

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Р. Бакасов¹, Г. Н. Санаева², Ю. А. Воронин¹, А. Е. Пророков², В. Н. Богатилов¹

¹ *Тверской государственный технический университет,
Тверь, Российская Федерация*

² *Новомосковский институт Российского химико-технологического университета
имени Д. И. Менделеева,
Тульская область, Новомосковск, Российская Федерация*

Рассматриваются вопросы интеллектуальной организации управления технологической безопасностью в условиях неопределенности и быстрых изменений состояния промышленных процессов. Использование методологий искусственного интеллекта, в частности агентных технологий, повышает потенциал самоорганизации промышленной системы и способствует увеличению эффективности принимаемых решений. Интеллектуализация организационно-технологических систем должна стимулировать заинтересованность предприятия в развитии его системы знаний, в позитивных направлениях поиска разрешения критических ситуаций. Возникает необходимость в поиске как методологических, так и новых теоретических подходов в вопросах проектирования системы управления организационно-технологическими объектами. Такие подходы обычно основываются на принципах адаптации и самоорганизации. В настоящее время основным инструментом интеллектуализации промышленных организационно-технологических систем являются агентно-ориентированные технологии построения систем управления. Обычно под агентом понимается высокоуровневая абстракция, которая наделяется определенной функциональностью. Функциональность зависит от круга задач, которые необходимо решать данному элементу при работе всей системы в целом. Чтобы удержать передовые позиции в сложных процессах управления технологиями, необходимо использовать инновационный подход интеллектуализации инструментов управления предприятием. Одним из таких инновационных инструментов может стать концепция «Интеллектуализация управления», центральным звеном которой является интеллектуальный капитал предприятия, представляющий собой основу его дальнейшего устойчивого развития и эффективного функционирования.

Ключевые слова: состояние агента, нечеткая ситуация, технологический процесс, управляющее решение, субъективная оценка идеала, функционирование системы, смена состояний, модели поведения.

Для цитирования: Бакасов С. Р., Санаева Г. Н., Воронин Ю. А., Пророков А. Е., Богатилов В. Н. Управление технологической безопасностью промышленных процессов на основе мультиагентного моделирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 37–45. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-37-45.

Введение

Особенностью современного этапа развития систем управления промышленными технологиями является становление систем, основанных на знаниях. Знания всегда были базой успешного решения задачи повышения качества управления производственными системами. Применение знаний основано на интеллектуализации как систем управления, так и объектов управления. Одним из основных направлений повышения эффективности работы промышленных процессов является использование методологий искусственного интеллекта, в частности агентных технологий. Их применение повышает потенциал самоорганизации промышленной системы и способствует увеличению эффективности принимаемых решений [1, 2]. Эффективность управления в организационно-технологических системах зависит как от организационной составляющей таких систем, так и от системы мониторинга состояния оборудования, контрольно-измерительных приборов, систем регулирования параметров и состояния самого технологического процесса [3].

Современные промышленные системы всегда были основаны на двух основных составляющих – организационных и технологических. Консолидация интеллектуального капитала происходит по двум направлениям: интеллектуализация организационной системы и интеллектуализация технологической системы. Интеллектуализация приводит к синергетическому эффекту. Это объясняется повышением эффективности деятельности системы в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет эмерджентности (системного эффекта). Основным инструментом в реализации интеллектуального подхода в производственных системах являются агентные технологии.

Рассмотрим подход к интеллектуализации технологической составляющей системы управления. Класс задач управления промышленными технологиями, динамически изменяющимися системами всегда вызывал ряд сложностей при практической реализации. В работе предлагается схема системы управления сложными динамическими системами, основанная на применении агентной технологии и позволяющая реализовать механизм самоорганизации. Будем рассматривать решение задач, связанных с управлением безопасностью сложных технологических систем.

