ISSN 0572-2691

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ

5'2014

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова
НАН Украины

Институт космических исследований
НАН Украины и ГКА Украины

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

УДК 330.4:658.012.32

Т.А. Прокопенко, А.П. Ладанюк

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА В КЛАССЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для технологических комплексов непрерывного типа в различных отраслях ромышленности (пищевой, химической, нефтеперерабатывающей) увеличиваюаяся сложность управления вызывает необходимость использования современых методов управления, в том числе интеллектуальных, в классе организационо-технических (технологических) систем (ОТС).

Для задач управления необходимо учитывать, что ОТС — сложная полисисема, которая объединяет в себе свойства организационных и технических (техологических) систем, а также характеризуется наличием в системе управления еловека, т.е. лица, принимающего решение, что непосредственно связано с таки и явлениями, как снижение надежности, качества управления в реальном време, неспособность переработать большое количество информации, медленное осоение новых управляющих функций и др., с одной стороны, и мобильность, даптивность, толерантность к изменению структуры, с другой стороны.

Главные требования к производству — обеспечение гибкости, мобильности, универсализации при достижении высокой производительности производства, т.е. перативность и адекватность принятия решений, а также их реализации в соотетствии с особенностями внешнего окружения и внутренней динамики для своеременного достижения запланированных стратегических показателей.

В управленческой деятельности на предприятиях, в организациях и фирмах аряду с принятием правильных и точных оперативных решений важным являетя также выработка стратегии будущего (стратегического управления). Одна из ентральных проблем стратегического управления организационно-техническими истемами — построение моделей их развития и выбор на основе анализа этих оделей приемлемых сценариев развития в условиях неопределенности, которые меют различную природу, например неточности и неполнота информации, и т.д. сходя из этого, целесообразна разработка таких информационных моделей, коорые предоставляли бы возможности мониторинга и анализа результатов, своеременно предупреждали о возникающих изменениях, которые могут иметь серьзные последствия для ОТС в условиях неопределенности. В классе ОТС целесообразно рассмотреть технологические комплексы (ТК), которые функционируют условиях неопределенности и имеют непрерывный характер на длительных инервалах времени в различных отраслях промышленности (химической, нефтепеерабатывающей, пищевой).

Исследование технологических комплексов непрерывного типа осуществляется чаще всего методом декомпозиции, что позволяет рассматривать ТК как соокупность подсистем, для каждой из которых находятся оптимальные значения

© Т.А. ПРОКОПЕНКО, А.П. ЛАДАНЮК, 2014

ISSN 0572-2691

параметров; считается, что управление, оптимальное по критериям эффективности для каждой из подсистем, также оптимально для ТК в целом. [1, 2].

Для ТК характерны слабая организованность технологического процесса, зависимость от внешних и внутренних возмущений, необходимость адаптации к условиям внешней и внутренней среды. Однако данный метод декомпозиции весьма ограничен для использования при управлении в условиях неполной и неточной информации, а также недостаточно гибкий при формализации и расширении факторного пространства модели, при учете неоднородности системы, при определении различных вариантов функционирования элементов системы и среды, а также в ходе описания и реализации сложноформализованных задач в среде моделирования. В статье использована теория мультиагентных систем и мультиагентного подхода, что позволяет повысить гибкость моделирования ТК в классе ОТС.

Теория мультиагентных систем рассмотрена в работах А.А. Летичевского, П. Норвига, М. Вулдриджа, они предлагают различные направления мультиагентных систем, в частности распределенный искусственный интеллект, децентрализованный искусственный интеллект, инсерционное моделирование [3]. В.В. Борисов использует мультиагентный подход в моделировании ОТС в условиях противодействия [4], в работах С.А. Юдицкого рассмотрены вопросы стратегического управления сложными организационными системами с применением мультиагентного подхода [5].

ОТС в различных предметных областях представляют собой совокупность согласованно функционирующих подсистем, имеющих достаточную степень автономности и взаимодействующих между собой и внешней средой. Задача разработки информационной модели управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе ОТС впервые. В такой постановке задача управления может формироваться на уровне предприятия, объединения или корпорации.

Мультиагентные системы характеризуются централизованным управлением и координацией действий между агентами, которые представляют разные объекты системы и/или внешней среды, действия которых определяют функционирование системы в целом. При этом агент рассматривается как объект, автономным поведением направленным на достижение своей цели и активным воздействием на других агентов, может принимать решения согласно некоторому набору правил, взаимодействовать с окружающей средой и другими агентами, а также изменяться. Коллективное интеллектуальное поведение при этом базируется на интеллектуальном поведении отдельных агентов и согласовывает их цели, координирует действия и решения конфликтов между ними [4].

