

УДК 681.513.5:664.12

КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ І УПРАВЛІННЯ СЛАБО- СТРУКТУРОВАНИМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ (СИТУАЦІЯМИ)

При рішенні задач управління слабоструктурованими системами пропонується використовувати когнітивний підхід. У статті зроблена спроба уточнити деякі основні поняття когнітивного підходу до рішення задач аналізу і управління складними системами, до яких відносяться складні технологічні об'єкти та комплекси. Визначені напрями розвитку когнітивного підходу в моделюванні і управлінні

О. В. Савчук

Асистент

Кафедра інформатики*

Контактний тел.: (067) 953-98-71

А. П. Ладанюк

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій*

Контактний тел.: (044) 289-52-83, (067) 729-46-77

e-mail:ladanyk@nuft.edu.ua

Н. Г. Гриценко

Асистент

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій*

Контактний тел.: (067) 685-08-46

*Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01033, Україна

Вступ

Слабоструктуровані проблеми прийняття рішень в складних системах, таких як, наприклад, соціально-економічні, політичні для дослідження і рішення вимагають застосування спеціальних методів моделювання. До таких методів останнє десятиліття відносяться методи когнітивного аналізу, що активно розробляються, дозволяють єдиною схемою у вигляді графа описати якісні і кількісні зв'язки між елементами системи.

Когнітивне моделювання при дослідженні управління слабоструктурованими системами і ситуаціями є одним з нових напрямів в сучасній теорії підтримки і прийняття рішень[1, 6]. Основною метою статті є уточнення базових понять і визначення основних на-

прямів досліджень розвитку когнітивного підходу в моделюванні, виділення класу управлінських завдань, для вирішення яких застосовується когнітивне моделювання. Когнітивний підхід може бути ефективним при дослідженні та управлінні технологічними об'єктами та комплексами.

1. Передумови до застосування когнітивного підходу до аналізу складних систем (ситуацій)

Складнощі аналізу процесів і ухвалення управлінських рішень в складних системах обумовлені рядом особливостей, а саме:

- багатоаспектністю процесів, що відбуваються в складних системах, і їх взаємозв'язністю; через це

неможливе детальне дослідження окремих явищ - всі явища, що відбуваються в системах(ситуаціях), повинні розглядатися в сукупності;

- відсутністю достатньої кількісної інформації про динаміку процесів, що змушує переходити до якісного аналізу таких процесів;
- мінливістю характеру процесів в часі і т.д.

Через вказані особливості складні системи називаються слабоструктурованими, а під поточною ситуацією розуміється їх стан в даний момент часу. Кількість чинників в ситуації може вимірюватися десятками, і всі вони вплетені в павутину змінних в часі причин і наслідків. Побачити і усвідомити логіку розвитку подій на такому багатofакторному полі украй важко, адже постійно доводиться відповідати (часто - негайно) на питання типу: "Що потрібно зробити (на які чинники вплинути), щоб поліпшити стан ситуації?", "Що буде з ситуацією через який-то час, якщо нічого не робити?", "Які із заходів, що виконуються, будуть ефективніші в плані досягнення поставленої мети?" та ін.

На такі питання можна успішно відповісти, якщо використовувати комп'ютерні засоби пізнавального (когнітивного) моделювання ситуацій. Подібні засоби в економічно розвинених країнах застосовуються вже десятки років, допомагаючи підприємствам вижити і розвинути бізнес. Специфіка застосування засобів когнітивного моделювання - в їх орієнтованості на конкретні умови розвитку ситуації. Роботи з розвитку когнітивного підходу і його застосуванню для аналізу і управління слабоструктурованими системами проводяться в даний час в Інституті проблем управління РАН, результати цих робіт успішно застосовані для вирішення деяких прикладних завдань [5].