Основная сложность заключается в том, что большинство систем находится под влиянием внешних и внутренних факторов. Обычно их функционирование в процессе эксплуатации носит динамический характер. Как следствие этих влияний, возникает необходимость изменения структуры и функциональности системы. В них могут появляться новые элементы или исчезать старые. Качественная составляющая элементов систем также может быть различна и при этом меняться со временем (организационная составляющая). Для создания информационных систем для таких объектов необходимо использовать методологии анализа, моделирования и синтеза систем управления, базирующихся на фундаментальных знаниях о слабо структурированных ситуациях на основе методов искусственного интеллекта, механизмов целеполагания и пересмотра критериев качества управления в условиях неполноты информации, основанных на применении агентных технологий. При этом возникает необходимость в наделении системы управления свойством самоорганизации. Предлагается реализовать механизм самоорганизации в рамках агентной системы, на основе порождающих функций агентов верхнего уровня.

Вторая сложность, возникающая при решении данного класса задач, заключается в отсутствии или нехватке информации, необходимой при принятии управленческих решений в таких системах. Решение этой задачи возлагается на механизмы адаптации, закладываемые в поведение агентов в рамках задач, решение которых возлагается на конкретный класс агентов.

Модель поведения агента

Предполагаем, что агент может находиться в m состояниях в области, которая образована ограничениями $y = \{y_i, i = \overline{1, m}\} \in Y$. Зададим:

- p – потенциал агента, $y \in Y(p) \subseteq R^m$;
- $u \in U$ – управляющие воздействия центра, $f: u \rightarrow p$;
- $\xi \in \Theta = [a, b] \subset R^1$ – восприятие агентом в реальной ситуации свойств состояния данного объекта (a – знания, разделяемые всеми агентами и центром; b_i – знания, известные данному агенту i). Агент убежден в необходимости данных знаний, $b_i = b_i(u_i)$;
- $Y(p)$ является выпуклым и замкнутым, из чего следует, что возможности агента обладают свойством транзитивности $Y(p_1) \subseteq Y(p_2) \subseteq \dots \subseteq Y(p_3) \subseteq \dots \subseteq W(p)$ и носят предельный характер, где $W(p)$ – область возможных состояний;
- $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ – множество возможностей агента, зависящих от управления u ;
- состояния $Y(p(u), \xi)$, расширяющиеся на множестве свойств Θ , т. е. $Y(p(u), \xi_1) \subset Y(p(u), \xi)$ для $u \in U$, $\xi, \xi_1 \in \Theta$, $\mu(\xi) > \mu(\xi_1)$, $\mu(\bullet)$ – оценки агента необходимости своих представлений, что означает $W(p(u), \xi) \cap W(p(u), \xi_1) = \emptyset$, $\mu(\xi) \neq \mu(\xi_1)$, $\xi, \xi_1 \in \Theta$.

Пусть множество состояний агента непрерывно на множестве $Y(p(u), \xi)$. Множество представлений агента в различных ситуациях является основой выбора $u \in U$ и $\xi \in \Theta$ для состояний целеустремленного поведения.

Модель области существования агента

Любая технологическая система характеризуется набором множеств параметров: множество технологических параметров $T = \{T_i, i = 1, \dots, I\}$, множество конструктивных параметров $K = \{K_j, j = 1, \dots, J\}$, множество параметров управления $U = \{U_l, l = 1, \dots, L\}$. В течение времени $t \in (t_0, t_k)$ состояние технологического процесса постоянно меняется. На рис. 1 показана область работоспособных нормальных состояний – S_p ($S_p \subseteq S$).

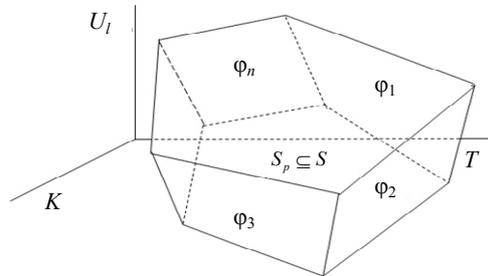


Рис. 1. Область существования состояний системы

Данная область получается как результат наложения ограничений на параметры технологического процесса $\varphi(T, K, U) \leq 0$. Множество всех состояний, которые принадлежат области ограничений, – это область всех работоспособных состояний процесса: $S_p \subseteq S$ (рис. 2).

