

УДК 65.011.56

*И.О. Темкин, А.Н. Гончаренко*

## **ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

*I.O. Temkin, A.N. Goncharenko*

## **INTERACTION MODELLING PROBLEMS OF INTELLECTUAL AGENTS AT THE MINING ENTERPRISE**

Статья посвящена аналитическому обзору перспективных проблем в области автоматизированного управления горным производством. Обсуждаются возможности построения мультиагентной системы на основе взаимодействия интеллектуальных агентов в рамках горного производства, рассматриваются соответствующие математические модели.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГЕНТ, ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ИНФОРМАТИЗАЦИЯ, ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ.

Article is devoted to the state-of-the-art review mountain branch problems today in the management and automation field. Possibilities multiagentny system creation on the interaction intellectual agents basis for mining are discussed, the corresponding mathematical models are considered.

MULTIAGENTNYE OF SYSTEM, INTELLECTUAL AGENT, MINING ENTERPRISE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, INFORMATIZATION, MINING ENTERPRISE.

Современное состояние горного производства характеризуется существенным ухудшением промышленных запасов полезного ископаемого вследствие выработки наиболее благоприятных для разработки богатых залежей. При этом на многих горнопромышленных предприятиях нет реальной расчетной оценки уровня применяемой технологии добычи и возможностей модернизации, реконструкции и обновления существующих технологических схем, машин и сооружений с целью повышения их эффективности. Также по всей отрасли в целом нарушено специфическое, присущее только горнодобывающему производству сырьевое равновесие между вскрытыми, подготовленными и готовыми к выемке запасами. Традиционно одним из направлений улучшения производственно-хозяйственной деятельности горнопромышленного предприятия является автоматизация отдельных процессов. Сегодня актуальной становится концепция построения интеллектуального горного предприятия, в рамках которой предполагается использование не только

отдельных компьютерных моделей, но альтернативная реализация технологий безлюдной добычи полезного ископаемого [5].

В связи с этим требуются новые методы диагностического обследования горных предприятий, с использованием которых можно сделать выводы о качественной и количественной стороне интеллектуализации и дать точную интегральную оценку модели поведения предприятия.

Таким образом, традиционная концепция повышения эффективности системы управления горнопромышленным предприятием за счет создания автоматизированных систем управления отдельными технологическими процессами на горнопромышленном предприятии должна быть пересмотрена. Интегрирование инструментов искусственного интеллекта (ИИ) в автоматизированные системы придает моделям реальности новые характеристики, которые мы получаем путем погружения некоторых относительно простых инструментов ИИ в технологическую среду.

Как известно, естественной методологической



базой решения проблем автоматизации и интеллектуализации горнопромышленного предприятия служат системные исследования. Главным требованием методологии системных исследований является необходимость разработки единой концептуальной модели горнопромышленного предприятия, которая заключается в согласованности действий различных систем управления. Интеллектуальная горнотехническая система должна непрерывно определять и отслеживать характеристики объекта управления, обязательно использование обратной связи и наличия надежной автоматизированной информационной системы [1, 2]. Управление такими системами всегда проходит в условиях принципиальной неопределенности развития и неполной наблюдаемости. Построение формальных моделей для большинства процессов горнопромышленного предприятия представляется крайне затруднительным.

Вот почему представляется важным обсудить возможность создания мульттиагентной системы (МАС) горнопромышленного предприятия, учитывающей взаимодействие различных компонент производства, включающих технические, технологические и социотехнические объекты горного производства.

На сегодняшний день существует целый ряд интеллектуальных моделей, методов и технологий, которые успешно применяются при управлении сложными промышленными объектами и социотехническими системами (рис. 1) [7, 9].



Рис. 1. Технологии, которые могут быть использованы интеллектуальными агентами на горнопромышленном предприятии

Т а б л и ц а 1

**Классификация параметров функционирования горнопромышленного предприятия для использования интеллектуальных агентов (фрагмент)**

Параметры функционирования горнопромышленного предприятия	Простые	Сложные	Постоянные	Переменные
Качество полезного ископаемого	-	+	-	+
Валовая ценность полезного ископаемого	-	+	-	+
Производственная мощность рудника.	-	+	+	-
Срок разработки месторождения	-	+	+	-
Полнота и качество извлечения полезного ископаемого при добыче и переработке	-	+	-	+
Размеры шахтного поля	-	-	+	+
Шаг вскрытия,	-	-	+	+
Граничная глубина открытых и подземных разработок	-	-	+	+
Размеры элементов систем разработки (высота этажа, размеры блока, панели, камеры.)	+	-	-	+
Размеры сечения горнокапитальных выработок	+	-	+	+
Срок строительства и освоения проектной мощности месторождения	+	-	+	-
Удельные и общие капитальные вложения в месторождение и его хозяйство	-	+	-	+
Параметры буровзрывных работ.	-	-	-	-
Размеры негабарита (гранулометрический состав и др.)	+	-	-	+
...	...	...	...	...
Размеры целиков	-	+	-	+

Однако горное производство имеет целый ряд специфических черт, обуславливающих сложность внедрения формальных методов и моделей управления.