2. Застосування засобів когнітивного моделювання до задач управління слабоструктурованими системами

Під слабоструктурованою системою (СС-системою) розуміється всяка динамічна система, в структурі і функціонуванні якої важливу роль відіграє людський чинник, для різних проявів якого практично неможливо побудувати точні математичні моделі. «Виразниками» людського чинника можуть бути окремі учасники системи, структурні підрозділи, весь персонал СС-системи і т.д. Оскільки людський чинник грає важливу роль у функціонуванні економічних, політичних, виробничих систем, подібні системи можна розглядати як СС-системи. Будь-яка слабоструктурована система (ситуація) представляється як об'єкт пізнання, який існує і розвивається в умовах зовнішнього для нього середовища, що змінюється [3].

У реальних управлінських ситуаціях часто виникає завдання, яке полягає не в тому, щоб зробити вибір між альтернативними рішеннями, а в тому, щоб проаналізувати ситуацію для виявлення реальних проблем, причин їх появи та прогнозу. Однією з причин є недолік інформації про стан СС в умовах зовнішнього середовища. Відсутність достатніх знань про систему, щодо якої приймається рішення, не є єдиною невизначеністю, обумовленою суб'єктивними причинами. Також можна виділити невизначеність цілей розвитку СС і критеріїв вибору управлінського рішення. Як

правило, незадоволеність поточним станом системи усвідомлюється суб'єктом управління, але його уявлення про причини і можливі способи зміни ситуації в СС розмиті, нечіткі і суперечливі. Формалізація нечітких уявлень – одне з головних завдань, яке треба вирішувати при розробці моделей і методів прийняття рішень в слабоструктурованих ситуаціях з урахуванням прогнозу їх розвитку.

Суб'єктові управління доводиться приймати рішення в умовах, що постійно змінюються, і при обмежених часових ресурсах. Інша складність пов'язана з тим, що суб'єктові управління доводиться маніпулювати якісною інформацією у вигляді гіпотез (припущень), інтуїтивних понять і смислових образів. Численні дослідження процесів прийняття рішень підтверджують, що суб'єктові управління (СУ) не властиво мислити і приймати рішення тільки в кількісних характеристиках. СУ мислить, перш за все якісно, і для нього пошук рішення – це, пошук, в першу чергу, задуму рішення, де кількісні оцінки грають допоміжну роль. Тому структури знання в мисленні СУ, виявляються найважливішими елементами ситуації, неусувними з моделі прийняття рішень.

Складні технічні, економічні, соціально-політичні системи характеризуються відсутністю детального кількісного опису процесів, що відбуваються в них, інформація тут має якісний характер, проте, для кожної такої системи можна вказати:

- сукупність деяких основних (базисних) чинників, тимчасові зміни і взаємодію яких цікавлять аналітика;
- якісний опис безпосереднього впливу чинників один на одного. Як правило, системному аналітику доступна лише якісна інформація про поточний стан того або іншого чинника.

Особливістю дослідження СС є те, що процес підготовки і ухвалення рішень по управлінню СС, як правило, є колективною діяльністю. Кожен учасник цього процесу представляє проблемну ситуацію, виходячи з "своїх" внутрішніх уявлень і знань (картини, моделі світу) про ситуацію. Картина світу включає набір переконань, особливості сприйняття, практичні установки суб'єкта, якими він керується в своїй діяльності і впливає на процес вирішення проблемної ситуації [3].

Взаємозв'язок між уявленнями учасників і ситуацією, в якій вони беруть участь, можна розбити на дві функціональні залежності:

- когнітивну (пасивну), яка виражає зусилля учасників, що витрачається на розуміння ситуації;
- управління (активну), пов'язану з дією їх висновків на ситуацію в реальному світі.

У когнітивній функції сприйняття учасників залежать від ситуації, а у функції управління вони впливають на ситуацію. Таким чином, підготовку і прийняття рішень в завданнях управління СС слід розглядати як складний інтелектуальний процес вирішення проблем, що не зводиться виключно до раціонального вибору. Для підтримки цього процесу потрібні нові підходи до розробки формальних моделей і методів вирішення проблем та формування цілей розвитку СС, особливо на ранніх етапах підготовки управлінських рішень. Перший етап при застосуванні методів ухвалення рішень: "попередній аналіз проблеми і її

структуризація”, – є найбільш складним і таким, що важко формалізується.

