

УДК 004.451(075):65.0(075.8)

Голдаєвич Є.Л.
к.ф.-м.н., доцент АМУ

ПОБУДОВА БАГАТОШАРОВИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ ДЛЯ БАГАТОРІВНЕВИХ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ

В роботі описано порядок побудови когнітивної моделі, що пропонується використовувати для моделювання поведінки складних ієрархічних систем. Модель будується на основі положень теорії ієрархічних багаторівневих систем і методів когнітивного моделювання, що дозволяє аналізувати причинно-наслідкові зв'язки в системі, а, також, проводити аналіз її стійкості і виробляти управлінські рішення.

В работе описан порядок построения когнитивной модели, которую предлагается использовать для моделирования поведения сложных иерархических систем. Модель строится на основе положений теории иерархических многоуровневых систем и методов когнитивного моделирования, что позволяет анализировать причинно-следственные связи в системе, а, также, проводить анализ ее устойчивости и вырабатывать управляющие решения.

The order of construction of cognitive model which it is suggested to use for the design of behavior of complex hierarchical systems is described. A model is built on the positions of theory of the hierarchical multilevel systems and methods of cognitive modelling, that allows to analyse cause-and-effect relations in the system, and also to analyse of its stability and to produce a control actions.

Вступ. Останнім часом при дослідженнях і моделюванні поведінки складних систем разом з традиційним математичним апаратом (звичайні диференціальні рівняння, рівняння в часних похідних, математична статистика і т. п.) все частіше використовуються і інші, менш традиційні засоби: клітинні автомати, нейронні мережі і когнітивне моделювання.

Методологія когнітивного моделювання, що призначена для аналізу і прийняття рішень в погано визначених ситуаціях, була запропонована Аксельродом [1]. Вона заснована на моделюванні суб'єктивних уявлень експертів про ситуацію і включає методологію структуризації ситуації, модель представлення знань експерта у вигляді знакового орграфу $G(F, W)$ - когнітивної карти, де F - множина чинників ситуації, W - множина причинно-наслідкових стосунків між чинниками ситуації, а, також, методологію аналізу ситуації. Нині методологія когнітивного моделювання розвивається у напрямі вдосконалення апарату аналізу і моделювання ситуації.

Процес пізнання складних систем можна умовно визначити тріадою: гіпотеза - модель – розв'язок. Як правило, під поняттям "модель" мають на увазі математичну модель, тобто формалізований опис досліджуваного об'єкту мовою математики. Проте питання, "як побудувати" таку модель, залишається відкритим. Проблема полягає в тому, як перевести наші відчуття, образи, поняття на математичну мову. Причому з точки зору психології йдеться не про роботу з абстрактними послідовностями елементів, пов'язаними з семантичним і прагматичним представленням, а про здатність працювати з чуттєвими образами і уявленнями про ці образи. Такі образи мають більше представлення, але вони і значно більш розпливчаті і менш логічні. Проте саме вони дозволяють нам відбивати навколишній світ в усій повноті. Так виникає поняття когнітивного моделювання. Це новий науковий напрям, що виник на стику таких дисциплін, як кібернетика, філософія, соціологія, психологія, нечітка математика.

Когнітивне моделювання, як наука, молоде, проте вже зараз ставляться досить складні проблеми, розв'язок яких є можливим. Це не просто побудова математичної моделі об'єкту, що вивчається, а породження нових рішень на рівні пізнання.

Початковим поняттям в когнітивному моделюванні складних ситуацій є поняття когнітивної карти ситуації.

Когнітивна карта ситуації - це орієнтований зважений граф, в якому:

- вершини взаємно-однозначно відповідають базисним чинникам ситуації, в термінах яких описуються процеси в ситуації. Безліч спочатку відібраних базисних чинників може бути верифіковано за допомогою технології data mining [2], що дозволяє відкинути надлишкові чинники, слабо пов'язані з ядром базисних чинників;
- визначаються безпосередні взаємозв'язки між чинниками шляхом розгляду причинно-наслідкових ланцюжків, що описують поширення впливів від кожного чинника на інші чинники. Вважається, що чинники, що входять в посилку "якщо..." ланцюжка "якщо..., то...", впливають на чинники наслідка "то..." цього ланцюжка, причому цей вплив може бути таким, що або посилює (позитивний), або послаблює (негативний), або змінного знаку залежно від можливих додаткових умов.

Когнітивна карта відображує лише факт наявності впливів чинників один на одного. У ній не відбивається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів залежно від зміни ситуації, ні тимчасові зміни самих чинників. Врахування усіх 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

чисельних значень. Кожній якійсній змінній ставиться у відповідність сукупність лінгвістичних змінних, що відображують різні стани цієї якісної змінної (наприклад, попит на ресурси може бути "слабким", "помірним", "ажіотажним" і тому подібне), а кожній лінгвістичній змінній відповідає певний числовий еквівалент в 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 деяку функціональну залежність між відповідними базисними чинниками, тобто когнітивна модель ситуації представляється функціональним графом.