Мультиагентные модели таких ОТС состоят из следующих основных компонентов: агентов различных типов; сценария, который описывает поведение агента; внешней среды; отношений между агентами; коммуникативных актов взаимодействий агентов и среды; целей функционирования системы.

Мультиагентную модель управления технологическим комплексом непрерывного типа в классе ОТС можно представить следующим образом:

$$MM_{OTC} = (A, E, S, R, P, I, Z, C), \qquad (1)$$

A — множество агентов системы; E — множество агентов внешней среды; S — множество стратегий развития; R — множество отношений между агентами модели в рамках стратегии S_i; P — множество актов взаимодействия между агентами модели в рамках стратегии S_i; I — множество показателей оценки эффективности системы; Z — множество целей системы; C — множество целей внешней среды.

Особенностью мультиагентной модели ТК в классе ОТС является представление объектов внешней среды, не относящихся к системе, в качестве агентов, це-

ли которых могут совпадать с целями системы или отличаться от них. Множество A состоит из агентов (A_P), принимающих информацию из среды, агентов управления системой (режиссер) A_R и агентов-исполнителей (A_{V_i}), которые соответствуют подсистемам технологического комплекса непрерывного типа. При этом каждая подсистема характеризуется сценариями, атрибутами, ограничениями, координацией функционирования. Так, в составе ТК сахарного завода можно выделить три подсистемы (отделение диффузии, отделение очистки сока, отделение выпаривания), каждая из которых характеризуется критериями и комплексами показателей функционирования. Таким образом, агенты-исполнители (A_{V_i}), которые соответствуют каждой из подсистем, формируют информационные потоки о технологических и технико-экономических показателях работы завода. Множество E представляет собой совокупность агентов внешней среды (E_S), которые формируют информацию о факторах внешней среды, а также возможных рисках.

Агенты представляют собой программные модули, которые самостоятельно выполняют указанные задачи. Так, агенты-приемники A_P выполняют функции сбора необходимой информации о состоянии управляемых ими процессов через систему датчиков и контроллеров на каждой стадии производства. Взаимодействие между агентами модели задается с помощью актов взаимодействия, реализующих генерацию агентов, управления одних агентов другими, передачу информации, а также влияние и восприятие между агентами. Агенты-приемники и агенты-исполнители подчиняются режиссеру, а между собой взаимодействуют на уровне кооперации. В качестве показателей эффективности системы в ходе управления технологическим комплексом непрерывного типа выступают показатели производительности ТК непрерывного типа (I_P), потерь ценного продукта в производстве (I_V), затрат ресурсов ТК (I_W), на примере сахарных заводов.

Множество целей Z системы включает цели максимизации производительности ТК ($Z_{\max}$) при выборе стратегии сохранения допустимых потерь и расхода ресурсов (S_1), минимизации потерь ценного продукта в производстве ($Z_{\min_V}$) при выборе стратегии сохранения производительности ТК (S_2), минимизации затрат ($Z_{\min_W}$) ТК при выборе стратегии сохранения производительности ТК (S_3).

Множество целей C внешней среды включает как цели минимизации производительности ТК, максимизации потерь, максимизации затрат ресурсов, противоречащие соответствующим целям, так и цели, согласующиеся с целями ТК.

Цели множеств Z и C характеризуются достижением показателей оценки эффективности системы. Если цели системы отличаются от целей внешней среды, то возникает негативное влияние на систему и, таким образом, показатели эффективности системы хуже ожидаемых. Если цели системы согласуются с целями внешней среды, то формируется синергетический эффект целей системы. В условиях неопределенности, учитывая неизвестность состояния окружающей среды, следует учитывать степень владения агентами информацией в текущий момент времени.

Агенты (A_P), принимающие информацию из среды, взаимодействуют как с агентами внешней среды (E_S), так и с агентом управления, т.е. режиссером, и обеспечивают взаимодействие системы и внешней среды. Через каналы межагентного взаимодействия передаются потоки данных, т.е. информация о ресурсах системы, условиях внешней среды, возможных рисках. Данная информация определяет дальнейшую стратегию развития ОТС, в данном случае стратегию развития технологического комплекса непрерывного типа.

