

## САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТЕВЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СРЕДЫ В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

**Виноградов Геннадий Павлович,**

профессор, [wgp272ng@mail.ru](mailto:wgp272ng@mail.ru);

**Воронин Юрий Анатольевич,**

аспирант, [voronin@volsu.ru](mailto:voronin@volsu.ru)

Тверской государственный технический университет,

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22

**Аннотация.** Задача системы управления регионом состоит в обеспечении повышения качества жизни проживающего населения путем использования техногенных систем различного уровня сложности, которые создаются для удовлетворения определенных потребностей, определяемых интересами. Концентрация промышленных объектов и усложнение в них технологических процессов, породило проблемы безопасности, роста риска техногенных катастроф. В этой связи проблема безопасности, качества жизни и т.п. должна рассматриваться в контексте интересов использования техногенных систем. *Цель работы:* разработка на основе концепции «приемлемого» риска подхода к управлению региональным развитием при соблюдении обязательного требования по обеспечению техногенной безопасности и качества жизни. Выполнено исследование проблемы принятия решений в активных самоорганизующихся системах, в которых мотивация людей порождает эндогенно цели функционирования. *Методы исследования:* общая методология и методы системного анализа, аналитического моделирования методы теории активных систем. *Результаты:* Предложен подход для оценки качества жизни, уровня безопасности в регионе и изучения складывающихся тенденций на основе использования активных методов и информационных технологий. Показано, что основой их построения являются самоорганизующиеся экспертные среды на базе современных сетевых и телекоммуникационных технологий. Разработана математическая постановка и модель принятия согласованных решений в задаче управления техногенной безопасностью. В отличие от известных подходов предложено для формирования представлений управляющего органа о состоянии объекта управления использовать дополнительные каналы получения информации от сетевых экспертных сред. Разработана концептуальная модель механизма самоорганизации таких сред.

**Ключевые слова.** Самоорганизация, региональное развитие, экспертная среда, самоорганизация, сетевые технологии, согласование представлений, безопасность

**Цитирование:** Виноградов Г.П., Воронин Ю.А., Самоорганизующиеся сетевые экспертные среды в управлении региональной техногенной безопасностью // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 25–39. DOI 10.38028/ESI.2020.17.1.002

**Введение.** Интенсивное развитие техносферы в регионах, следствием которого является концентрация промышленных объектов и усложнение в них технологических процессов, породило проблемы безопасности, роста риска техногенных катастроф и выбросов вредных веществ. Все эти проблемы связаны с качеством жизни [4–6]. Как показано в [9, 15, 17] экологическую и техногенную безопасность нельзя рассматривать как основную целевую детерминанту. Задача системы управления, например, регионом состоит в обеспечении выживания и повышения качества жизни проживающего населения путем использования техногенных систем различного уровня сложности, которые создаются для удовлетворения определенных потребностей, определяемых интересами. Тогда проблема безопасности, качества жизни и т.п. должна рассматриваться в контексте интересов использования техногенных систем. В этой связи цель стратегии устойчивого развития – определить способы адаптации к изменениям, вызванным техногенным развитием [11–14]. Это позволяет перейти к концепции «приемлемого» риска и обусловило появление нового подхода к управлению региональным развитием, состоящего в том, что удовлетворение материальных и духовных потребностей населения (качества жизни) должно осуществляться при соблюдении обязательного требования по обеспечению безопасности человека и окружающей его среды [3, 11].

В этих условиях функционирование системы управления региональным развитием должно быть основано на принципах дальновидности, согласованности, адаптивности и самоорганизации, что обеспечивается механизмом управления, определяющим взаимодействие всех субъектов системы [1, 8]. На практике это, в частности, выражается в составлении планов развития предприятий с учетом требований безопасности. При этом осуществляется соответствующая экономическая проработка не только по вопросам технического перевооружения и совершенствования технологических процессов, но и по выполнению компенсационных мероприятий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций [1].

Важнейшими ресурсами для этого являются современные методы управления на основе информационных технологий и инноваций. Эффективность новых технологий управления зависит, прежде всего, от того, как люди с их помощью выявляют, воспринимают объективные признаки складывающихся ситуаций, строят оценки, формируют новое знание и на его основе вырабатывают новые формы поведения. Попытки применения известных методов для решения проблемы безопасности показали [13 – 15], что ее нужно рассматривать как проблему принятия решений в активных самоорганизующихся системах, в которых мотивация людей порождает эндогенно цели функционирования [7, 8]. В таких системах люди (в дальнейшем агенты) имеют свои цели, отражающие их интересы, а также возможности их достижения. Автономия при принятии решений, связанная с экономической и юридической ответственностью, общность целей предполагает согласование состояний агентов, субъективного понимания ими обстановки, целей, принимаемых решений, способов действия, получаемых возможных результатов системой в целом и каждым агентом.