При структуризації, або концептуалізації знань проектується структура отриманих знань про предметну область, тобто складається список базисних (основних) понять, виявляються зв'язки між ними, визначаються стратегії ухвалення рішень в даній області і її зв'язку з навколишнім середовищем. Інакше кажучи, на цьому етапі складається неформальний опис знань про предметну область, яку можна наочно зобразити у вигляді графа, таблиці, тексту і т.д. При формалізації знань дослідник - когнітолог вибирає один з цих способів, адекватний його уявленню про предметну область. Етап отримання знань має свою особливість, яка полягає в тому, що його можна розділити на “тонші” процеси (витягання, придбання, формування), що мають власну специфіку. В процесі витягання знань відбувається взаємодія експерта - джерела знань з когнітологом (інженером по знаннях), що дозволяє простежити за ходом міркування фахівців при ухваленні рішень і виявити структуру їх уявлень про предметну область. Витягання - це процедура, в ході виконання якої когнітолог, що має досвід в області когнітивної психології, системного аналізу, або математичної логіки, створює “скелетну” модель наочної області, що наповнюється на подальших етапах конкретними відомостями про об'єкти цієї області. Зручним інструментом дослідження слабоструктурованих систем є когнітивна структуризація, яка сприяє кращому розумінню проблем, виявленню суперечностей і якісному аналізу системи. Ціль когнітивної структуризації полягає у формуванні і уточненні гіпотези про функціонування досліджуваного об'єкта. Для того, щоб зрозуміти і проаналізувати поведінку складної системи, будують структурну схему причинно-наслідкових зв'язків. Два елементи системи А і В, що зображаються на схемі у вигляді окремих точок (вершин), сполучають орієнтованою дугою, якщо елемент А пов'язаний з елементом В причинно-наслідковим зв'язком: $A \rightarrow B$, де: А - причина, В - наслідок.

Основним в даному підході є поняття “ситуація”. Ситуація характеризується, перш за все, набором так званих базисних чинників, за допомогою яких описуються процеси зміни стану в ситуації. Чинники можуть впливати один на одного, причому такий вплив може бути позитивним, коли збільшення (зменшення) одного чинника приводить до збільшення (зменшення) іншого чинника, і негативним, коли збільшення (зменшення) одного чинника приводить до зменшення (збільшення) іншого чинника. Для відображення ступеня впливу використовується сукупність лінгвістичних змінних типу “сильно”, “помірно”, “слабо” і т. п.; такої сукупності лінгвістичних змінних відповідає числова шкала $[0, 1]$ – функція належності.

Подібні схеми представлення причинно-наслідкових зв'язків широко використовуються для аналізу складних систем. Такі схеми, що інтерпретують думку і погляди особи, що ухвалює рішення, називаються когнітивною картою. На математичній мові когнітивна карта називається знаковим (зваженим) орієнтованим графом.

Отже, когнітивний підхід до моделювання і управління СС направлений на розробку формальних моделей і методів, що підтримують інте-

лектуальний процес вирішення проблем завдяки урахування в цих моделях і методах когнітивних можливостей (сприйняття, уявлення, пізнання, розуміння, пояснення) суб'єктів управління при рішенні управлінських завдань.

3. Основні поняття і моделі в сучасному когнітивному моделюванні

Когнітивне моделювання в завданнях аналізу і управління СС – це дослідження функціонування і розвитку слабоструктурованих систем і ситуацій за допомогою побудови моделі СС (ситуації) на основі когнітивної карти. У цій моделі когнітивна карта відображає суб'єктивні представлення (індивідуальні або колективні) досліджуваної проблеми, ситуації, пов'язаної з функціонуванням і розвитком СС. Основними елементами когнітивної карти є базисні фактори (або просто чинники) і причинно-наслідкові зв'язки між ними [4]. Змістовно, базисні фактори (в різних публікаціях також використовується терміни “концепт”, “параметр” або “змінна”) – це чинники, які визначають і обмежують явища і процеси в СС і навколишньому її середовищі, і інтерпретовані суб'єктом управління як істотні, ключові параметри, ознаки цих явищ і процесів.