Задача синтеза системы в общем виде формулируется следующим образом. Известен набор агентов, представленный комплексной структурой, которая отра-

жает взаимовлияние подструктур индивидуальных целей, действий, показателей, и заданы коллективные цели и показатели. Требуется определить, можно ли путем организации связей между агентами создать систему, в которой наряду с индивидуальными целями достигались бы и желаемые коллективные цели при допустимых значениях индивидуальных и коллективных показателей, т.е. для технологического комплекса непрерывного типа необходимо определить наилучшую стратегию развития с учетом текущих показателей эффективности и условий внешней среды с использованием мультиагентного подхода.

Модели агентов A_P, A_R, A_{V_j}, E_S, в свою очередь, задаются следующим набором элементов: цели, сценарии и поведение, а описание агента выполняется следующим образом:

$$A = (D, Sc, U, Cn, Bh), \tag{2}$$

где D — множество данных агента; Sc — множество сценариев агента; U — множество детерминированных и составных различных поведений агента; Cn — модель нечеткого управления агента для достижения различных целей системы; Bh — итоговое поведение агента на базе взаимовлияний отклонений от нормы показателей, которое задается элементами множеств D, Sc, U, Cn.

Под данными агента понимается совокупность значений характеристик агента, а также показателей, характеризующих других агентов системы и агентов среды (тип агента, время действия агента и т.д.) и решения. Данные агента могут быть заданы в числовом, нечетком и лингвистическом виде, а также в виде структурированных данных и данных, описывающих нечеткие ситуации.

Элемент «сценарии» включает набор действий, выполнение которых обеспечивает изменение характеристик самого агента или среды. С их помощью агент влияет на окружающую среду. Сценарий работы агента отображает порядок передачи активности от одних процессов другим в системе, а также накладывает ограничения на потенциально возможное поведение агента. Элемент «поведение» позволяет оценивать и определять характеристики агента, последовательно или одновременно выполнять действия или ряд действий в виде реакции на воздействие внешней среды.

Элемент «модель нечеткого управления» в структуре агента сложной системы необходим для реализации оценки результатов собственного функционирования при решении задач управления и, по сути, определяет стратегию поведения и является совокупностью поведений и действий агента системы, направленных на достижение конкретной цели в различных ситуациях [4].

Динамика системы определяется динамикой внутреннего и внешнего поведения агентов, т.е. взаимодействиями между агентами, а также взаимодействиями между агентами системы и агентами внешней среды, на заданном интервале дискретной временной шкалы. При этом изменение параметров системы (достижение целей системы, действия агентов, изменение величин показателей эффективности системы) и реакция агентов на эти изменения описывается с помощью продукций — выражений вида «ЕСЛИ (условие), ТО (действие агента)».

Исходя из набора элементов (2), формализованное описание агента управления ТК непрерывного типа состоит в необходимости задания множества данных, сценариев, поведений, описании модели управления и итогового поведения, определяющих функционирование агента A_R при решении задач управления ТК непрерывного типа с учетом условий неопределенности и рисков.

Сценарии, детерминированное и составное поведения агентов модели предлагается задавать на основе алгебры поведения $U^a(S^a)$:

$$u = \sum_{g \in G} s_g \circ u_g + \varepsilon, \tag{3}$$

где $\circ$ — префиксная операция, задающая поведение u_g на действии s_g; g — некоторое множество индексов поведения и действий, ε — одна из констант поведения [3]. При этом алгебра поведения $U^a(S^a)$ задается на множестве операций $S^a: s_1 + s_2$ — недетерминированного выбора действий (поведений); $s_1 \bullet s_2$ — последовательной композиции действий (поведений); $s_1 \times s_2$ — комбинации действий (поведений), а также следующих констант : φ — нулевого элемента (невозможного действия и поведения), δ — пустого действия; Δ — пустого поведения.

Используя процедуру (3), можно предложить следующее описание поведения агента A_R при обмене информационными сообщениями с другими агентами модели ОТС:

$$u_c = u_t \times u_r, \tag{4}$$

где u_t — получение информационных сообщений от агентов-приемников; u_r — передача информационных сообщений агентам-исполнителям.

Агент-режиссер A_R получает информационные сообщения от агента-приемника A_P о поведении агентов среды, ее состоянии, действий, а также о состоянии системы, используя показатели эффективности. Сообщения между агентами модели характеризуются типом информации и могут содержать информацию о показателях эффективности функционирования системы, о возможных рисках, а также характеристиках агента и команды управления. В процессе передачи сообщения другим агентам модели проводится подготовка соответствующих данных. Действия агента-режиссера зависят от различных стратегий S_i развития ОТС в условиях неопределенности и характеризуются принятием решения относительно наименее рискованной альтернативы. При этом необходимо учитывать возможность недостаточного количества информации от агента-приемника.