В настоящее время развитие организационных систем во все большей степени переходит от эволюционного к проектному [5, 6, 10, 17]. Управление этим процессом предполагает сочетание казуального подхода (причинно-следственного) с теологическим (целевая детерминация). Движущей силой развития становится деятельность, представленная множеством институциональных построений, ориентированных, прежде всего, на

совершенствование инновационной деятельности [10, 16]. Из них наиболее перспективной формой определения направления его использования становятся саморазвивающиеся сетевые экспертные среды [10]. Элементарной частью такой среды является эксперт-профессионал, владеющий современными телекоммуникационными технологиями, средствами Интернета. Интеграция в сетевой структуре естественных интеллектов образует коллективный стратегический субъект, который является средством синергии знаний и действий в процессе развития.

В связи с этим ведущим направлением в теории управления в настоящее время следует считать проблематику организации саморазвивающихся инновационных сред, составной частью которых являются самоорганизующиеся сетевые экспертные среды. Необходима разработка методологических основ организации подобных сред и управления ими. Центральным аспектом в этом становится оценка субъектами (в дальнейшем агенты) ценности, полезности нового знания и технологий, оценка рисков, определение механизма их исключения, соотнесения нового знания с целями и задачами развития. Это требует, в свою очередь, новых моделей формирования представлений агентов о предметной области при определении направления развития.

### **1. Математическая постановка и описание задачи принятия согласованных решений в задаче управления безопасностью**

Существуют три основные области научного обеспечения безопасности в природно-техногенной сфере [11, 13]:

- теоретическая – получение новых знаний, понимания природы явлений, выработки рекомендаций по предупреждению аварийных ситуаций;
- прикладная – оценка степени устойчивости и продления ресурса безопасной эксплуатации стареющих технических объектов, проектирование и создание новых (по критериям безопасности) техногенных систем, а также получение своевременной упреждающей информации для принятия мер по снижению ущерба от стихийных бедствий;
- управленческая – разработка и внедрение элементов нормативно-законодательного и экономического регулирования и управления на региональном, отраслевом уровне.

Пусть задана иерархическая структура системы управления безопасностью перечислением входящих в нее агентов, описанием их прав и интересов, в соответствии с которыми они принимают решения. Кроме того, пусть определена регламентация процедур доступа, обработки и передачи информации. Будем считать, что возможности и права агентов в системе не одинаковы (что позволяет говорить об их неоднородности [8, 12]). Неоднородность проявляется в различной степени влияния агентов друг на друга.

Для целей анализа будем рассматривать базовую модель иерархической системы, состоящей из центра (агент верхнего уровня) и агентов нижнего уровня [3, 6] (рис. 1).

Согласно [16] разделим цели верхнего уровня условно на следующие группы:

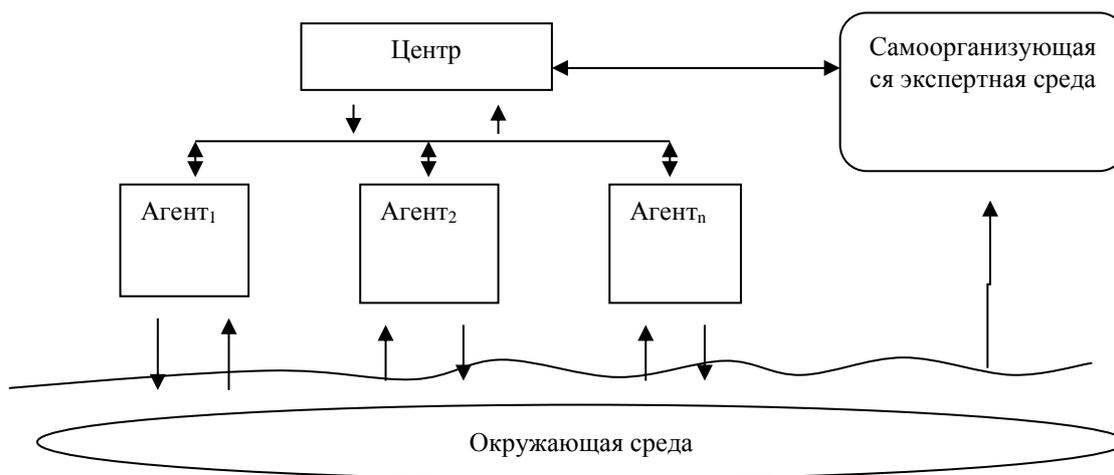
1. Определение и согласование целей выживания и развития системы в целом в условиях неопределенности и динамики рынка;
2. Формирование согласованного восприятия внешней и внутренней среды системы;
3. Формирование согласованного представления о ситуации целеустремленного состояния

4. Разработка согласованного плана действий, учитывающего интересы всех подсистем;
5. Оптимизация по возможности обобщенных показателей эффективности функционирования системы, представляющих собой функции от параметров всех подсистем (агентов).

Решение последних двух задач может быть записано следующим образом [15, 16]:

$$(u, v) \in \Omega, \quad (1)$$

где  $u$  – управление центра,  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  – вектор управлений агентов,  $\Omega$  – множество таких управлений, которые переводят систему в одно из состояний множества  $X$  ( $X$  – область желаемых состояний системы).