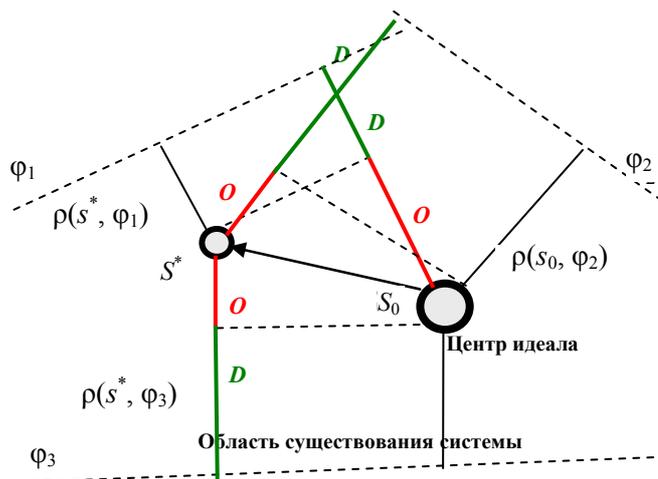


Рис. 2. Оценка идеала

Обозначения, используемые на рис. 2, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Описание переменных и формул

Формулы и обозначения	Описание
S	Множество состояний объекта управления
S_p	Множество состояний агента
$\varphi_i, i = 1, \dots, n$	Границы области состояния агента выделяет на S множество S_p
S_0	Точка процесса, соответствующая области оценки центра безопасности
s^*	Текущая точка области состояний процесса
$l_i = \min(s^*, \varphi_i)$	Величина отклонения точки s^* до границы области φ_i возможных представлений наилучшего состояния агента
$\Delta_i^* = \min \rho(s^*, s_0)_{\varphi_i}$	Величина отклонения точки s^* до центра представления наилучшего состояния агента S_0 относительно границ
$\delta_i = \min \rho(s_0, \varphi_i)$	Расстояние от центра субъективного идеала S_0 до границ области возможных состояний $\varphi_i, i = 1, \dots, n$
$O_i = d_i - l_i$	Степень удаленности данного состояния s^* относительно границ $\varphi_i, i = 1, \dots, n$
$D_i = \delta_i - O_i$	Степень удаленности для данного состояния s^* относительно границ $\varphi_i, i = 1, \dots, n$

Последовательная смена состояний S_i на некотором промежутке времени $(t_0; t_k)$ рассматривается как процесс функционирования технологии [3]. Процесс переходит во внештатную ситуацию при выходе за границы ограничений.

Оценка центра идеала. Агент формирует представление о системе на основе субъективной оценки свойств объекта управления посредством своих познавательных механизмов. На рис. 2 показана область возможных состояний технологического процесса и наиболее благоприятная точка (центр идеала), в которой достигается лучшая реализация технологии получения продукции с наименьшим риском ведения производственного процесса.

Центр области субъективного идеала. Суть управления при использовании агентных технологий определяется стремлением к определенным эталонным состояниям. Эталонные состояния формируются по принципу предпочтительности. Формирование принципов предпочтительности осуществляется на этапе проектирования системы и корректируется на основе накопленных знаний в процессе работы системы. На этом этапе выделяются различные классы работоспособных и неработоспособных состояний. Строится система диагностики для целей принятия решений. Определяется основная задача управления технологией. Решается задача стабилизации технологического процесса в области центра.

Механизм принятия решений агентом

Технология принятия решений строится в соответствии с иерархией принятия решений. Центр владеет некоторым множеством u управляющих решений или правил поведения для некоторой конкретной ситуации. Вначале выполняется анализ входной ситуации ${}^T S_0$, которая сравнивается с возможными эталонными ситуациями $\mathcal{S}_i \in S_s, (i = 1, 2, \dots)$. Идентифицируется нечеткая ситуация, которая наиболее приближена к одной из нечетких эталонных ситуаций. Затем определяется управляющее решение $\mathcal{S}_i \rightarrow R_i$. В соответствии с операцией нечеткой эквивалентности [4] строится модель операции сравнения.