При становленні когнітивного підходу прийнятим було формальне представлення когнітивної карти у вигляді знакового графа, тобто орієнтованого графа, вершинам якого зіставлені чинники, а ребрам – знаки (+ або –). Останнім часом все частіше когнітивна карта представляється у вигляді зваженого графа, в якому вершинам зіставляються чинники, а ребрам – ваги в тій або іншій шкалі. Тому можна прийняти, що формально загальною для всіх робіт когнітивного підходу є когнітивна карта у вигляді знакового або зваженого графа над множиною чинників.

Найбільш простою когнітивною моделлю системи є її модель у вигляді когнітивної карти:

$$S = \langle E, V \rangle \quad (1)$$

де V – множина концептів; вершини $V_i \in V$, $i = 1, 2, \dots, k$ є елементами системи, що вивчається;

E – множина дуг, дуги $e_{ij} \in E$, $i, j = 1, 2, \dots, N$ відображають взаємозв'язок між вершинами V_i і V_j .

Вершини V позначають найчастіше якісне представлення елементу системи

(наприклад, стан навколишнього середовища і ін.).

Когнітивна карта ситуації - орієнтований зважений граф, в якому:

- вершини взаємооднозначно відповідають базисним чинникам ситуації, в термінах яких описуються процеси в ситуації. Безліч спочатку відібраних базисних чинників може бути верифіковано за допомогою технології data mining, що дозволяє відкинути “надмірні” чинники, “слабо пов'язані” з “ядром” базисних чинників;

- визначаються безпосередні взаємозв'язки між чинниками шляхом розгляду причинно-наслідкових ланцюжків, що описують розповсюдження впливів від кожного чинника на інші чинники. Вважається, що чинники, що входять в посилку “якщо...” ланцюжка

“якщо..., то...”, впливають на чинники наслідку “то...” цього ланцюжка, причому цей вплив може бути або підсилюючим (позитивним), або гальмуючим (негативним), або змінного знаку залежно від можливих додаткових умов.

Когнітивна карта відображає лише факт наявності впливів чинників один на одного. У ній не відображається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів залежно від зміни ситуації, ні часові зміни самих чинників. Урахування всіх цих обставин вимагає переходу на наступний рівень структуризації інформації, відображеної в когнітивній карті, тобто до когнітивної моделі. На цьому рівні кожен зв'язок між чинниками когнітивної карти розкривається до відповідного рівняння, яке може містити як кількісні (вимірювані) змінні, так і якісні (не вимірювані) змінні. При цьому кількісні змінні входять природним чином у вигляді їх числових значень. Кожній якісній змінній ставиться у відповідність сукупність лінгвістичних змінних, що відображають різні стани цієї якісної змінної (наприклад, купівельний попит може бути “слабким”, “помірним”, “ажіотажним” і тому подібне), а кожній лінгвістичній змінній відповідає певний числовий еквівалент у шкалі $[0,1]$. У міру накопичення знань про процеси, що відбуваються в досліджуваній ситуації, стає можливим детальніше розкривати характер зв'язків між чинниками. Тут істотну допомогу може надати використання процедур data mining.

