностировании были обнаружены однородные проблемы, т.е. причины негативного изменения ситуации относились к одному из выделенных типов. В частности, для региональной системы было показано, что отклонение от целенаправленного развития было связано с неэффективным управлением, в случае анализа развития транснациональной компании достижению целей компании мешала конфликтная ситуация.

Далее представлен один из результатов диагностирования проблем в развитии г. Кронштадта в несколько упрощенном виде (без отдельных деталей и итераций) для демонстрации предложенной схемы диагностирования.

1) *Выявление проблемных факторов.* По результатам анализа целенаправленного развития (табл. 1) выявлены проблемные факторы: 15 – «Объем инвестиций», 16 – «Темпы развития экономики города», 17 – «Уровень развития демографического потенциала», 19 – «Экологическая безопасность», $P^* = \{15, 16, 17, 19\}$.

Таблица 1. Проблемные факторы в развитии ситуации относительно целевого образа руководства

N	Название фактора	X(0)	ОДФ	S ⁰	S ¹	O(S ⁰)	O(S ¹)
1	Уровень развития социальной инфраструктуры	0	1	0	0,1	0	0,1
14	Уровень жизни населения города	0	1	0,2	0,6	0,2	0,4
15	Объем инвестиций	0	1	0,1	-0,6	-0,1	-0,5
16	Темпы развития экономики города	0,2	1	0,1	-0,6	-0,1	-0,7
17	Уровень развития демографического потенциала	-0,2	1	-0,2	-0,3	0	-0,1
18	Бюджетная обеспеченность	0,2	1	0,4	0,2	0,2	-0,2
19	Экологическая безопасность	-0,2	1	-0,4	-0,8	-0,2	-0,4

2) *Выявление факторов-причин негативного влияния на проблемные факторы и определение типа проблем.* На основе анализа структурных свойств модели развития г. Кронштадта,

опираясь на метод построения графа причин GR (разд.2.2), были выявлены факторы-причины негативного влияния на проблемные факторы из P^* . На рис. 7 для каждого проблемного фактора приведен соответствующий подграф причин G_{sub}^i .

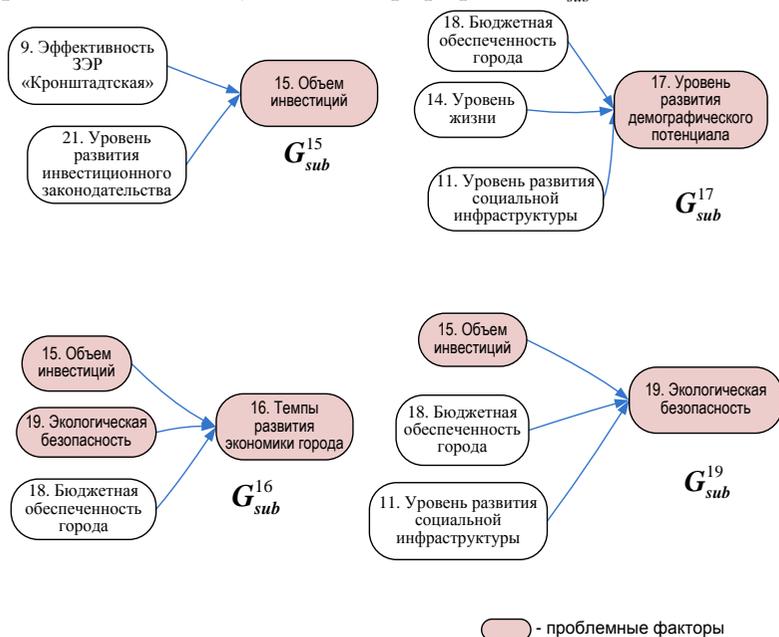


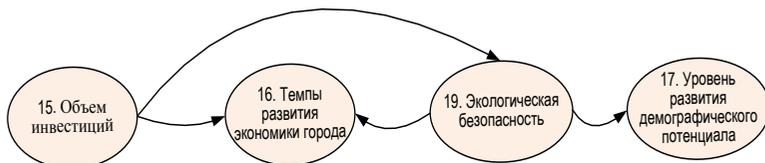
Рис. 7. Фрагмент подграфа причин проблемной ситуации $P=\{15,16,17,19\}$, обусловленных факторами внутренней среды X_{int}

Как показал анализ, все проблемы однородные, т.к. все причины обусловлены действием факторов внутренней среды X_{int} .

3) Структура проблемной ситуации.

По результатам анализа проблемный фактор 17 имеет пересечение с другими проблемными факторами, как в причинах, так и в факторах благоприятного влияния на ПС, поэтому предполагается, что отклонение на этом факторе корректируется, если в качестве вектора целей в развитии СС для последующе-

го выбора управляющих подмножеств необходимо выбрать $Y(19, 15, 16)$.