**Рис. 1.** Базовая иерархическая системы управления региональной безопасностью

Условие (1) может быть выполнено лишь на основе некоторой совокупности предположение о поведении и информированности всех агентов системы. Примем следующие предположения:

- 1) центр может сформулировать желаемое состояние системы в виде некоторого набора обобщенных показателей, которые являются функциями параметров агентов. Конкретные зависимости центру в общем случае неизвестны, но для их определения он может использовать данные прошлых периодов функционирования системы, информацию о результатах, полученных конкурентами в данном сегменте рынка и результаты сетевой экспертизы. Такое предположительное знание будем называть представлениями центра о возможностях агентов и направлении развития системы;
- 2) на основе представлений о возможностях агентов и желаемых состояниях центр определяет свое управление (план действий и информационный запрос)  $u \in U$  и сообщает его агентам;
- 3) при известном управлении  $u$   $i$ -й агент выбирает свое управление  $v_i \in V_i(u_i)$ , которое переводит его в состояние  $y_i \in Y_i$ , где  $Y_i$  – множество возможных состояний. Будем считать, что агенты взаимозависимы по выбору своих состояний. Это предполагает при выборе учет глобальных ограничений  $Y^{2л}$ . Следовательно, при выполнении условия (1) система может находиться в одном из следующих состояний

$Y = Y^{2L} \cap (\prod_{i=1}^n Y_i)$ . Здесь  $\prod_{i=1}^n Y_i$  – это множество, определяемое локальными

ограничениями, например, по объему выпуска, качеству, затратам и т.д.

- 4) пусть поведение агента соответствует гипотезе рационального поведения. Тогда выбор агента будет сделан так, чтобы максимизировать свой субъективно понимаемый критерий эффективности  $G_i(u, v_i)$ ;
- 5) центр, в общем случае, приблизительно знает пространство управлений и критерии эффективности агентов, поэтому он должен для создания представлений о желаемых состояниях агентов организовать с ними обмен информацией. Для этого он запрашивает у агентов оценки выпуска продукции и услуг, объемов вредных выбросов, качества жизни населения  $y_i^*$  и желаемые состояния  $u_i$ , уточняет их интересы в окрестности полученного решения в обмен на стимулирование за получения встречной информации;
- 6) получив новую информацию, центр пересчитывает решение и задает новые вопросы агентам до тех пор, пока не будет получено точное или близкое к нему решение;
- 7) при наличии неопределенности факторов центр стремится в соответствие с принципом детерминизма снизить ее уровень за счет применения процедур, повышающих степень полезности своих представлений [5, 6].

Описанная модель формирования плана регионального развития предполагает, что агенты, как управляющие своими подсистемами, так и использующие ее на уровне своих представлений хорошо знают и «чувствуют» свои объекты управления и могут с достаточной степенью точности ответить на запросы центра.

Эти предположения позволяют определить множество допустимых управлений центра следующим образом

$$U^0 = \left\{ u \in U \mid V(u) = \prod_{i=1}^n V_i(u) \neq \emptyset, (u, v) \in \Omega, \forall v \in R(u) = \prod_{i=1}^n R_i(u) \right\}, \quad (2)$$

где  $R_i(u) = \text{Arg} \max_{v_i \in V_i(u)} G_i(u, v_i)$ .

Если у центра имеется критерий эффективности  $F(u, v)$ , то оптимальным гарантирующим управлением является такое  $u^0 \in U^0$ , что

$$F^0 = \sup_{u \in U^0} \inf_{v \in R(u)} F(u, v) \quad (3)$$

Общность интересов центра и агентов определяется условиями на суммарное вознаграждение

$$\sum_{i=1}^n \Xi_i(G(u_i, v_i) + F^0) \leq C(\bar{Y}) \quad (4)$$

где  $\bar{Y}$  – «доход», получаемый регионом,  $\Xi_i(\cdot)$  – оценки агентами удовлетворенности своего состояния,  $C(\cdot)$  – оценки риска от техногенной деятельности.

Таким образом, при согласовании модели регионального развития в системе с не противоположными интересами необходимо рассматривать интеграционный тип возможного компромисса, поскольку величина распределяемого ресурса согласно (4) является величиной переменной, зависящей от их суммарных усилий. Поэтому цель согласования состоит в достижении суммарного выигрыша, и он может быть получен путем сообщения достоверной информации и совместным решением проблем. В системах, где агенты связаны общими интересами и целью, справедлив принцип запрета эгоизма, так как какой-либо агент может нанести ущерб системе, только если при этом он наносит ущерб себе.

Пусть объект управления  $i$ -го агента описывается уровнем затрат  $y_i^{ex}$ , уровнем выпуска  $y_i^{blx}$  (объемы выбросов вредных веществ также учитываются) и набором режимных параметров  $z_i$ , с помощью которых агент может влиять на ход процесса в своей предметной области. Тогда множество возможных состояний  $i$ -го агента можно определить следующим образом

$$Y_i = \left\{ y_i \mid \bar{y}_i^{ex} \leq y_i^{ex} \leq \bar{y}_i^{ex}, y_i^{blx} = w_i(y_i^{ex}, z_i) \in Y_i^{blx}, z_i \in Z_i \right\} \quad (5)$$

Задача (1-5) является задачей поиска максимина со связанными ограничениями.