Первая и наиболее отличительная особенность горного предприятия это характер производства, относящийся к классу дискретно-непрерывного. Вторая и не менее существенная – это наличие специфического объекта управления – природы (стохастичность процессов, распределяемость параметров и т.д.). Следующая особенность в специфике самой системы управления, включающей в себя сложные функциональные блоки, такие как

геологический, маркшейдерский и др. Данное обстоятельство вызывает необходимость осуществления определенных классификаций параметров функционирования горнопромышленного предприятия и различных типов агентов для того, чтобы корректно подойти к математическим постановкам задач (таблица 1). Простыми параметрами являются те, которые можно находить обособленно. Сложные и переменные, соответственно, наоборот.

На основе данной классификации видно, что параметры представляются, либо простыми, либо сложными, но могут быть одновременно как постоянными, так и переменными, что обусловлено спецификой горного производства, где большинство процессов не являются детерминированными. И в последующем могут описываться величинами, которые могут быть предсказаны, либо случайными. Подобная классификация показывает, что формальные существующие на сегодняшний день модели прогноза и управления в горной промышленности не всегда применимы на горном предприятии и возникает необходимость создания принципиально новых подходов создания мультиагентных систем [6, 8].

Создание данных элементов МАС представляется возможным при использовании следующих агентов (таблица 2), для которых характерно целесообразное поведение, предполагающее наличие у агента целей функционирования и способностей использовать знания об окружающей среде, партнерах и о своих возможностях.

Таким образом, создание МАС на горнопромышленном предприятии подразумевает собой системные исследования в области мультиагентных систем по следующим направлениям (рис. 2). При этом должны решаться следующие задачи:

разработка архитектуры агента, где подразумевается наличие подсистемы моделирования, необходимой агенту для построения сценариев собственного развития, развития агентов-конкурентов и развития внешней среды, на основании которых агент определяет свое поведение в настоящем и будущем, а также прогнозирует экономическую эффективность инновационных проектов.

разработка способов программной реализа-

ции моделей взаимодействия между агентами, на основе которых строится модель ролей и взаимодействий, а затем проектируются агенты и их взаимодействия [3, 10].

Т а б л и ц а 2

**Классификация свойств агентов, которые могут войти в состав МАС, создаваемой на горном предприятии**

Признак	Тип агента		
	простой	смысловой	интеллектуальный
Автономность	+	-	+
Взаимодействие с другими агентами и/или пользователями	+	+	+
Реактивность	+	+	+
Способность использования абстракции	-	+	+
Адаптивное поведение	-	+	+
Обучение на основе взаимодействия с окружением	-	-	+
Толерантность к ошибкам и/или неверным входным сигналам	-	-	+
Функционирование в режиме реального времени	-	-	+
Взаимодействие на естественном языке	-	-	+



Рис.2. Направления системных исследований мультиагентных систем горнопромышленного предприятия

Существующие архитектуры агентов можно классифицировать следующим образом (таблица 3).

Структурный анализ функциональных свойств агента позволил выделить организационную структуру, формально описываемую в виде:

$$ORG^A = \left\langle \begin{matrix} G^A, RL^A, CP^A, ACT^A \\ STR^A, L, ST, SL, T \end{matrix} \right\rangle, \quad (1)$$

где  $GA$  – дерево целей агента, которые он должен достичь для решения поставленной перед ним задачи;  $RLA$  – множество ролей агента, в которых он должен выступать для достижения соответствующих целей;  $CPA$  – множество навыков и способностей агента, которыми он должен обладать для исполнения соответствующей роли;  $ACTA$  – множество действий;  $STRA$  – множество стратегий поведения агента в направлении достижения соответствующих целей;  $L$  – множество языков;  $ST$  – множество состояний агента;  $SL$  – множество законов (правил) и ограничений функционирования агента (парные);  $T$  – обобщенная функция переходов.

Анализ парадигмы  $MAC$  приводит к необходимости определения новых понятий: интеллектуального расстояния между агентами различных типов и интеллектуального веса агента, которые вытекают из классификации агентов с позиции разумных свойств, присущих как живым существам, так и техническим системам.