Поведение агента A_R при получении информационных сообщений от агента A_P можно описать следующим образом:

$$u_t = \left(\left(s_r \bullet s_o \bullet \prod_{j=1}^{J} s_{\text{sav.sub}}(Q^j_{\text{id.sub}})\right) \circ \Delta\right) \times \left(\left(s_r \bullet s_o \bullet \prod_{n=1}^{N} s_{\text{sav.env}}(Q^n_{\text{id.env}})\right) \circ \Delta\right). \tag{5}$$

Здесь s_r — получение информационных сообщений от агентов-приемников A_P, J — множество индексов подчиненных агентов-приемников A_P; $s_{\text{sav.sab}}$ — сохранение данных $D_{\text{dat.ag}}$ о подчиненном агенте в вектор данных $D_{\text{vec.ag}}$, N — множество индексов рассматриваемых агентов среды; s_o — оценка полученных данных; $s_{\text{sav.env}}$ — сохранение данных $D_{\text{dat.env}}$, об агенте среды в вектор данных $D_{\text{vec.env}} = \{D^k_{\text{dat.env}} \mid k = \overline{1, N}\}$, каждый элемент которого является множеством структурированных данных об агенте среды и содержит k характеристик о нем, например:

$$D_{\text{dat.env}} = \{\tilde{d}_{\text{env.type}}, d_{\text{env.time}}, \tilde{d}_{\text{env.time}}, \tilde{Q}_{\text{est.env}}, Q_{\text{est.env}}\}, \tag{6}$$

где $\tilde{d}_{\text{env.type}}$ — тип агента среды, $d_{\text{env.time}}$ — время действия агента среды, $\tilde{d}_{\text{env.time}}$ — время действия агента среды в лингвистическом виде, $\tilde{Q}_{\text{est.env}}$ — показатель важности агента среды в лингвистическом виде, $Q_{\text{est.env}}$ — числовой показатель важности агента среды.

Агент A_R на основании полученных данных передает сгенерированное решение об обрабатываемых им агентах среды и состоянии системы агенту-исполнителю A_{V_i} :

$$u_r = ((s_{p1} \bullet s_t) \circ \Delta) \times ((s_{p2} \bullet s_t) \circ \Delta), \tag{7}$$

где s_{p1} — подготовка данных о поведении рассматриваемых агентов среды; s_t — передача сообщения указанному агенту-исполнителю A_V; s_{p2} — подготовка для передачи данных о своем состоянии и состоянии системы. Передача подчиненному агенту A_V команд управления (информационных сообщений, содержащих команды) осуществляется при выработке соответствующих решений и поэтому не включается в поведение u_r.

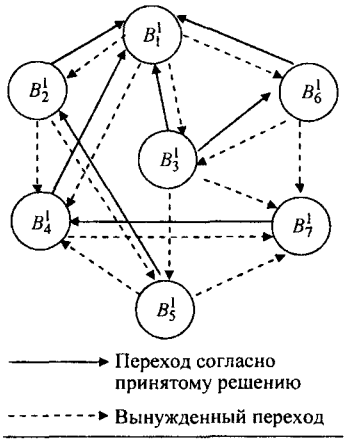
Агент-режиссер A_R на основании полученных и обработанных данных от агентов-приемников A_P с учетом отчетов агентов-исполнителей A_V оценивает ситуацию и принимает решение с помощью модели нечеткого управления вида C_n «ситуация–стратегия управления–действие». Модель C_n задается на основе нечетких когнитивных карт (НКК) [6], каждая из которых соответствует одной из целей системы и характеризует определенную стратегическую альтернативу. Выбор стратегической альтернативы развития ОТС осуществляется агентом-режиссером A_R на основе правил нечеткого вывода, в результате чего выполняется переход в целевую ситуацию.