Целью данного этапа является определение взаимосвязанности между проблемными факторами для выбора приоритетов и стратегий их решения. Структура проблемной ситуации приведена на рис. 8 в виде общего графа причин $G^{reas} = G_{sub}^{15} \cup G_{sub}^{16} \cup G_{sub}^{17} \cup G_{sub}^{19}$.

Из графа G^{reas} видно, что проблемы p_{15}^* , p_{16}^* , p_{19}^* связаны между собой, причем p_{16}^* зависит p_{15}^* и p_{19}^* , а также p_{19}^* и p_{17}^* имеют общие причины. Исходя из такой взаимосвязи проблем предполагается, что отклонение на факторе p_{16}^* корректируется, если в качестве вектора целей выбрать $Y(19, 15)$ при условии непротиворечивости p_{15}^* , p_{16}^* , p_{19}^* (см. формулу (4.1)). Проверка показала, что эти факторы согласованы. Таким образом, при выбранном $Y^*(19, 15)$ обеспечение желательного изменения факторов p_{15}^* и p_{19}^* приведет, исходя из структуры взаимосвязей проблем, к желательному изменению и p_{16}^* .

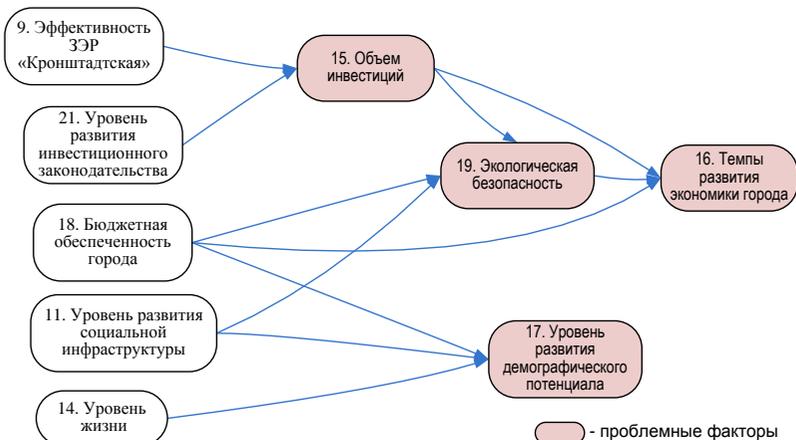


Рис. 8. Общий граф причин G^{reas} для проблемной ситуации $P=\{15,16,17,19\}$

Далее переход к этапу формирования согласованных управлений по достижению Y^* .

4) *Формирование управляющих подмножеств.* Согласованность управлений U^* с вектором целей Y^* означает, что любая цель y_i^* из Y^* под действием вектора управлений U^* изменяется в желательном направлении.

Для достижения $Y^*(19, 15)$ методом структурно-целевого анализа был найден согласованный с $Y^*(19, 15)$ вектор управлений $U^*(4, 5, 8, 13)$ на основе механизма противодействия факторам-источникам негативных влияний на Y^* – компенсация. Механизм компенсации лишь нивелирует воздействие негативных факторов. Он направлен на выявление факторов благоприятного влияния на Y^* , изменение которых способствует желательному изменению Y^* в условиях сохраняющегося негативного влияния факторов-причин проблем. Найденный вектор управлений $U^*(4, 5, 8, 13)$ включает следующие факторы модели: «Уровень развития инноваций, экологически чистых и ресурсосберегаю-

щих технологий» (фактор 8), «Уровень развития рекреационного потенциала» (фактор 4), «Уровень развития трудового потенциала» (фактор 5), «Уровень развития транспортной инфраструктуры города» (фактор 13).

Под воздействием вектора $U^*(4,5,8,13)$ достигается желательное изменение $Y^*(19, 15)$; таким образом, корректируется отклонение не только по проблемным факторам p_{15}^* , p_{19}^* , но и по p_{16}^* .

Т.к. проблемный фактор p_{17}^* не связан с p_{15}^* , p_{16}^* , p_{19}^* , то для коррекции его отклонения было найдено отдельное решение.

В итоге диагностирования сформирована диагностическая карта проблемной ситуации, включая и управляющие подмножества для снятия отклонений в проблемных факторах. Полученное решение, определяющее общие направления выхода из проблемной ситуации путем активации внутренних ресурсов управления городом, является основой для разработки конкретизированной стратегии развития города.

Заключение

В статье предложена схема диагностирования проблем развития сложных систем, основанная на построении когнитивной карты развития исследуемой системы, и поддерживающие ее методы анализа структурных свойств модели, новизна которой состоит в возможности:

- систематически исследовать проблемы различных типов, связанные с взаимодействием активных субъектов, неблагоприятным влиянием внешней среды и структурными особенностями системы;

- рассматривать проблемы в комплексе и определять приоритеты решения проблем в зависимости от причин их возникновения.

При этом схема построена так, что новые методы структурного анализа карт для получения новых знаний о структуре,

причинах проблемы, развитые или обнаруженные среди теоретических работ в области моделей и методов на основе когнитивных карт, могут быть встроены в процесс диагностирования.