Интеллектуальное расстояние:

$$ID = \sum_{i=S_1}^{T_3} |Par_{ai} - Par_{bi}|, \text{ где } Par_{ai}, Par_{bi}$$

значение признака для агентов  $a$  и в соответственно, а  $i$  – пробегает множество  $\{S_1, S_2, M_1, M_2, M_3, T_1, T_2, T_3\}$ , где  $S_i$  – сенсорные характеристики агента,  $M_i$  – характеристики памяти агента,  $T_i$  – характеристики действий агента во времени:

Интеллектуальный вес агента:

$$IW = \sum_{i=S_1}^{T_3} Par_i$$

определяется суммой значений параметров от  $S1$  до  $T3$ . Для агентно-ориентированных систем вводится понятие среднего веса интеллектуального агента (ИА) в системе:

$$IW_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IW_i,$$

где  $n$  – число  $ИА$  в  $MAC$ , а  $IWi$  – вес  $i$ -го  $ИА$ .

На основе этого можно определить понятие Информационное пространство  $ИА_i$ , которое определяется как совокупность интеллектуальных агентов, окружающих  $ИА_i$  и «интересующих» его, совокупность интеллектуальных объектов ( $ИО$ ), окружающих  $ИА_i$  и «интересующих» его, и множества атрибутов, которые необходимы  $ИА_i$  для оценки состояния окружающей среды.

$$\begin{aligned} V_{IA_i} &= (AR_{IA}^i, AR_{IO}^i) \\ AR_{IA}^i &= (NIA_j, A_{IA_j}^\xi, \dots, A_{IA_j}^\psi, NIA_l, A_{IA_l}^\xi, \dots, A_{IA_l}^\psi) \\ AR_{IO}^i &= (NIO_j, A_{IO_j}^\xi, \dots, A_{IO_j}^\psi, NIO_l, A_{IO_l}^\xi, \dots, A_{IO_l}^\psi) \end{aligned}$$

При этом Состоянием информационного пространства  $ИА_i$  будем называть совокупность значений  $AR_{IA}^i, AR_{IO}^i$  в момент времени  $t$ :

$$SV_{IA_i} = \left( \begin{matrix} \langle A_{IA_j}^\xi \rangle, \dots, \langle A_{IA_j}^\psi \rangle, \dots \\ \langle A_{IA_l}^\xi \rangle, \dots, \langle A_{IA_l}^\psi \rangle, \dots \\ \langle A_{IO_j}^\xi \rangle, \dots, \langle A_{IO_j}^\psi \rangle, \dots \\ \langle A_{IO_l}^\xi \rangle, \dots, \langle A_{IO_l}^\psi \rangle \end{matrix} \right),$$

где  $\langle A... \rangle$  есть значение атрибута в момент времени  $t$  с точки зрения  $ИА$ , что позволяет вывести модель информационного пространства  $ИА_i$  для горнопромышленного предприятия, которая определяется определяется как:

$$MIS_{IA_i} = (V_{IA_i}(t), SV_{IA_i}(t), FV_{IA_i}(t+1)),$$

где  $FV$  функция формирования информационного пространства, включающая в себя следующие показатели:

Т а б л и ц а 3

**Сравнительный анализ архитектур агентов, которые могут использоваться на горнопромышленном предприятии**

Компоненты архитектуры агента	Подсистемы							
	Распределения информации	Моделирования	Координации и взаимодействия	Коммуникации с другими агентами	Анализа и планирования	Реактивная	Организации и кооперативного поведения	Ментальная
Тип архитектуры агента								
Архитектуры, базирующиеся на принципах и методах искусственного интеллекта (deliberative agent architectures)								
Архитектура на основе производственной системы	+	-	-	+	-	-	-	+
Архитектура на основе классификаторов	-	-	-	+	-	-	-	+
Архитектура с иерархической БЗ	+	-	+	+	-	-	-	+
Архитектура Барбучеану-Фокса	+	-	+	+	+	+	+	+
Реактивные архитектуры, основанные на поведении и на реакции на события внешнего мира (reactive agent architectures)								
Коннекционистская архитектура	-	-	-	+	-	+	+	-
Архитектура «соподчинения»	-	-	-	+	-	+	+	-
Гибридные многоуровневые архитектуры, основанные на поведении и методах ИИ (hybrid agent architectures)								
WILL-архитектура	-	-	+	+	+	+	-	+
InteRRap-архитектура	+	-	+	+	+	+	+	+
Архитектура Touring Machine	-	-	+	+	+	+	-	+
IDS-архитектура	-	-	-	+	+	+	-	+
Композиционная архитектура	-	-	+	+	+	+	-	+

$$FV(t)_{IA_i} = \left( \begin{array}{l} SS_{IA_i}, FSS_{IA_i}, GS_{IA_i}, G_{IA_i}^{TOP}, \\ G_{IA_i}^{DOWN}, FG_{IA_i}^D, FG_{IA_i}^S, \\ FAG_{IA_i}, SMA_{IA_i}(t) \end{array} \right),$$