Формально, когнітивна модель ситуації може, як і когнітивна карта, бути представлена графом, проте кожна дуга в цьому графові представляє вже певну функціональну залежність між відповідними базисними чинниками, тобто когнітивна модель ситуації представляється функціональним графом. При аналізі конкретної ситуації користувач зазвичай знає або припускає, які зміни базисних чинників є для нього бажаними. Чинники, що представляють найбільший інтерес для користувача, назвемо цільовими. Це - “вихідні” чинники когнітивної моделі. Завдання вироблення рішень по управлінню процесами в ситуації полягає в тому, щоб забезпечити бажані зміни цільових чинників, це – мета управління. Мета вважається за коректно задану, якщо бажані зміни одних цільових чинників не приводять до небажаних змін інших. У початковій множині базисних чинників виділяється сукупність так званих чинників (“вихідних” чинників когнітивної моделі) управління, через які подаються дії, що управляють, в модель. Дія управління, вважається за узгоджену з метою, якщо воно не викликає небажаних змін ні в якому з цільових чинників.

Різні інтерпретації вершин, ребер і вагів на ребрах, а також різні функції, що визначають вплив зв'язків на чинники, приводять до різних модифікацій когнітивних карт і засобів їх дослідження [4]. При цьому інтерпретації можуть розрізнятися як в змістовному плані, так і в математичному. Завдяки наявності множини модифікацій когнітивних карт можна говорити про різні типи моделей, основу яких складають ці карти. При моделюванні взаємодії складних систем на різних рівнях використовуються різні типи когнітивних моделей, зокрема: векторний функціональний граф, параметричний векторний функціональний граф та ін.

Таким чином, дослідження взаємодії чинників дозволяє оцінювати розповсюдження впливу по когні-

тивній карті, стан, що змінює їх (значення). Поведінка (стан) системи може бути описана на основі значень системних змінних, що робить можливим використання класичних підходів з теорії систем, зокрема, для моделювання, аналізу динаміки, управління. Аналіз когнітивної карти дозволяє виявити структуру проблеми (системи), знайти найбільш значущі чинники, що впливають на неї, оцінити дію чинників (концептів) один на одного. Якщо в когнітивній карті виділені цільові і вхідні концепти, на які можна впливати, то коло вирішуваних задач включає оцінку досяжності цілей, розробку сценаріїв і стратегій управління, пошук управлінських рішень.

Завдання аналізу ситуацій на основі когнітивних карт можна розділити на два типи: статичні і динамічні. Статичний аналіз, або аналіз впливів – це аналіз досліджуваної ситуації за допомогою вивчення структури взаємодії когнітивної карти. Аналіз впливів виділяє чинники з найбільш сильним впливом на цільові чинники, тобто чинники, значення яких потрібно змінити. Динамічний аналіз полягає в основі генерації можливих сценаріїв розвитку ситуації в часі. Таким чином, можливості рішення задач аналізу і управління визначаються типом використовуваних моделей – статичних або динамічних.

Для проведення обох видів аналізу, як правило, використовується математичний апарат двох типів: апарат лінійних динамічних систем і апарат нечіткої математики. У недавніх оглядах досить детально висвітлені сучасні напрями когнітивного підходу для моделей, заснованих на нечіткій математиці і статичних моделях (при використанні різного математичного апарату) [2].

В лінійній динамічній моделі, основу якої складає когнітивна карта, чинник визначається як змінна, що приймає значення з деякої числової шкали.

Зміна значень чинників в часі задається формулою:

$$V_i(t+1) = \sum_{j \in K_i} a_{ij}(\Delta V_j(t)), \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

де $V_i(t+1)$ і $V_i(t)$ – значення i -го чинника в моменти часу $t+1$ і t відповідно,

$\Delta V_j(t) = V_j(t) - V_j(t-1)$ – приріст чинника V_j в момент часу t ,

a_{ij} – вага впливу чинника V_j на чинник V_i ,

K_i – кількість чинників, що безпосередньо впливають на чинник V_i .

Досвід застосування моделей, побудованих на когнітивних картах, для вирішення слабоструктурованих проблем показав, що у багатьох випадках модифікація структури складно інтерпретується в термінах наочної області. Тому для коректної наочної інтерпретації досліджуваних явищ необхідна наявність стійкості СС [5].