Обозначим через  $y_i^{blx} = w_i^*(y_i^{ex}, z_i) \in Y_i^{blx}$  представление агента о функционировании объекта управления, тогда

$$Y_i^* = \left\{ y_i \mid \bar{y}_i^{ex} \leq y_i^{ex} \leq \bar{y}_i^{ex}, y_i^{blx} = w_i^*(y_i^{ex}, z_i) \in Y_i^{blx}, z_i \in Z_i \right\} \quad (6)$$

можно рассматривать как субъективные представления агента о множестве возможных состояний. Очевидно, оно определяется его знанием, опытом.

В свою очередь центр может иметь собственное представление о возможностях агентов в виде

$$Y_i^* = \left\{ y_i \mid \bar{y}_i^{ex} \leq y_i^{ex} \leq \bar{y}_i^{ex}, y_i^{blx} = w_i^u(y_i^{ex}, z_i) \in Y_i^{blx}, z_i \in Z_i \right\} \quad (7)$$

В случае эффективных производств можно с достаточной степенью точности предположить выполнение гипотезы о полной информированности центра о возможностях, желаемых состояниях агентов и их продуктивности с точностью до параметров. Это означает, что центр располагает всей необходимой информацией о моделях  $V_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  агентов, но не знает выбор агентов. В этом случае, как показано в [8], центр, используя это знание, рассчитывает управление  $u^0 \in U^0$ , а агент делает только один ход, выбирая свое состояние  $y_i$  и управление  $v_i$  из множества допустимых состояний  $B_i(u_i) = Y_i(u_i) \cap Y_i$ , пытаясь при этом максимизировать значение своей целевой функции [2]

$$G_i(u_i, v_i) \rightarrow \max_{v_i \in B_i(u_i)} \quad (8)$$

Тогда результат выбора всех агентов определяется в этом случае как множество  $R(D)$

всех ситуаций, где  $D = Y^{2n} \cap \prod_{i=1}^n B_i(u_i)$  множество возможных состояний всей системы.

Варьируя управление  $u = \{u_i, i = \overline{1, n}\}$ , центр может проигрывать возможные сценарии поведения системы.

Пусть центр располагает неполной информацией о моделях  $V_i, i = \overline{1, n}$  агентов, но считает их форму поведения рациональной. В этом случае он должен создать механизм получения информации не только от агентов, но и с помощью дополнительных каналов, например, путем создания сетевых экспертных сред и систем [1, 9, 14].

**2. Механизм самоорганизации сетевых экспертных систем.** Саморазвитие предполагает вовлечение через использование сетевых технологий продвинутых потребителей товаров и услуг в инновационный процесс улучшения качества жизни, получения идей или контента путем обращения к их креативным способностям в обмен на вознаграждение, соответствующее вкладу [9]. Для его реализации разработаны соответствующие технологии. Однако их прямая реализация приводит появлению большого количества информационного шума и мусора, содержащего, как правило, бездоказательные критические высказывания. Поэтому необходима система, обеспечивающая направление поиска решений и идей, а также обеспечивающая фильтрацию, обобщение информации, определение ее ценности и перспективности. Способом построения является синтез технологий краудсорсинга и сетевой экспертизы (рис. 2) [1, 10, 13, 14].



Рис. 2. Сетевая экспертиза на основе краудсорсинга

По сравнению с традиционными технологиями поиска решения эти два подхода обладают следующими преимуществами [13, 14]:

**Самоорганизация.** Создание идей, предложений по совершенствованию продукции и услуг практически неограниченным числом экспертов.

**Независимость.** Возможность получения информации, отражающей различные точки зрения с объяснением позиции.

**Малобюджетность.** Люди участвуют в подготовке предложений и выполняют оценки, как правило, безвозмездно или за небольшое вознаграждение, варьирование уровня вознаграждения в зависимости от результата.

Поскольку модели принятия решений в сетевой экспертизе должны строиться достаточно быстро, то задачи по извлечению информации, очистки и предварительной обработки (выделению признаков, семантическая кластеризация, построение онтологий и т.п.) необходимо выполнять средствами краудсорсинга.

Центр формирует запросы, оформляют их дизайн, дорабатывают семантическую кластеризацию и онтологию предметной области. Цикл взаимодействия центра с экспертами будет продолжаться до тех пор, пока вклад новой информации в рост полезности сформированных представлений будет несущественным. Полученная модель представлений предметной области используется для формирования модели способа действия. Анализ удовлетворенности от принятого решения позволяет корректировать как модель представлений, так и модель способа действия (решения).

### 3. Алгоритм построения агентом множества согласованных состояний.

Как известно, общие принципы мышления субъекта включают три основные фазы. Восприятие, в процессе которого осуществляется построение модели-представления о ситуации [2, 7, 17]. Познание, когда формируется сценарий действий субъекта для достижения поставленных целей. Исполнение, в процессе которого происходит реализация намеченного сценария с постоянным сопоставлением ожидаемых и наблюдаемых результатов [7]. Это позволило предложить модель обстановки, воспринимаемой субъектом.

Агент, обладая более детализированной информацией, может при создании центром более привлекательных условий  $u_k$  путем решения задачи (8) определять для себя такой вектор  $x_k^{(h)}$ , который позволяет расширить множество  $X_k^{(h)}$  представлений центра о его возможностях,  $h$  – шаг итерационного процесса. Примем, что агент демонстрирует свойство рационального поведения [2].

