

**БАГАТОАГЕНТНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ  
СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ  
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Лега Ю. Г., д.т.н., професор,

Прокопенко Т. О., к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет, бул. Шевченко, 460,  
[tatianaalexandr@yandex.ru](mailto:tatianaalexandr@yandex.ru)

***Анотація.** У статті розглядаються основні питання розробки імітаційної моделі стратегічного управління організаційно-технічними системами в умовах невизначеності. Автори пропонують формалізований опис агентів стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності з використанням алгебри логіки. Ця модель дає можливість прогнозувати динаміку досягнення ієрархії стратегічних цілей, динаміку споживання ресурсів і динаміку зміни показників діяльності системи в умовах невизначеності.*

***Ключові слова:** імітаційна модель, стратегія, організаційно-технічна система, багатоагентний підхід.*

**MULTIAGENT APPROACH TO SIMULATION MODEL CONSTRUCTION  
OF STRATEGIC MANAGEMENT ORGANIZING-TECHNICAL SYSTEM  
IN CONDITION OF THE UNCERTAINTY**

Lega Uy. H., D.Sc.(Engineering), professor,

Prokopenko T. A., Ph.D. (Engineering), associated professor

Cherkassy State Technological University, Shevchenko boul., 460

***Abstract.** The main questions of the development of simulation model of strategic management organizing-technical system in the conditions of uncertainty have been considered in the article. The authors offer the formalized description of agent strategic management OTS in the condition of uncertainty with use the algebra of logic. Given model enables forecast dynamic of the achievement to hierarchies' strategic aims, dynamic of the consumption resource and dynamic of the factors change to system activity in condition of the uncertainties.*

***Keywords:** simulation model, strategy, organizing-technical system, multiagent approach.*

**1. Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Сучасний темп змін та розвитку технологій є досить великим та вимагає застосування адекватної методології дослідження. Стратегічне управління є єдиним способом формального прогнозування майбутніх проблем і можливостей, а також сприяє зниженню ризику при ухваленні рішення.

Динаміка функціонування організаційно-технічних систем (ОТС) вимагає чіткого визначення цілей, набору дій та рішень, чіткого розподілу ресурсів, адаптації до зовнішнього середовища та внутрішньої координації. Розроблені стратегії мають реалізуватись з врахуванням поточного стану ОТС, однак не завжди можуть здійснюватися так, як це задумано. Тому необхідно постійно адаптувати стратегію, приводячи її у відповідність з актуальними вимогами зовнішнього оточення та поточним станом ОТС, навіть якщо на початку вона розроблялась з врахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів. Незалежно від оптимальності стратегій, на них впливають цілі ОТС, можливості ОТС та її оточення.

У процесі розвитку та функціонування ОТС, обумовленого як зовнішніми подіями, так і внутрішніми ситуаціями, конфігурація ОТС може змінитися. Важлива проблема, яка вирішується при стратегічному управлінні ОТС, складається з побудови та аналізу наочних формальних моделей конфігурацій і розробці методів перетворення (трансформації) однієї конфігурації в іншу. Моделювання конфігурацій дозволяє визначити динаміку досягнення цілей, споживан-

ня ресурсів, зміни показників ефективності діяльності системи при різних зовнішніх і внутрішніх умовах. Іншими словами, передбачити варіанти розвитку ОТС (у рамках конфігурації) і тим самим зменшити «невизначеність майбутнього».

Тому важливим є розробка таких інформаційних технологій, які б надавали можливості:

- визначення вигід стратегії як результат інформованості про майбутні зміни у зовнішньому середовищі;
- простеження динаміки та нових можливостей розвитку ОТС;
- вироблення стратегічних рішень відносно можливих змін зовнішнього середовища для зменшення негативних наслідків несприятливих ситуацій і зменшення можливих ризиків.

**2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для прийняття управлінських рішень на сьогоднішній день все більше знаходять своє застосування методи штучного інтелекту, особливо в умовах коли неможливо отримати достатньо точної та релевантної інформації, коли неможливо застосувати структуроване математичне моделювання та формалізовані методи. Проблеми розширення класу об'єктів автоматизації шляхом включення до них організаційних та організаційно-технічних систем та застосування інтелектуальних методів рішення задач управління розглянуто в наукових працях О.А. Большакова [1]. Теорія мультиагентних систем розглянута в роботах М.П. Амосова, М.М. Бонгарда, П. Норвіга, М. Вулдріджа, які пропонують різні напрями мультиагентних систем, зокрема розподілений штучний інтелект, децентралізований штучний інтелект. В.В.Борисов використовує мультиагентний підхід в моделюванні ОТС в умовах протиріччя [2]. В роботах С.Л. Юдіцкого розглянуті питання стратегічного управління складними організаційними системами з застосуванням мультиагентного підходу [3].