Отже, центральним питанням в дослідженнях стає стійкість систем і пошук стратегій управління на основі модифікації структури з метою стабілізації модельованих процесів. Методологія формування сценаріїв розвитку СС дозволяє проводити дослідження їх поведінки при різних управляючих діях. Особлива

увага приділяється пошуку і розробці методів структуризації первинних представлень суб'єкта управління, направлених на побудову когнітивних карт; підвищенню технологічності, науково-методичної і інструментальної підтримки рішення практичних задач управління. Розроблені: метод структурно-цільового аналізу розвитку СС; підхід до дослідження конфліктних ситуацій, що породжуються суперечностями на користь суб'єктів, які роблять вплив на розвиток досліджуваної системи; підхід і методи вирішення слабоструктурованих проблем і формування сценаріїв розвитку СС. Комплексне використання перерахованих методів дозволяє проводити статичний і динамічний аналіз при дослідженні СС.

При коректно заданій меті управління і за наявності дій керування узгоджених з цією метою, рішення задачі управління не викликає особливих труднощів (навіть при нелінійній когнітивній моделі ситуації із знакопостійними впливами чинників один на одного). Загалом же знаходження умов для забезпечення цілеспрямованої поведінки в ситуації є вельми непростим завданням, що вимагає спеціального розгляду.

4. Напрями розвитку когнітивного підходу в моделюванні і управлінні складними організаційно-технологічними системами

Досвід застосування різних моделей і методів на базі когнітивного підходу, показують доцільність розвитку даного підходу в управлінні технологічними об'єктами та комплексами. При цьому слід зазначити наявність невирішених (або частково вирішених) проблем. Виділимо деякі напрями досліджень, якими автори займатимуться в рамках подальшого розвитку когнітивного підходу в моделюванні і управлінні.

- Розробка теоретичних основ, методів і технологій побудови моделей на базі когнітивного підходу при дослідженні слабоструктурованих систем і ситуацій. У цьому напрямі планується сформулювати основні принципи і систему критеріїв, орієнтовані на підвищення достовірності формалізації первинних знань (уявлень). Розробляється загальна концептуальна схема управління процесом побудови моделі слабоструктурованої системи (ситуації).

- Розвиток інструментальних засобів підтримки інтелектуальної діяльності людини при управлінні розвитком слабоструктурованих систем і ситуацій. В даний час розроблений програмно-аналітичний комплекс, в якому реалізовані функції побудови моделей на основі когнітивні карти, структурно-цільового аналізу, сценарного моделювання і порівняльної оцінки сценаріїв.

Висновок

Когнітивний підхід до моделювання і управління складними технологічними об'єктами та комплексами, які відносяться до організаційно-технологічних систем, дає можливість оцінити ситуації та їх розвиток з урахуванням значної кількості чинників. При виробництві багатоасортиментної продукції когнітивний підхід дає можливість комплексно оцінювати техніко-економічні показники функціонування технологічних об'єктів та комплексів з урахуванням зовнішніх факторів, формувати обґрунтовані тактики про стратегічні управління в конкретній ситуації.

Література

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления, 2007. – Спец. выпуск памяти И.В. Прангишвили.
2. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Тр. 6-й междунар. конф. "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" (CASC'2006) / ИПУ РАН. – М.: 2006. – С. 41-54.
3. Горелова Г.В., Захарова Е.Н. Структурный анализ когнитивных моделей сложных систем // Тр. 6-й междунар. конф. "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" (CASC'2006) / ИПУ РАН. – М.: 2006. – С. 172-184.
4. Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Марковский А.В. Анализ влияния 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.
5. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач // Труды ИПУ РАН: Сб. науч. Тр. – М.: ИПУ РАН, 1999. – Т.2. – С. 95-109.
6. Прангишвили И.В. О методах эффективного управления сложными системами // Тр. 5-ой междунар. конф. "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" (CASC'2005) / ИПУ РАН. – М., 2005. – С. 7-15.