Обозначим через  $\omega_k = \{\omega_k^{(h)}, h \in \overline{1, H}\} \in A_k$  – вектор параметров состояния, определяющий значения вектора действий  $x_k^{(h)} = \{x_{kj}^{(h)}, j \in \overline{1, m_k}\} \in X_k^{(h)}$ . Можно считать, что этот вектор описывает знание агента возможностей контролируемого им объекта управления. Здесь  $A_k$  – множество возможных значений вектора состояния. Будем считать, что агент обладает способностями, знаниями, которые гарантируют существование  $\Psi_k: A_k \rightarrow X_k^{(h)}$ .

Доступный агенту уровень знаний о конструктивных особенностях потребляемой продукции и услуг делают справедливым предположение о существовании для  $k$ -го агента предельного множества параметров состояния. Обозначим через

$O_k^* = \{o_k^* / o_k(x_k), x_k \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)}), \omega_k^{(h)} \in A_k\}$  – множество достижимости или множество предельных возможностей.

Будем предполагать, что агент за счет своих креативных способностей, способности к самообучению и поиску новой информации при соответствующем стимулирующем воздействии центра способен определять такие состояния  $\omega_k^{(1)} \in A_k$  и  $\omega_k^{(2)} \in A_k$ , что возможно  $\omega_k^{(2)} \succ \omega_k^{(1)}$ , где символ  $\succ$  означает «более значимо» и при этом

$X_k^{(1)}(\omega_k^{(1)}) \subseteq X_k^{(2)}(\omega_k^{(2)})$ . Следовательно, существует такая последовательность

$\omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)}, \omega_k^{(3)}, \dots$ , что  $\lim_{h \rightarrow \infty} o_k^{(h)}(x_k^{(h)}(\omega_k^{(h)})) = O_k^*$ . То есть агент путем изучения объекта

управления способен определить его предельные возможности для достижения желаемого

состояния [10]. Последовательность  $\omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)}, \omega_k^{(3)}, \dots$  будем называть последовательностью вскрытия резервов от потенциальных конструктивных решений за счет их доработки и упрощения в обслуживании.

Такая способность агента формировать расширяющееся множество способов действия позволяет определить следующие свойства целевой функции агента и областей достижимости:

$$\forall \omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)} \in A_k, \omega_k^{(2)} \succ \omega_k^{(1)}, X_k^{(1)}(\omega_k^{(1)}) \subseteq X_k^{(2)}(\omega_k^{(2)}) \mapsto E\varphi_k(x_k^{(2)}) > E\varphi_k(x_k^{(1)})$$

Это условие означает, что поведение агента при выполнении принципа рациональности соответствует закону повышающихся потребностей, который в литературе по психологии поведения определяет мотивированность и целеустремленность агента.

В реальных условиях агент при превышении некоторого порога значимости  $\Delta = E\varphi_k(x_k^{(2)}) - E\varphi_k(x_k^{(1)})$  изменения ценности ситуации целеустремленного состояния по результату способен идентифицировать предпочтительные способы действия и видит открывающиеся возможности при изменении структуры своей информированности (знания).

Выработка решения при таком подходе заключается в реализации совокупности последовательных процедур, предназначенных для поиска промежуточных решений, на основании которых агент уточняет свои возможности и формирует окончательное решение. Полный цикл его формирования  $k$ -м агентом состоит в выполнении следующих шагов на этапе  $h$  [16]:

1. Формирование множеств  $A_k$  и  $X_k^{(h)}$  на основе знаний, опыта, интуиции и располагаемой информацией о параметрах состояния  $\omega_k^{(h)}$ . Просмотр множества  $A_k$  и формирование точки  $O_k^{(h)*} = \{o_k^{(h)*} / o_k^{(h)*}(x_k^{(h)*}), x_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)}), \omega_k^{(h)} \in A_k\}$ . Проверка, существует ли  $x_k^{(h)*}$  такое, что  $o_k^{(h)}(x_k^{(h)*}) = o_k^{(h)*}$ . Если – да, то  $x_k^{(h)*}$  – это компромиссное решение, а  $o_k^{(h)*}$  – прогнозируемая ситуация, в противном случае переход к п.2.

2. Решение задачи поиска потенциально-предпочтительного набора действий  $x_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)})$ , позволяющего сформировать вектор  $\bar{o}_k^{(h)}$  предельных значений критериев при использовании имеющегося на данный момент знания о правиле  $\Psi_k^{(h)}$  и структуре множества  $A_k$ . Так как компоненты  $\bar{o}_{ki}^{(h)}$ ,  $i = \overline{1, N}$  порознь достижимы, а вместе – нет, то делается попытка найти компромиссное решение. Если агент не согласен попытаться найти компромиссное решение за счет компенсаторных уступок по каждому критерию, которые несколько хуже решения  $\bar{o}_k^{(h)}$ , то переход к п. 3, иначе к п. 5.

3. Исследование направлений возможного расширения множества  $A$ , организация процедур поиска новой информации (знания) о  $\omega_k^{(h)} \in A_k$  и правиле  $\Psi_k: A_k \rightarrow X_k^{(h)}$ .