**3. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Стратегічне управління ОТС має забезпечити вибір рішення в кожний поточний момент, для того щоб досягнути поставленої мети в майбутньому, виходячи з того, що як оточуюче середовище, так і умови функціонування системи будуть змінюватися. Однак в більшості випадків досить важко передбачити, як саме будуть відбуватися ці зміни. Таким чином, при різко зростаючому факторі невизначеності рішення, що приймаються сьогодні мають вирішальний вплив в майбутньому. Тому постає задача дослідження методів стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності.

**4. Формування цілі статті.** Метою даної роботи є розробка імітаційної моделі стратегічного управління організаційно-технічними системами в умовах невизначеності.

**5. Викладення основного матеріалу дослідження.** До особливостей ОТС, що функціонує в умовах невизначеності, відносяться ієрархічність, наявність різних цілей системи та середовища, а також розподіленість задач.

Організаційно-технічні системи в різних предметних областях представляють собою сукупність узгоджено функціонуючих підсистем, що мають достатню ступінь автономності та вступають у взаємодію між собою та зовнішнім середовищем. Підсистема має вхідні канали, на які поступають ресурси (фінансові, інформаційні, матеріальні, енергетичні, людські та ін.), та вихідні канали, що видають результати її роботи (продукцію). Перетворення ресурсів в продукцію здійснюється шляхом узгодженої діяльності виконавців – людей та техніки (технологій).

Підсистеми з такими властивостями визначимо як агентів, а систему відповідно будемо називати мультиагентною [3]. Таким чином, мультиагентні системи представляють собою множину взаємозалежних агентів (суб'єктів або об'єктів), у якій:

– кожний агент зберігає свою індивідуальність, а саме має власні (індивідуальні) цілі, виконує спрямовані на досягнення цих цілей індивідуальні дії, характеризується індивідуальними показниками;

– зв'язаність агентів полягає в тому, що їх діяльність може координуватися в часі, і в певні моменти вони можуть передавати один одному ресурси;

– результатом індивідуальної діяльності агентів є досягнення певних колективних цілей і певна динаміка колективних показників.

Одним з підходів планування стратегічної діяльності організаційно-технічної системи в умовах невизначеності є застосування імітаційного моделювання. Імітаційна модель представляє собою граф, вершини якого відповідають автономним функціональним одиницям-агентам, а ребра відображають взаємодії між агентами. Взаємодія полягає в тому, що один з агентів по-

силає іншому повідомлення й одержує від нього відповідь. Такий «сеанс взаємодії» може ініціюватися кожним з пари агентів, повторюватися багаторазово, причому кожне наступне виконання сеансу можливо тільки після завершення попереднього.

Попереднє імітаційне моделювання дає можливість визначити часові й ресурсні характеристики системи, конфліктні ситуації, «вузькі місця» і т.д. та забезпечує ефективність стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності. Метою моделювання є також прогнозування процесів розвитку ОТС, з визначенням її можливих конфігурацій і їхньої зміни. Динамічна модель розвитку («бачення майбутнього») повинна працювати на дискретній часовій шкалі та враховувати не тільки передбачувані, але й несподівані (малоймовірні) зовнішні події.

Технологія моделювання стратегічного управління ОТС включає вирішення ряду завдань, в тому числі:

- створення цільової моделі системи, що визначає структуру і динаміку показників, на основі яких оцінюється функціонування системи;
- побудова та аналіз сценаріїв досягнення цілей на основі «операційних» моделей, що відображають динаміку процесів, які протікають в системі;
- побудова та аналіз динамічних моделей взаємовпливу відхилень від норми показників на основі функціональних когнітивних карт з бінарною позначкою дуг.