Определение нечеткой ситуации. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество признаков, используемых агентом. Для каждого признака x_i вводятся лингвистические переменные $\langle \beta_i, E_i, F_i \rangle$ ¹ (рис. 3).

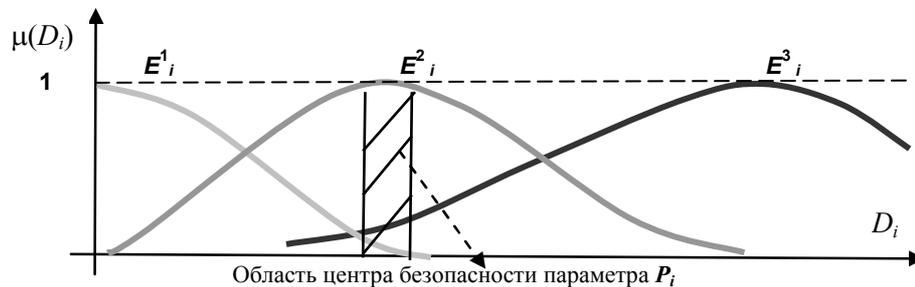


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистической переменной $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$

Нечеткая эквивалентность. Мера близости ситуаций оценивается на основе двух критериев: степени нечеткого равенства и степени нечеткого включения.

Степень нечеткого [4] включения определяется выражением

$$v(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) = \&_X v(\mu_{S_{X_i}}(X), \mu_{S_{X_j}}(X)),$$

где

$$v(\mu_{S_{X_i}}(X), \mu_{S_{X_j}}(X)) = \&_{E_k} \left(\mu_{\mu_{S_{X_i}}(X)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{S_{X_j}}(X)}(E_k) \right),$$

¹ β_i – название лингвистической переменной; $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^M\}$ – терм-множество лингвистической переменной β_i ; F_i – базовое множество лингвистической переменной β_i .

$\mathcal{S}_i \subseteq \mathcal{S}_j$ при степени включения \mathcal{S}_i в \mathcal{S}_j , принадлежащих интервалу порога включения $t_{inc} \in [0,6; 1]$, в этом случае $v(\mathcal{S}_i, \mathcal{S}_j) \in t_{inc}$.

Степень нечеткого равенства. Ситуации ${}^T\tilde{S}_{X_i}$ и \tilde{S}_{X_j} нечетко равны, если множество ${}^T\tilde{S}_{X_i}$ содержит ситуации \tilde{S}_{X_i} и \tilde{S}_{X_j} , которые характеризуются формулами вхождения множеств ${}^T\tilde{S}_{X_i} \subseteq \tilde{S}_{X_j}$, а $\tilde{S}_{X_j} \subseteq {}^T\tilde{S}_{X_i}$. Из этого следует $\mu(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) = v(\tilde{S}_{X_i}, \tilde{S}_{X_j}) \& v(\tilde{S}_{X_j}, \tilde{S}_{X_i})$.

Принято, что множество эталонных ситуаций $\tilde{S}_s = \{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n\}$ ($n \leq N$) не содержит нечетко равных ситуаций (\mathcal{S}_s является полным множеством). Ситуация \mathcal{S}_i существует для любой входной ситуации S_0 . Для эталонной ситуации формируется алгоритм управляющих решений [5].

Индекс безопасности. Субъективная оценка идеала. Введем понятие индекса идеала для характеристики субъективной оценки идеала. Для оценки текущего состояния системы агентом сравнивается на нечеткое равенство входная нечеткая ситуация и нечеткая ситуация, определяющая центр безопасности. Нечеткое равенство $In(\tilde{S}_X^*) = v(\tilde{S}_X^*, \tilde{S}_{X_0}) \& v(\tilde{S}_{X_0}, \tilde{S}_X^*)$ определяет субъективный индекс идеала технологической безопасности.

Ниже представлены примеры расчета функций индекса технологической безопасности как оценки субъективного индекса идеала агента (рис. 4).