4. Если расширение множества  $A_k$  возможно, то переход к п. 1, иначе фиксация ситуации, что компромиссное решение не может быть найдено при выбранном векторе  $\bar{o}_k^{(h)*}$ .

5. Получение сведений от агента достаточных для определения вектора  $\underline{o}_k^{(h)} \prec \bar{o}_k^{(h)*}$ , где  $\underline{o}_k^{(h)}$  минимальные требования агента к принимаемым им во внимание результатам.

6. Выполнение процедуры поиска минимально-предпочтительной точки в пространстве критериев по направлению предпочтения  $\underline{o}_k^{(h)}, \bar{o}_k^{(h)*}$ , определение вектора  $\omega_k^{(h)*} \in A_k$  и  $x_k^{(h)*} \in X_k^{(h)}(\omega_k^{(h)*})$  – минимального значения плановых показателей, соответствующих значениям компонент вектора  $\underline{o}_k^{(h)}$ .

7. Если полученные значения для  $x_k^{(h)*}, \underline{o}_k^{(h)*}$  принимаются как компромиссное решение, то процедура останавливается, в противном случае переход к п. 8.

8. Для ограничений на  $\underline{o}_k^{(h)}$  определяется приоритетная координата  $i \in \overline{1, N_k}$ , по которой делается расширение множеств  $A_k$  и  $X_k^{(h)}$ , так чтобы  $\bar{o}_{ki}^{(h)}(x_k^{(h)}) = \bar{o}_{ki}^{(h)} + \Delta_{ki}^{(h)}$ , где  $\Delta_{ki}^{(h)}$  минимально возможное улучшение, которое является значимым для агента и определяется по его высказываниям о “гибкости” ограничения на основе выполнения процедур поиска дополнительной информации. Переход к п. 1.

Описанный алгоритм использует три типа механизмов, применение которых порождает интерактивный процесс для построения компромиссного решения.

*Механизм анализа* – это механизм, с помощью которого агент в момент  $r$  обрабатывает сведения, полученные на шаге  $r-1$  для построения множеств  $P_k$  и  $X_k$  с целью определения  $x_k, y^{o*}, c^*, z^*$ . Здесь сопоставляются результаты, полученные на момент  $r$  с результатами на

шаге  $r-1$ . формируется представление о значениях вектора  $o^{O^*}$  и значений уступок по его компонентам. Строится предварительное представление о желательных значениях показателей  $E\varphi_k(o(y^{O^*}))$  и  $EE_k(o(y^{O^*}))$ .

*Механизм целеполагания* – это механизм, который по результатам анализа определяет условия возможности достижения желательных значений  $x_k, y^{O^*}, c^*, z^*, E\varphi_k(o(y^{O^*})), EE_k(o(y^{O^*}))$ . Рассчитывается идеальная точка в пространстве оценок  $o$ , связанная с множествами  $P_k$  и  $X_k$  – это точка  $\bar{o}^*$ , имеющая координаты  $\bar{o}_i^* = \max_{p \in P_k, x \in X_k} o_i(x(p)), i = \overline{1, L}$ . То

есть  $\bar{o}^*$  – наибольшее значение оценки по координате  $i$ , которое может быть получено с помощью намеченных действий. Эта точка образует центр области поиска предпочтительных состояний. Если при найденном значении координат точки  $\bar{o}^*$  ограничения не выполняются, то агент рассматривает возможность расширения множеств  $P_k, X_k$  и  $C_k$  за счет включения дополнительных переменных, осуществления структурных изменений и т.п. для ослабления наиболее жестких ограничений так, чтобы выполнялось включение  $P_k(r) \subseteq P_k(r+1)$  и

$X_k(r) \subseteq X_k(r+1)$ . Если это невозможно, то формируются сведения о координатах  $\underline{o}_i < \bar{o}_i^*$  точки  $\underline{o}_i \neq \bar{o}_i^*$ , которая была бы достижимой и лучшим компромиссом в окрестности точки  $\bar{o}^*$ . Путем минимизации потерь  $\sum_{i=1}^L |o_i - \bar{o}_i^*|$  определяются величины  $p_i = o_i - \bar{o}_i^* \neq 0$  примерно эквивалентные, небольшие и значащие для агента.

*Механизм самоорганизации* – это механизм, который приводит к получению знаний о правилах  $\Delta$  и  $\Psi$  для расширения множеств  $P_k, X_k$  и  $C_k$ . Он может иметь различные формы: 1) проведение экспериментальных исследований на объекте с целью улучшения своего представления о его функционировании; 2) анализ обстановки  $v_{-k}$ ; 3) привлечение экспертов для подготовки рекомендаций по улучшению режимов ведения процесса; 4) процедуры опроса персонала; 5) процедуры голосования и т.п.