где  $SS$  – множество стратегий, понимаемых как методы выбора целей,  $SS = (s_i | i = 1, \dots, n)$ ,  $FSS$  – функция выбора стратегии;  $GS$  – множество статических целей,  $G^{TOP}$  – множество целей, 256

получаемых данным  $IA$  от агентов более высокого уровня,  $G^{DOWN}$  – множество целей, которые могут быть переданы  $IA$  нижележащих уровней;  $FGD$  – функция формирования динамических целей;  $FGS$  – функция выбора статических целей;  $FAG$  – функция выбора активных целей, т.е. целей, принятых к реализации;  $SMA$  – состояние окружающего мультиагентного мира [4].

Ранее модель применялись для построения



корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Однако исследования в области построения мультиагентных систем позволили адаптировать данную модель к ситуации взаимодействия автономных агентов различного типа (горный транспорт, интеллектуальные системы контроля, энергетические системы) в соответствии со спецификой горнопромышленного производства.

Таким образом, в работе проведен анализ современных проблем горнопромышленного производства, решение которых заключается в принципиальном пересмотрении концепции

управления и автоматизации горнопромышленного предприятия. С учетом специфики горнодобывающего производства предложена новая концепция интеллектуального управления предприятием, основанная на создании принципиально новой мультиагентной системы, базирующейся на взаимодействии интеллектуальных агентов. А представленную математическую модель проектирования и создания *МАС* на горном предприятии возможно реализовать с помощью современного программного обеспечения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Батищев С.П.** Основные этапы разработки мультиагентных систем в инструментальной среде для создания Интернет-приложений [Текст] / Батищев С.П., Скобелев П.Н. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: НЦРАН. - 2002. – Том 4 - №1. – с. 75 -78.

2. **Гончаренко С.Н.** Моделирование рисков интеграции информационных технологий управления ресурсами на горнорудном предприятии [Текст]/ Гончаренко С.Н., Ширинкин М.С. // Горное дело и окружающая среда. Инновации и высокие технологии XXI века: Материалы XXII-й международной экологической конференции. - М.: МГГУ. – 2008. - Том 2. – с. 135-140.

3. **Гончаренко С.Н.** Модели и методы выбора структуры информационных комплексов горнопромышленного предприятия с учетом факторов риска [Текст]/ Гончаренко С.Н., Ярошук И.В., Ширинкин М.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ. - 2009. -отдельный выпуск №2 – с.257-260.

4. **Дианов С.В.** Проектирование агентно-ориентированных информационных систем организационного управления [Текст]/ Дианов С.В., Швецов А.Н. // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АС-НИ и искусственного интеллекта. Материалы 2-й международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ - 2003. – с. 157-160.

5. **Ивашкин Ю.А.** Агентные технологии и

мультиагентное моделирование систем: [Текст]: Учебное пособие / Ивашкин Ю.А.. – М. МФТИ, 2013. – с. 268.

6. **Караткевич С.Г.** Социально-экономическое и интеллектуальное управление в социотехнических системах [Текст]/ Караткевич С.Г., Добрынин В.Н., Окладникова Е.А., Ульянов С.В.. – М.: ВНИИгеосистем, 2011. – с. 398.

7. **Келеберда И.В.** Использование мультиагентного онтологического подхода к созданию распределенных систем дистанционного обучения [Текст] / Келеберда И., Лесная Н., Репка В. // Educational Technology & Society. – М.: МГТУ, – 2004. - №7(2). – с.124-127.

8. **Темкин И.О.** Оценка параметров проекта на основе нейросетевых моделей. [Текст] / Темкин И.О., Бондаренко И.С., Баранникова И.В.// Горный информационный аналитический бюллетень - М.: МГГУ. – 2012 - №6 – с.95-101.

9. **Темкин И.О.** Методика оценки высшего профессионального образования с использованием методов мультиагентного моделирования. [Текст] / Темкин И.О., Леонтьева А.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ. - 2011 г. - Отдельный выпуск №6. – С.35-39.