Комплексна модель стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності досліджує процеси зміни в часі ієрархічних структур, описуваних графами типу дерева. Перша субмодель комплексної моделі представлена цільовим деревом, де задана головна (глобальна) ціль, яка повинна бути досягнута при функціонуванні системи. Глобальна ціль декомпозується на підцілі, що знаходяться між собою у певних відносинах (наприклад, у відношенні І: мета досягнута, якщо досягнуті всі підцілі; АБО: мета досягнута, якщо досягнута хоча б одна підціль; комбінації відносин І-АБО). Далі подібним чином декомпозуємо кожну підціль і продовжуємо процес декомпозиції до отримання нерозкладних (термінальних) підцілей.

В результаті формуємо графічну структуру типу дерева, доповненого описом відносин. Рух по дереву від його термінальних підцілей до кореневої вершини (глобальної цілі) визначає цільову динаміку системи. Остання може бути як позитивною, коли досягається глобальна мета, так і негативною, коли глобальна ціль не може бути досягнута.

Друга субмодель комплексної моделі – операційна модель відображає множину операцій – компонентів процесів, що протікають в системі, порядок проходження операцій в процесі, можливі сценарії розгортання процесів.

Основний елемент схеми «операція» – це цілеспрямована дія, де ціль операції може не збігатися з цілями і підцілями системи, що вимагає для свого виконання витрати ресурсів. Порядок проходження операцій визначає їх послідовне або паралельне виконання, альтернативні розгалуження, з'єднання гілок і т.д. Переходи в процесі від одних операцій до інших ініціюються виконанням умов, описуваних логічними (булевими) функціями. Сценарій процесу визначений як упорядкована послідовність переходів, що ведуть з початкової операції в кінцеву.

Графічний образ операційної схеми – це мережа Петрі, переходи якої «навантажені» логічними функціями. Правила роботи мережі Петрі визначають операційну динаміку системи.

При конкретизації операційної схеми в моделі задається:

- набір операцій із зазначенням їх ресурсів;
- для кожної операції експертну оцінку інтенсивності витрат кожного ресурсу (передбачається лінійна залежність витрат ресурсів від часу операції);
- мережа Петрі, яка буде показувати порядок проходження операцій;
- логічні функції, «навантажують» переходи мережі Петрі.

На основі цих даних:

- формується набір усіх можливих сценаріїв процесу;
- для кожного сценарію по кожному ресурсу системи будується графік залежності витрат ресурсу від умовного часу;
- виходячи з витрат ресурсів, обирається оптимальний сценарій.

Третьою субмоделлю комплексної моделі стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності є модель взаємовпливу відхилень від норми показників на основі функціональних когні-

тивних карт з бінарною позначкою дуг, що характеризує взаємодію цільової і операційної моделі та дозволяє визначити, чи досяжна глобальна мета системи при обраному сценарії процесу.

Комплексна модель стратегічного управління ОТС в умовах невизначеності дає можливість здійснювати прогностичний аналіз стратегії управління ОТС, зокрема виявляти сценарії, що не приводять до досягнення стратегічних цілей, в умовах невизначеності, дослідити деякі властивості описуваних рівняннями динамічних процесів і т.д.

Імітаційна модель стратегічного управління організаційно-технічними системами підсилює можливості комплексної моделі та дозволяє підбирати параметри системи й перевіряти ефективність такого підбору.

Задача синтезу системи в загальному виді формулюється наступним чином. Відомий набір агентів, що представлений комплексною структурою, яка відображає взаємовплив підструктур індивідуальних цілей, дій, показників (термін «комплексний» визначає єдність і взаємозалежність трьох базових концепцій системи – цілей, дій, показників), і задані колективні цілі й показники. Потрібно визначити, чи можна шляхом організації зв'язків між агентами створити систему, у якій поряд з індивідуальними цілями досягалися б і бажані колективні цілі при припустимих значеннях індивідуальних і колективних показників.

Комплексна модель агента будується у два етапи. Спочатку створюється статична складова моделі у вигляді двочасткових орієнтованих графів з вершинами-позиціями, що відповідають параметрам агента, і вершинами-переходами, що виражають відносини на множині параметрів (у двочастковому графі дуги можуть проводитися тільки від позицій до переходів і обернено).