**Выводы.** В статье приведены соображения, являющиеся основанием для перехода от простого сбора информации для оценки уровня безопасности и риска и пассивного изучения складывающихся тенденций на использование активных методов. Основой их построения следует считать создание самоорганизующихся экспертных сред на базе современных сетевых и телекоммуникационных технологий. Такой подход означает также активное использование различных средств информационного управления для создания соответствующих информационных структур при продвижении региональных программ развития. Эффектом от применения предлагаемой технологии может быть расширение степени привлечения населения к решению проблем регионального развития в цифровой экономике.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №17-01-00728 «Моделирование принятия решений интеллектуальным агентом с выбираемыми моделями представлений об окружении, структуры интересов и предпочтений»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева З. К., Лепский В. Е., Райков А. Н., Ильин Н. И., Колин К., Зацаринный А., Малинецкий Г. и др. Стратегическое целеполагание в ситуационных центрах развития / Рук.: В. Е. Лепский. М. : Когнито-Центр, 2018. 320 с.
2. Автономов В.С. Модель человека в экономической науке. СПб.: Экономическая школа. 1998. 230 с.
3. Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н. Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. М.: ИПУ РАН. 2001. 60 с.
4. Багриновский К.А., Лемешев М.Я. О планировании экономического развития с учетом требований экологии // Экономика и математические методы. 1976. № 4. С. 681 – 691.
5. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Экологическая безопасность. М.: ИПУ РАН. 2003. 92 с.
6. Бурков, В.Н., Д.А. Новиков, А.В. Щепкин Механизмы управления эколого-экономическими системами / Под ред. академика С.Н. Васильева. М.: Издательство физико-математической литературы. 2008. 244 с.
7. Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора // Искусственный интеллект и принятие решений. № 3. С. 58-72.
8. Виноградов, Г.П. Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. Тверь: ТГТУ. 2013. 256 с.
9. Виноградов Г.П., Виноградова Н. Г. Самоорганизующиеся сетевые экспертные среды в системах с эндогенным принципом целеуказания // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. № 1(19). С. 39-54. DOI: 1018287/223–9537–2016–6–1–39–54.
10. Виноградов Г.П., Палюх Б.В. Механизмы управления эволюцией организационно-технологической системы // Программные продукты и системы. № 2. С. 3–8.
11. Глобальные проблемы как источник чрезвычайных ситуаций. (Доклады и выступления международной конференции. М.: УРСС. 1998
12. Новиков, Д. А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Физматлит. 2008.
13. Райков А.Н. Конвергентное управление и поддержка решений. М.: Издательство ИКАР. 2009. 245 с.
14. Райков А.Н. Компьютерная поддержка рефлексивных процессов в управлении. Сб. "Психология и ее приложения". Ежегодник Российского психологического общества. Т. 9. Вып. 1. М. 2002. С. 52 - 53.
15. Шубенкова А.Ю., Райков А.Н., Ефимов А.Б. Оптимизация распределения полномочий в рамках региональной информатизации // Информационное общество. 2015. № 2-3. С. 68-79.
16. Gubanov, D., Korgin, N., Novikov, D., Raikov, A. E-Expertise: Modern Collective Intelligence, Springer. Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 558, 2014, XVIII, 112 p.
17. Vinogradov, G. Decision Making based of Subjective Conceptions of Decision situation / Vinogradov G. // Interactive Systems and Technologies:the Problems of Human-Computer Interaction. Collection of Scientific papers. Uljanovsk. 2011. Pp. 403-414.

**SELF-ORGANIZING NETWORK EXPERT ENVIRONMENTS IN THE  
MANAGEMENT OF REGIONAL TECHNOGENIC SECURITY**

**Gennady P. Vinogradov,**

Professor, wgp272ng@mail.ru

**Yuri A. Voronin,**

graduate student, voronin@volsu.ru

Tver State Technical University,

170026, Tver, emb. Afanasiy Nikitin, 22

**Abstract.** The task of the regional management system is to ensure the improvement of the quality of life of the living population by using man-made systems of various levels of complexity, which are created to meet certain needs determined by interests. The concentration of industrial facilities and the complexity of technological processes in them has created safety problems and increased risk of man-made disasters. In this regard, the problem of safety, quality of life, etc. should be considered in the context of the interests of using man-made systems. Objective: to develop an approach to managing regional development based on the concept of "acceptable" risk, while complying with the mandatory requirement to ensure technological safety and quality of life. A study of the problem of decision-making in active self-organizing systems in which people's motivation generates endogenous goals of functioning is performed. Research methods: General methodology and methods of system analysis, analytical modeling methods of the theory of active systems. Results: an approach is proposed for assessing the quality of life, the level of security in the region and studying emerging trends based on the use of active methods and information technologies. It is shown that the basis of their construction is self-organizing expert environments based on modern network and telecommunication technologies. A mathematical formulation and model for making coordinated decisions in the problem of technogenic safety management is developed. In contrast to the known approaches, it is proposed to use additional channels for obtaining information from network expert environments to form representations of the governing body about the state of the control object. A conceptual model of the mechanism of self-organization of such environments is developed.