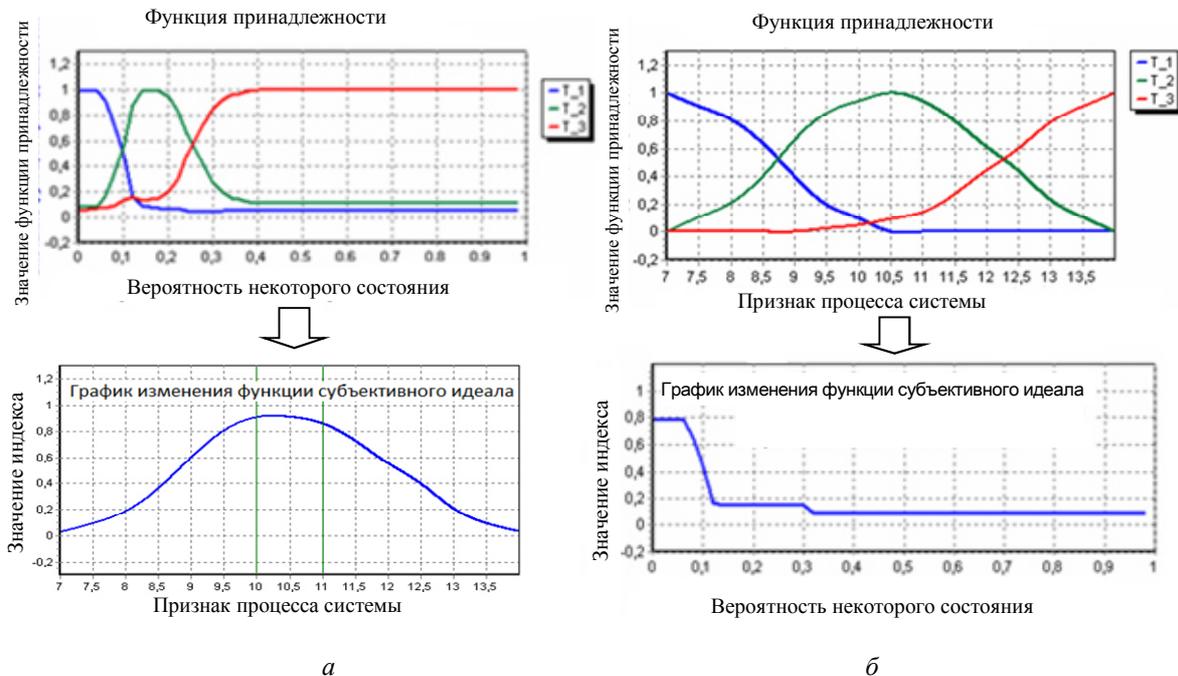


Рис. 4. Результаты расчета индекса безопасности:
 а – индекс безопасности технологического режима;
 б – индекс безопасности оборудования и систем управления

Модель цели поведения агента

Вводятся лингвистические переменные. Выполняется формализация семантической информации. Эта информация носит описательный, словесный характер, источником которой являются экспертные опросы обслуживающего персонала. Осуществляется перевод информации на язык нечеткой логики. Формируются управляющие решения. Формируется база данных на основе мониторинговых измерений (табл. 2).