Потім формується динамічна складова моделі шляхом додавання до переходів графа рекурентних рівнянь виду

$$S(\tau + 1) = F(S(\tau), V(\tau)), \quad (1)$$

де  $\tau = 0, 1, \dots, N$  – дискретний час,  $S(\tau), V(\tau)$  – стан агента й зовнішній вплив на нього в момент  $\tau$  відповідно,  $F$  – функціональне перетворення (відображення). Символи  $S, V$  представляються індикаторними виразами [10] на основі правил алгебри логіки [4], перетворення  $F$  відображається формулою ЯКЩО – ТО (продукцією [5]).

Таким чином, статична складова представляється у графовій формі, а динамічна – в алгебраїчній, що робить модель агента й системи неоднорідною. Крім того, складність (а тим самим і наочність) графового опису експотенціально зростає при збільшенні його розмірності. Тому, для моделювання статичної складової є доцільним застосувати алгебраїчний опис, що лінійно залежить від розмірності агентів і системи. Опис структури показників базується на арифметичних й алгебраїчних діях (додавання, віднімання, множення, ділення, піднесення до ступіню, логарифмування і т.д.).

Наступним етапом є моделювання динаміки індивідуальної і колективної діяльності агентів системи на основі індикаторних виразів [6], у тому числі шляхом встановлення міжагентних часових і ресурсних зв'язків.

Динаміка системи визначається динамікою внутрішнього поведіння агентів і динамікою зовнішнього поведіння – взаємодій між агентами, а також агентами й зовнішнім середовищем, на заданому інтервалі дискретної часової шкали  $\tau = 0, 1, \dots, N$ . При цьому зміна параметрів системи (досягнення цілей, зміна дій, зміна величини показників) відбувається в моменти спрацьовування вершин-переходів мережі Петрі, а значення параметрів у проміжку між спрацьовуванням переходів фіксується у вершинах-позиціях. Переходи позначаються продукціями-виразами виду «ЯКЩО (виконання умови), ТО (реалізація оператора)», де умова й оператор описуються індикаторними логічними формулами – ІЛФ [6]. Індикатором названий двомісний предикат  $(x \# y)$ , де  $x, y$  – числові змінні, одна з яких може бути константою, що інтерпретуються як значення дискретного часу, факт досягнення цілі або виконання дії, бальне значення показника [7] і т.д.,  $\#$  – знак порівняння, що належить множині  $\{=, \neq, >, \geq, <, \leq\}$ .

Індикатор дорівнює 1, якщо співвідношення  $\#$  виконується, і рівний 0, якщо немає. ІЛФ формується на базі індикаторів шляхом застосування до них логічних операцій кон'юнкції, диз'юнкції, заперечення. Перехід двочасткового графа спрацьовує в момент  $\tau$ , якщо у відповідному йому індикаторному виразу ІЛФ1 = 1. У результаті в момент  $\tau + 1$  буде виконуватися співвідношення ІЛФ2 = 1, що ініціює реалізацію оператора переходу.

Моделювання динаміки внутрішнього поведіння агента на заданому часовому інтервалі здійснюється на основі індикаторних виразів, що відображають комплексну структуру агента, таким чином:

- послідовно перевіряємо виконання умов ІЛФ1 для індикаторних виразів всіх переходів графів цілей, дій і показників агента;
- для тих виразів, умови яких виконані, обчислюємо оператор ІЛФ2 і знаходимо значення вихідних змінних.

Таким чином, застосовується метод імітаційного моделювання. Можливі два результати імітаційного експерименту: або доходимо до кінцевого моменту часового інтервалу моделювання, не зустрічаючи порушень у поведінці агента, або фіксуємо порушення, наприклад:

- «зависання» агента, якщо виявлено момент, коли не виконується умова ні для одного переходу;
- суперечливість, якщо деякій змінній в один і той же момент привласнюються різні значення;
- вихід змінної за межі припустимого для неї інтервалу значень.

При виявленні вищевказаних, а можливо й інших порушень у діяльності агентів і мережі, виробляється корегування комплексної моделі системи (керування моделлю) на рівні графів, індикаторних виразів. Далі цикл «імітаційне моделювання – управління» повторюється й т.д.