10. **Трубецкой К.Н.** Современные системы управления горно-транспортными комплексами [Текст]: Учебное пособие / Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я.. – СПб: Наука - 2007. – с.275.

### REFERENCES

1. **Batishhev S.P.** Osnovnye jetapy razrabotki mul'tiagentnyh sistem v instrumental'noj srede dlja sozdaniya Internet-prilozhenij [Tekst] / S.P. Batishhev, P.N. Skobelev // Izvestija Samarskogo nauchnogo

centra Rossijskoj akademii nauk. – Samara: NCRAN. - 2002. – Том 4 - №1. – с. 75 -78.

2. **Goncharenko S.N.** Modelirovanie riskov integracii informacionnyh tehnologij upravlenija

resursami na gornorudnom predpriyatii [Tekst]/ S.N. Goncharenko, M.S. Shirinkin // Gornoe delo i okruzhajushhaja sreda. Innovacii i vysokie tehnologii XXI veka: Materialy XXII-j mezhdunarodnoj jekologicheskoj konferencii. - M.: MGGU. - 2008. - Tom 2. - s. 135-140.

3. **Goncharenko S.N.** Modeli i metody vybora struktury informacionnyh kompleksov gornopromyshlennogo predpriyatija s uchetom faktorov riska [Tekst]/ S.N. Goncharenko, I.V. Jaroshhuk, M.S. Shirinkin // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. - M.: MGGU. - 2009. - otdel'nyj vypusk №2 - s.257-260.

4. **Dianov S.V.** Proektirovanie agentno-orientirovannyh informacionnyh sistem organizacionnogo upravlenija [Tekst]/ S.V. Dianov, A.N. Shvecov // Informatizacija processov formirovanija otkrytyh sistem na osnove SUBD, SAPR, ASNI i iskusstvennogo intellekta. Materialy 2-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii. - Vologda: VoGTU - 2003. - s. 157-160

5. **Ivashkin Ju.A.** Agentnye tehnologii i mul'tiagentnoe modelirovanie sistem: [Tekst] uchebnoe posobie / Ju. A. Ivashkin. - M. MFTI, 2013. - s. 268.

6. **Karatkevich S.G.** Social'no-jekonomicheskoe i intellektual'noe upravlenie v sociotehnicheskikh sistemah

[Tekst]/ S.G. Karatkevich, V.N. Dobrynin, E.A. Okladnikova, S.V. Ul'janov. - M.: VNIIGeosistem, 2011. - s. 398

7. **Keleberda I.V.** Ispolzovanie mul'tiagentnogo ontologicheskogo podhoda k sozdaniju raspredelennyh sistem distancionnogo obuchenija [Tekst] / I. Keleberda, N. Lesnaja, V. Repka // Educational Technology & Society. - M.: MGTU, - 2004. - №7(2). - s.124-127.

8. **Temkin I.O.** Ocenka parametrov proekta na osnove nejrosetevykh modelej. [Tekst] / I.O. Temkin, I.S. Bondarenko, I.V. Barannikova// Gornyj informacionnyj analiticheskij bjulleten' - M.: MGGU. - 2012 - №6 - s.95-101.

9. **Temkin I.O.** Metodika ocenki vysshego professional'nogo obrazovanija s ispol'zovaniem metodov mul'tiagentnogo modelirovanija. [Tekst] / I.O. Temkin, A.V. Leont'eva// Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. - M.: MGGU. - 2011 g. - Otdel'nyj vypusk №6. - s.35-39.

10. **Trubeckoj K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ja.** Sovremennye sistemy upravlenija gorno-transportnymi kompleksami [Tekst]: Uchebnoe posobie / K.N.Trubeckoj, A.A. Kuleshov, A.F. Klebanov, D.Ja. Vladimirov. - SPb: Nauka - 2007. - s.275.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

**ТЕМКИН Игорь Олегович** – заведующий кафедрой Автоматизированные системы управления Московского государственного горного университета, доктор технических наук, профессор. Россия, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6. e-mail: ud@msmu.ru

**ТЕМКИН Igor O.** – Moscow state mining university. Rossija, 119991, g. Moskva, Leninskij prospekt, d. 6. e-mail: ud@msmu.ru

**ГОНЧАРЕНКО Алексей Николаевич** – доцент кафедры Автоматизированные системы управления Московского государственного горного университета, кандидат технических наук. Россия, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6. e-mail: arw2001@ngs.ru

**GONCHARENKO Alexey N.** – Moscow state mining university. Rossija, 119991, g. Moskva, Leninskij prospekt, d. 6. e-mail: arw2001@ngs.ru