Структура базы данных и результатов счета

Структура базы данных														
Номер состояния	p_1			...	p_n			d_1			...	d_m		
	T_1	T_2	T_3	...	T_1	...	T_k	T_1	T_2	...	T_1	T_2	T_3	
1	$\mu_{11}(p_1)$	$\mu_{12}(p_1)$	$\mu_{13}(p_1)$...	$\mu_{11}(p_n)$...	$\mu_{1k}(p_n)$	$\mu_{11}(d_1)$	$\mu_{12}(d_1)$...	$\mu_{11}(d_m)$	$\mu_{12}(d_m)$	$\mu_{13}(d_m)$	
2	$\mu_{21}(p_1)$	$\mu_{22}(p_1)$	$\mu_{23}(p_1)$...	$\mu_{21}(p_n)$...	$\mu_{2k}(p_n)$	$\mu_{21}(d_1)$	$\mu_{22}(d_1)$...	$\mu_{21}(d_m)$	$\mu_{22}(d_m)$	$\mu_{23}(d_m)$	
...	
v	$\mu_{v1}(p_1)$	$\mu_{v2}(p_1)$	$\mu_{v3}(p_1)$...	$\mu_{v1}(p_n)$...	$\mu_{vk}(p_n)$	$\mu_{v1}(d_1)$	$\mu_{v2}(d_1)$...	$\mu_{v1}(d_m)$	$\mu_{v2}(d_m)$	$\mu_{v3}(d_m)$	
Расчет индекса														
1 этап														
	p_1			...	p_n			d_1			...	d_m		
1	$In_1(\tilde{S}_{p_1})$...	$In_1(\tilde{S}_{p_n})$			$In_1(\tilde{S}_{d_1})$...	$In_1(\tilde{S}_{d_m})$		
...		
v	$In_v(\tilde{S}_{p_1}^*)$...	$In_v(\tilde{S}_{p_n}^*)$			$In_v(\tilde{S}_{d_1})$...	$In_v(\tilde{S}_{d_m})$		
2 этап														
1	$In_1(\tilde{S}_{p(1-n)})$						$In_1(\tilde{S}_{d(1-m)})$							
...							
v	$In_v(\tilde{S}_{p(1-n)})$						$In_v(\tilde{S}_{d(1-m)})$							
3 этап														
1	$In_{Risk_1}(\tilde{S})$													
...	...													
v	$In_{Risk_v}(\tilde{S})$													

На основе сформированной базы данных вычисляются субъективные оценки идеала.

Структура базы данных отражает варианты расчета для показателей безопасности функционирования технологической системы. При этом учитываются ущербы, возникающие в процессе функционирования системы. На основе того же механизма вычислений определяется индекс субъективной оценки идеала риска:

$$In_{Risk}(\tilde{S}^*) = \{In(\tilde{S}_p^*), In(\tilde{S}_d^*)\},$$

где $In(\tilde{S}_p^*)$ – индекс оценки идеала субъективной безопасности; $In(\tilde{S}_d^*)$ – индекс оценки идеала субъективной идеала ущерба.

Модель состояний системы с точки зрения центра

Процесс функционирования системы представляет собой непрерывную смену состояний. Смена состояний зависит от воздействия внешних и внутренних факторов. Возникает процесс смены состояний системы. Непрерывно меняются значения индексов. Наиболее подходящей моделью, которая описывает смену состояний, является марковская модель. Примером для системы с четырьмя состояниями может быть система, показанная на рис. 5.

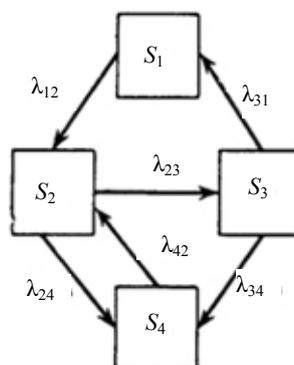


Рис. 5. Пример размеченного графа с четырьмя состояниями [6]

Эта система может быть описана системой уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dIn_1^{Risk}}{dt} = -\lambda_{12}In_1^{Risk} + \lambda_{31}In_3^{Risk}, \\ \frac{dIn_2^{Risk}}{dt} = -\lambda_{23}In_2^{Risk} - \lambda_{24}In_2^{Risk} + \lambda_{12}In_1^{Risk} + \lambda_{42}In_4^{Risk}, \\ \frac{dIn_3^{Risk}}{dt} = -\lambda_{31}In_3^{Risk} - \lambda_{34}In_3^{Risk} + \lambda_{23}In_2^{Risk}, \\ \frac{dIn_4^{Risk}}{dt} = -\lambda_{42}In_4^{Risk} + \lambda_{24}In_2^{Risk} + \lambda_{34}In_3^{Risk}, \end{cases}$$

где $\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{In_{ij}^{Risk}(\Delta t)}{\Delta t}$ плотность перехода [6]; λ_{ij} – предел отношения значения индекса субъективной оценки идеала агента за время Δt при переходе из состояния S_i в состояние S_j к длине промежутка Δt . В уравнении левая часть – производная функции. Вывод аналогичных соотношений приведен в [6]. Условия, при которых цепь Маркова имеет единственное стационарное распределение и обладает эргодическими свойствами, приведены в [7].