Перейдемо до моделювання динаміки зовнішнього поведіння системи, обумовленої взаємодіями між агентами. Два агенти вважаються зв'язаними, якщо їхня індивідуальна діяльність координується в часі й в певні моменти вони можуть передавати один одному ресурси. Взаємодія агентів у складі системи будемо інтерпретувати як прояв їхньої зв'язаності. Два переходи, що відносяться до різних агентів, назвемо синхронізованими, якщо вони спрацювують одночасно, і тільки одночасно [6]. Синхронізованими можуть бути переходи графів дій і графів показників агентів. Для синхронізації переходів відповідно з умовами ІЛФ<sub>*i*</sub>, ІЛФ<sub>*j*</sub> дані умови в індикаторних виразах замінюємо кон'юнкцією ІЛФ<sub>*i*</sub> & ІЛФ<sub>*j*</sub>. Якщо в момент спрацювання синхронізованих переходів, що належать різним агентам, від одного з них треба передати іншому ресурс *R*, то оператор передавального агента в цей момент віднімає від відповідної змінної величину *R*, а оператор-агент, що приймає, додає *R*.

**Висновки.** Імітаційне моделювання стратегічного управління організаційно-технічними системами в умовах невизначеності здійснюється із застосуванням багатоагентного підходу. ОТС представлена як множина взаємодіючих агентів зі своїми індивідуальними цілями, діями і показниками, що у процесі функціонування орієнтована на досягнення інтегральних (колективних) цілей і характеризується інтегральними показниками. Взаємодії агентів у мережі відбуваються у формі передачі ресурсу або/і інформаційних потоків. Взаємодії залежать від внутрішньої ситуації в системі й зовнішнього середовища, і носять нерегулярний (випадковий) характер.

Розглянута імітаційна модель дозволяє модельованим елементам організаційно-технічної системи, що функціонує в умовах невизначеності, відображати зовнішнє середовище повною мірою, приймати рішення, що змінюють середовище, оцінювати результати дій і використати різні варіанти поведіння для досягнення різних цілей системи.

### Список літератури

1. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / Под ред. А. А. Большакова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 160 с.
2. Борисов В. В. Мультиагентное моделирование сложных организационно-технических систем в условиях противоборства : Информационные технологии / Борисов В. В., Сысков В. В. – 2012. – № 4. – С. 7–14.
3. Юдицкий С. А. Алгебраическое представление модели многоагентных сетей : Управление большими системами / Юдицкий С. А. – 2011. – № 34. – С. 30–45.
4. Гильберт Д. Основы теоретической логики / Гильберт Д., Аккерман В. – М. : URSS, 2010.
5. Трахтенгерц Э. А. Методы генерации, оценки и согласования решений в распределенных системах поддержки принятия решений : Автоматика и телемеханика / Трахтенгерц Э. А. – № 4, – 1995. – С. 3–52.

6. Радченко Е. Г. Моделирование динамики потоков в многоагентных системах : Проблемы управления / Радченко Е. Г., Юдицкий С. А. – 2005. – №6. – С. 57–64.
7. Кузнецов О. П., Кулинич А. А., Марковский А. В. Анализ влияний при управлении слабо-структурированными 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.

#### **References**

1. Intellect system management organizing-technical system/ Pod. red. A. A. Bolshakov. – М. : Gor-yachaya liniya – Telekom, 2006. – 160 p.
2. Borisov V. V., Cuckov V. V. Multiagent model smooth organizing-technical system in condition of the counteraction. // Information technology. – 2012. – № 4. – P. 7–14.
3. Yuditskiy S. Algebraic presentation to models multiagent networks // Management greater system. – 2011. – № 34. – P. 30–45.
4. Gilbert D., Akkerman V. Bases of the theoretical logic. М. : URSS, 2010.
5. Trahtengerc E. The Methods to generations, estimations and co-ordinations of the decisions in portioned system of support of the acceptance resheniy. // Automation and telemechanics. – №4. – 1995. – P. 3–52.
6. Radchenko E., Yuditskiy S. Modeling speakers flow in multiagent sistems. // Problems of management. – 2005. – №6. – P. 57–64.
7. Kuznecov E., Kulnich A., Markovskiy A. The analysis of the influences when governing semis-structured situation on base cognitive cards // Human factor in management. Under ed. Abramovoy N., Ginsberga K., Novikova D. – М. : KOMKNIGA, 2006. – P. 313–344.

*Стаття надійшла до редакції 02.04.2013.*

---

#### ***Відомості про авторів:***

**Лега Ю. Г.**, доктор технічних наук, професор, ректор Черкаського державного технологічного університету, завідуючий кафедрою радіотехніки, Черкаський державний технологічний університет.

**Прокопенко Т. О.**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління проектами, Черкаський державний технологічний університет.