В основу предложенной схемы диагностирования проблем развития сложных систем были положены с одной стороны анализ теоретических подходов к решению слабоструктурированных проблем и формированию стратегий развития систем [для обзора см. АвдКво], с другой ряд эвристических правил, сформированных в ходе прикладных работ лаборатории №51 ИПУ РАН.

На сегодняшний момент получены результаты по диагностированию однородных проблем (вызванных одним типом причин), анализируемых на базовом типе функциональных карт.

Разнородные проблемные ситуации, причины которых обусловлены сочетанием факторов-причин разных типов, являются предметом дальнейших исследований и требуют введения меры негативного воздействия той или иной группы факторов, а также развития методов анализа разрешимости ситуации.

Предлагаемый подход частично программно поддерживается на ПКМ «Ситуация-5».

Поставленная задача по диагностированию проблемных ситуаций в развитии сложных систем согласуется с процедурой построения стратегией по принципу разрешения проблем и в сочетании со сценарным моделированием образует целостный подход к формированию стратегий развития системы.

Результаты качественного анализа проблемной ситуации в развитии системы на основе предложенного подхода в дальнейшем могут быть использованы для уточненных постановок задач тактического уровня с применением традиционных моделей и методов теории управления, в частности, задач структурного реформирования, исследования конфликтов, ресурсного управления.

Литература

1. ABRAMOVA N., KOVRIGA S. Criterial Approach to Verification at Cognitive Mapping of Ill-Structured Situation Dynamics // In proc. the 30th International Conference of the System Dynamics Society. ISBN 978-1-935056-10-2 . ? St. Gallen, Switzerland July 22 – 26, 2012. ? p. 1-23.
2. Abramova N., Avdeeva Z., Fedotov A. An approach to systematization of types of formal cognitive maps / 18th IFAC World Congress. Milan, Italy, 2011. p.14246-14252.
3. Avdeeva Z., Kovriga S. (2008) Cognitive Approach in Simulation and Control / Plenary papers, Milestone reports & Selected survey papers. 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea, July 2008. – P.160-167.
- 4.
5. Авдеева, 2005;
6. Авдеева, Коврига и др., 2007
7. AvdKov, MaxKov
8. [3,5,8,11,17]
9. [57] [33] [3, AvdKov, MaxKov] [7] [48] Авдеева, 2009; Abramova et.al. 2008; Abramova et. al. , 2011 Абрамова, Воронина, 2011 Коврига, Максимов,2005
10. Авдеева З.К., Коврига С.В. Формирование стратегии развития социально-экономических объектов. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 184 с
11. Авдеева З.К., Коврига С.В. (2010) Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт / В сб. статей «Управление большими системами». Выпуск 31. М.: ИПУ РАН. С. 5-35.
12. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. (2007) Когнитивный подход в управлении/ Проблемы управления - №3. С. 2-8.

13. D. Yaman, S. Polat A fuzzy cognitive map approach for effect-based operations: An illustrative case/ *Information Sciences* 179 (2009) 382–403
14. [3] A.S. Andreou, N.H. Mateou, G.A. Zombanakis, Soft computing for crisis management and political decision-making: the use of genetically evolved fuzzy cognitive maps, *Soft Computing* 9 (2005) 194–210.
15. [57] C.D. Stylios, P.P. Groumpos, A soft computing approach for modeling the supervisor of manufacturing systems, *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 26 (1999) 389–403.
16. [33] K.C. Lee, S. Lee, Causal knowledge-based design of EDI controls: an explorative study, *Computers in Human Behavior* 23 (2007) 628–663.
17. [7] M. Bertolini, Assessment of human reliability factors: a fuzzy cognitive maps approach, *International Journal of Industrial Ergonomics* 37 (2007) 405–413.
18. [48] C.E. Peláez, J.B. Bowles, Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis, *Information Sciences* 88 (1996) 177–199.
19. [36] G.A. Mendoza, R. Prabhu, Participatory modeling and analysis for sustainable forest management: overview of soft system dynamics, *Forest Policy and Economics* 9 (2006) 179–196.
20. Ансофф И. (1989) Стратегическое управление. Монография. — М.: Экономика. — 520 с.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В РАЗВИТИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Zinaida Avdeeva, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (avdeeva@ipu.ru).

Svetlana Kovriga, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, (Moscow, Profsoyuznaya st., 65, (495)3347800).

Abstract: В статье рассматривается схема диагностирования проблем развития сложных систем, основанная на построении когнитивной карты развития исследуемой системы, и поддерживающие ее методы, применение которых позволяет: исследовать проблемы различных типов, связанных с взаимодействием активных субъектов, неблагоприятным влиянием внешней среды и структурными особенностями системы; рассматривать проблемы в комплексе и определять приоритеты решения проблем в зависимости от причин их возникновения.

Keywords: когнитивная карта, развитие социально-экономических систем, проблемная ситуация, активные субъекты, диагностирование