Рискоустойчивое целеустремление

Задача состоит в определении поведения системы, при котором доход будет стремиться к максимальной величине. Опираясь на знания агента, центром определяется стратегия системы. Правильная стратегия определяет выбор смены состояний системы в заданный отрезок времени в течение N периодов. В работе рассматривается решение задачи методом динамического программирования. $f_n(i)$ – максимальный средний ожидаемый доход. Доход определяется в пределах от n до N включительно. Тогда получаем рекуррентное соотношение, определяющее связь $f_n(i)$ с числами $f_{n+1}(j)$ ($j = 1, 2, \dots, m$):

$$f_n(i) = \max_k \{ \sum_{j=1}^m p_{ij}^k [r_j^k + f_{n+1}(j)] \}, n = 1, 2, \dots, N,$$

где k – номер используемой стратегии. С вероятностью p_{ij}^k определяется общий суммарный доход $r_{ij}^k + f_{n+1}(j)$ при переходе на этапе n из состояния i в состояние j на этапе $n + 1$. Введя обозначение $v_i^k = \sum_{j=1}^m p_{ij}^k r_j^k$, получаем рекуррентное уравнение

$$\begin{aligned} f_N(i) &= \max_k \{v_i^k\}; \\ f_n(i) &= \max_k \{v_i^k + \sum_{j=1}^m p_{ij}^k f_{n+1}(j)\}, n = 1, 2, \dots, N-1. \end{aligned}$$

На основе данной модели вычисления $f_n(i)$ осуществляется выбор управляющих решений для задач с конечным числом этапов. Использование метода представлено, например, в [8]. В работе приводятся методологические результаты предложенных теоретических положений.

Заключение

Таким образом, следует отметить, что система агентов, снабженная механизмом самоорганизации и адаптации, будет обладать рядом весомых преимуществ по сравнению с другими системами. Рассмотренная система будет иметь возможность изменения своей структуры в «синхронном» режиме с изменением структуры управляемой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Г. П. Индивидуальное принятие решений: поведение целеустремленного агента: науч. моногр. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2011. 164 с.

2. *Виноградов Г. П., Кузнецов В. Н.* Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 3. С. 58–72.
3. *Палюх Б. В., Богатиков В. Н., Пророков А. Е., Алексеев В. В.* Приложение метода разделения состояний для управления технологической безопасностью промышленных процессов на основе нечетко определенных моделей: моногр. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2009. 348 с.
4. *Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
5. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
6. *Венцель Е. С.* Исследование операций. М.: Совет. радио, 1972. 551 с.
7. *Климов Г. П.* Теория массового обслуживания. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. С. 312.
8. *Таха Х.* Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2001. 912 с.

Статья поступила в редакцию 25.07.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бакасов Сабир Румович – Россия, 170026, Тверь; Тверской государственный технический университет; аспирант кафедры информационных систем; Sabir17204@gmail.com.

Санаева Галина Николаевна – Россия, 301665, Тульская область, Новомосковск; Новомосковский институт Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева; старший преподаватель кафедры вычислительной техники и информационных технологий; gsanaeva@nirhtu.ru.

Воронин Юрий Анатольевич – Россия, 170026, Тверь; Тверской государственный технический университет; аспирант кафедры информационных систем; vutver@mail.ru.

Пророков Анатолий Евгеньевич – Россия, 301665, Тульская область, Новомосковск; Новомосковский институт Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры вычислительной техники и информационных технологий; a_prorokov@mail.ru.

Богатиков Валерий Николаевич – Россия, 170026, Тверь; Тверской государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры информационных систем; vnbgtk@mail.ru.



CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL SAFETY OF INDUSTRIAL PROCESSES BASED ON MULTIAGENT MODELING

S. R. Bakasov¹, G. N. Sanaeva², Yu. A. Voronin¹, A. E. Prorokov², V. N. Bogatikov¹

¹ Tver State Technical University,
Tver, Russian Federation

² Dmitri Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Novomoskovsk Institute,
Tula region, Novomoskovsk, Russian Federation

Abstract. The paper focuses on the intellectual organization of technological security management in conditions of uncertainty and rapid changes in the industrial processes. Application of artificial intelligence methodologies, namely, agent technology increases the self-organization potential in the industrial system and helps to increase the efficiency in decision making. Intellectualization of organizational and technological systems should stimulate the enterprise's interest in the development of its knowledge system, in positive ways of finding solutions to critical situations. It becomes necessary to search solutions for both methodological and new theoretical approaches to designing a control system for such organizational and technological entities. Such approaches are usually based on adaptation and self-organization principles. Currently, the main tool for the intellectualization of industrial organizational and technological systems is agent-oriented technology for building control systems. Usually, an agent is a high-level abstraction that

is given certain functionality. Functionality depends on the range of tasks that this element needs to solve when working with the system as a whole. To maintain a leading position in complex technology management processes, it is necessary to use an innovative approach to the intellectualization of enterprise management tools. One of such innovative tools could be the concept of intellectualization of management, the centerpiece of which is the intellectual capital of the enterprise making the basis for its further sustainable development and effective functioning.

Key words: agent status, fuzzy situation, technological process, managerial decision, subjective evaluation of ideal, system functioning, state transition, behavior pattern.

For citation: Bakasov S. R., Sanaeva G. N., Voronin Yu. A., Prorokov A. E., Bogatikov V. N. Control system of technological safety of industrial processes based on multiagent modeling. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2019;4:37-45. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-37-45.

REFERENCES

1. Vinogradov G. P. *Individual'noe priniatie reshenii: povedenie tselestremennogo agenta: nauchnaia monografiia* [Individual decision making: purposeful agent behavior: monograph]. Tver', Izd-vo TGTU, 2011. 164 p.
2. Vinogradov G. P., Kuznetsov V. N. Modelirovanie povedeniia agenta s uchetom sub"ektivnykh predstavlenii o situatsii vybora [Modeling agent behavior subject to subjective ideas about decision situation]. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii*, 2011, no. 3, pp. 58-72.
3. Paliukh B. V., Bogatikov V. N., Prorokov A. E., Alekseev V. V. *Prilozhenie metoda razdeleniia sostoiianii dlia upravleniia tekhnologicheskoi bezopasnost'iu promyshlennykh protsessov na osnove nechetko opredelennykh modelei: monografiia* [Application of state separation method for controlling technological safety of industrial processes based on fuzzy defined models: monograph]. Tver', Izd-vo TGTU, 2009. 348 p.
4. Melikhov A. N., Bernshtein L. S., Korovin S. Ia. *Situatsionnye sovetuiushchie sistemy s nechetkoi logikoi* [Situational advisory systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 272 p.
5. Pospelov D. A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriia i praktika* [Situational management: theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 288 p.
6. Ventsel' E. S. *Issledovanie operatsii* [Examining situations]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1972. 551 p.
7. Klimov G. P. *Teoriia massovogo obsluzhivaniia* [Queuing theory]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 2011 g. S. 312.
8. Takha Kh. *Vvedenie v issledovanie operatsii* [Principles of operations research]. Moscow, Izd. dom «Vil'iams», 2001. 912 p.

The article submitted to the editors 25.07.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bakasov Sabir Rumovich – Russia, 170026, Tver; Tver State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Information Systems; Sabir17204@gmail.com.

Sanaeva Galina Nikolaevna – Russia, 301665, Tula region, Novomoskovsk; Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Novomoskovsk Institute; Senior Lecturer of the Department of Computer Engineering and Information Technologies; gsanaeva@nirhtu.ru.

Voronin Yuri Anatolievich – Russia, 170026, Tver; Tver State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Information Systems; vutver@mail.ru.

Prorokov Anatoly Evgenievich – Russia, 301665, Tula region, Novomoskovsk; Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Novomoskovsk Institute; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Computer Engineering and Information Technologies; a_prorokov@mail.ru.

Bogatikov Valery Nikolaevich – Russia, 170026, Tver; Tver State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Information Systems; vnbgtk@mail.ru.