Для достижения цели максимизации прибыли ТК при выборе стратегии сохранения допустимых потерь и расхода ресурсов ТК определяется НКК:

$$\widetilde{G}_{\max} = (B^1, V^1). \tag{8}$$

Здесь $B^1 = \{B_1^1, \ldots, B_7^1\}$ — множество концептов карты, которые соответствуют нечетким эталонным ситуациям ТК для цели $Z_{\max}$. Так, например, B_1^1 — высокая производительность ТК, средние значения потерь ТК, низкие значения затрат ресурсов ТК; B_2^1 — оптимальные технологические и технико-экономические показатели всех подсистем ТК; B_5^1 — оптимальное значение величины материальных потоков; $V^1 = \{\langle V_1^1(B_5^1, B_1^1)/1{,}0\rangle, \langle V_2^1(B_3^1, B_4^1)/0{,}7\rangle, \langle V_{21}^1(\widetilde{B}_3^1, \widetilde{B}_5^1)/0{,}0\rangle\}$ — множество всех возможных переходов между ситуациями карты с определением степени их предпочтений. НКК $\widetilde{G}_{\max}$ для цели $Z_{\max}$ представлена на рисунке.

К особым факторам, которые учитываются для выделенного класса ОТС, относятся: характер действий элементов технологического комплекса и среды, оценка эффективности ТК, решение сложноформализованных задач стратегического управления технологическим комплексом непрерывного типа, учет условий неопределенности среды, учет целей функционирования технологического комплекса и среды. Использование НКК дополняет мультиагентный подход и дает возможность получить более развернутую картину выбора стратегической альтернативы развития технологического комплекса непрерывного типа в условиях неопределенности, а также рисков, что является дальнейшими исследованиями авторов.



Применение мультиагентного подхода при моделировании управления технологическим комплексом непрерывного типа обеспечивает представление процессов управления с необходимой степенью детализации, осуществлять многокритериальную оценку эффективности системы, в зависимости от целей системы классифицирует входную ситуацию, а также способствует принятию стратегического решения в условиях неполной и неточной исходной информации. Результатом применения данного подхода является повышение эффективности функционирования технологических комплексов непрерывного типа в различных отрас-

лях промышленности (пищевой, химической, нефтеперерабатывающей), а также прогнозирование стратегического развития в условиях неопределенности и рисков. В настоящей работе исследована методика для условий ТК сахарного завода, что дало возможность разработать продукционные правила для применения в интеллектуальных системах управления технологическими комплексами непрерывного типа, в том числе на предприятиях, корпорациях сахарной промышленности. Метод позволяет также контролировать более 300 технологических переменных, а также реализовывать более 200 решений в ходе оперативной и стратегической деятельности сахарного завода.

Т.О. Прокопенко, А.П. Ладанюк

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ В КЛАСІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто використання мультиагентного підходу при моделюванні управління технологічними комплексами (ТК) неперервного типу в класі організаційно-технічних систем. Запропоновано формалізований опис агентів управління ТК в умовах невизначеності з застосуванням алгебри поведінки.

T.A. Prokopenko, A.P. Ladanyuk

INFORMATION MODEL OF CONTROL OF THE CONTINUOUS TYPE TECHNOLOGICAL COMPLEXES IN THE CLASS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

The use of multiagent approach to control of the continuous type technological complexes in the class of organizational and technical systems is considered. The types of agents which model different objects of the system and environment are defined. The formalized description of agents of the technological complex control under uncertainty conditions with the use of behaviour algebra is presented.

1. *Ладанюк А.П., Шумигай Д.А., Бойко Р.О.* Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2013. — № 4. — С. 117–122.
2. *Ладанюк А.П.* Основи системного аналізу. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 176 с.
3. *Basic* protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications / A. Letichevsky, J. Kapitonova, A. Letichevsky Jr., V. Volkov, S. Baranov, V. Kotlyarov, T. Weigert // Computer Networks. — 2005. — **47**. — P. 662–675.
4. *Борисов В.В. Сысков В.В.* Мультиагентное моделирование сложных организационно-технических систем в условиях противоборства // Информационные технологии. — 2012. — № 4. — С. 7–14.
5. *Юдицкий С.А.* Алгебраическое представление модели многоагентных сетей // Управление большими системами. — 2011. — № 34. — С. 30–45.
6. *Кузнецов А.П., Кулинич А.А., Марковский А.В.* Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт // Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. — М. : КомКнига, 2006. — С. 313–344.
7. *Прокопенко Т.О., Ладанюк А.П.* Системний аналіз задач управління цукровим виробництвом в класі організаційно-технічних систем // Східно-Європейський журн. передових технологій. — 2012. — **59**, № 5/3. — С. 41–44.

Получено 05.07.2013
После доработки 14.04.2014

 ISSN 0572-2691