**Keywords.** Self-organization, regional development, expert environment, self-organization, network technologies, coordination of views, security

**Acknowledgments.** The study was carried out with the financial support of the Russian Fund of Basis Research in the framework of the project № 17-01-00728 "Modeling decision-making by an intelligent agent with selectable models of ideas about the environment, structure of interests and preferences"

## References

1. Avdeeva Z. K., Lepskij V. E., Rajkov A. N., Il'in N. I., Kolin K., Zaccarinnyj A., Malineckij G. i dr. Strategicheskoe celepolaganie v situacionnyh centrakh razvitiya [Strategic goal setting in situational centers of development] / Ruk.: V. E. Lepskij. M. : Kognito-Centr = Hands: V.E. Lepsky. M.: Cognito-Center. 2018. 320 p. (in Russian)
2. Avtonomov V.S. Model' cheloveka v ekonomicheskoy nauke [The model of man in economic science]. SPb.: Ekonomicheskaya shkola= SPb.: Economic School. 1998. – 230 p. (in Russian)
3. Andronnikova N.G., Barkalov S.A., Burkov V.N. Kotenko A.M. Modeli i metody optimizacii regional'nyh programm razvitiya [Models and methods for optimizing regional development programs]. M.: IPU RAN = M.: Institute for Control Problems of the RAS. 2001. – 60 p. (in Russian)
4. Bagrinovskij K.A., Lemeshev M.YA. O planirovanii ekonomicheskogo razvitiya s uchedom trebovanij ekologii [On planning economic development taking into account environmental requirements] // Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods. 1976. № 4. Pp. 681 – 691 (in Russian)
5. Burkov V.N., Shchepkin A.V. Ekologicheskaya bezopasnost' [Environmental Safety]. – M.: IPU RAN = M.: Institute for Control Problems of the RAS. 2003. 92 p. (in Russian)
6. Burkov, V.N., D.A. Novikov, A.V. Shchepkin Mekhanizmy upravleniya ekologo-ekonomicheskimi sistemami [Control mechanisms of ecological and economic systems] / Pod red. akademika S.N. Vasil'eva. / M.: Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury = Ed. academician S.N. Vasiliev. M.: Publishing house of physical and mathematical literature. 2008. 244 p. (in Russian)
7. Vinogradov G.P., Kuznecov V.N. Modelirovanie povedeniya agenta s uchedom sub"ektivnyh predstavlenij o situacii vybora [Modeling agent behavior taking into account subjective ideas about the situation of choice] // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij = Artificial Intelligence and Decision Making. № 3. Pp. 58-72 (in Russian)
8. Vinogradov, G.P. Metody i algoritmy prinyatiya reshenij v avtomatizirovannyh sistemah upravleniya proizvodstvami s nepreryvnoj tekhnologiej na osnove sub"ektivnyh predstavlenij: monografiya [Decision-making methods and algorithms in automated production control systems with continuous technology based on subjective representations: a monograph]. Tver': TGTU, 2013. 256 p. (in Russian)
9. Vinogradov G.P., Vinogradova N. G. Samoorganizuyushchiesya setevye ekspertnye sredy v sistemah s endogennym principom celekazaniya [Self-organizing network expert environments in systems with the endogenous principle of target designation] // // Ontologiya proektirovaniya = Design Ontology. 2016. T. 6. № 1(19). Pp. 39-54.  
DOI: 1018287/223–9537–2016–6–1–39–54 (in Russian)
10. Vinogradov G.P., Palyukh B.V. Mekhanizmy upravleniya ehvoljutsiej organizatsionno-tekhnologicheskoy sistemy [ Mechanisms for managing the evolution of the organizational and technological system] // Programmnye produkty i sistemy = Software products and systems. № 2. Pp. 3–8 (in Russian)
11. Global'nye problemy kak istochnik chrezvyčajnyh situacij. (Doklady i vystupleniya mezhdunarodnoj konferencii) [Global issues as a source of emergency. (Papers and speeches of an international conference)]. M.: URSS, 1998 (in Russian)

12. Novikov, D. A. Matematicheskie modeli formirovaniya i funkcionirovaniya komand [Mathematical models of the formation and functioning of teams]. M.: Fizmatlit. 2008 (in Russian)
13. Rajkov A.N. Konvergentnoe upravlenie i podderzhka reshenij = Converged management and decision support]. M.: Izdatel'stvo IKAR = M.: Publishing house IKAR. 2009. 245 p. (in Russian)
14. Rajkov A.N. Komp'yuternaya podderzhka reflektivnyh processov v upravlenii/ v sb. "Psihologiya i ee prilozheniya". Ezhegodnik Rossijskogo psihologicheskogo obshchestva [Computer support for reflexive processes in management. Sat "Psychology and its applications". Yearbook of the Russian Psychological Society]. T. 9, vyp. 1 = Vol. 9. Issue 1. M.: 2002. Pp. 52 – 53 (in Russian)
15. Shubenkova A. Yu., Rajkov A. N., Efimov A. B. Optimizaciya raspredeleniya polnomochij v ramkah regional'noj informatizacii [Optimization of the distribution of full powers in the framework of regional informatization] // Informacionnoe obshchestvo = Information Society. 2015. № 2-3. Pp. 68-79 (in Russian)
16. Gubanov, D., Korgin, N., Novikov, D., Raikov, A. E-Expertise: Modern Collective Intelligence. Springer. Series: Studies in Computational Intelligence. Vol. 558. 2014. XVIII, 112 p.
17. Vinogradov, G. Decision Making based of Subjective Conceptions of Decision situation // Interactive Systems and Technologies: the Problems of Human-Computer Interaction. Collection of Scientific papers. Uljanovsk. 2011. Pp. 403-414.