Забезпечення цілеспрямованої поведінки складної системи

При аналізі конкретної ситуації користувач зазвичай знає або припускає, які зміни базисних чинників є для нього бажаними. Чинники, що представляють найбільший інтерес для користувача, назовемо цільовими. Це - "вихідні" чинники когнітивної моделі. Задача вироблення рішень по управлінню процесами в ситуації полягає в тому, щоб забезпечити бажані зміни цільових чинників, і це є мета управління. Мета вважається коректно заданою, якщо бажані зміни одних цільових чинників не призводять до небажаних змін інших цільових чинників.

У початковій множині базисних чинників виділяється сукупність так званих керуючих чинників ("вхідних" чинників когнітивної моделі), через які подаються керуючі дії в модель. Керуюча дія вважається узгодженою з ціллю, якщо вона не викликає небажаних змін в жодному з цільових чинників.

При коректно заданій цілі управління і за наявності керуючих дій, узгоджених з цією ціллю, розв'язок задачі управління не викликає особливих труднощів (навіть при нелінійній когнітивній моделі ситуації зі знакопостійними впливами чинників один на одного). В загальному же випадку знаходження умов для забезпечення цілеспрямованої поведінки в ситуації є дуже непростю задачею.

Когнітивний аналіз як метод побудови прогнозів розвитку складних систем

Характерною рисою сучасного моделювання складних систем є симбіоз наук – психології, соціології, економіки, математики, інформатики - і це далеко не повний перелік. Дослідження операцій, загальна теорія систем, кібернетика і прогностика - чотири наукознавчих дисципліни, що дали парадигму методології сучасного когнітивного моделювання, а на його основі - прогнозування і планування.

Аналіз різних математичних моделей стосовно складних систем великої розмірності показує, що для цих цілей досить зручно

використовувати апарат знакових, зважених знакових і функціональних знакових графів. Апарат дозволяє працювати з даними як якісного, так і кількісного типу, причому міра використання кількісних даних може збільшуватися залежно від можливостей кількісної оцінки взаємодіючих чинників в ітераційному циклі моделювання. Апарат знакових графів дозволяє формально будувати прогнози розвитку або траєкторії руху модельованої системи в просторі її змінних параметрів (чинників) на основі інформації про її структуру і програм розвитку системи шляхом апроксимації їх відрізками траєкторій імпульсних процесів на знакових орграфах [3].

Для вивчення впливу зміни параметрів вершин, а також обліку впливу контурів зворотного зв'язку користуються правилом імпульсного процесу в знакових і зважених орграфах, який встановлює, як відхилення однієї або декількох змінних поширюються за деякий час по системі.

Методика побудови багат шарових когнітивних карт

У цій роботі пропонується розвиток методики когнітивного аналізу, запропонованої в [4]. Дана методологія синтезує системний і когнітивний підходи і є універсальним науковим інструментарієм розуміння поведінки складних ієрархічних систем.

Для побудови моделі у вигляді багат шарових когнітивних карт необхідно пройти декілька етапів. Опишемо їх.

I етап. Аналіз об'єкту управління.

На цьому етапі виконується обстеження і вивчення об'єкту моделювання. Аналізується існуюча організаційна структура об'єкту, використовувані джерела інформації і застосовані технології її обробки, зв'язки із зовнішніми об'єктами і системами. Формуються вимоги до створеної моделі, технологій і інструментальних засобів її створення.

II етап. Когнітивний аналіз складної ситуації (занурення в проблему, ідентифікація проблеми).

1.Формулювання завдання і мети дослідження.

2.Вивчення ситуації, що аналізується, процесу або об'єкту з позицій поставленої цілі.

3.Збір, систематизація, аналіз існуючої статистичної і якісної інформації з проблеми, а, також, ідентифікація джерел інформації: статистичних даних, документів, висновків експертів, інформаційних повідомлень з різних джерела та ін.

4.Виділення основних характеристичних ознак процесу (досліджуваної ситуації), що вивчається, і виявлення взаємозв'язків між ними; визначення дій основних об'єктивних законів розвитку досліджуваної системи, що дозволить виділити об'єктивні залежності і тенденції, що відбуваються в процесах.

5.Визначення властивих досліджуваній ситуації вимог, умов, обмежень.

6. Виділення основних суб'єктів, пов'язаних із ситуацією, визначення їх суб'єктивних інтересів в розвитку цієї ситуації, що дозволить визначити можливі зміни в об'єктивному розвитку ситуації, виділити чинники, на які реально можуть впливати суб'єкти ситуації.

7. Визначення шляхів і механізмів дії основних суб'єктів, що дозволить надалі визначити стратегії поведінки і запобігання небажаним наслідкам розвитку ситуації.

III етап. Побудова когнітивної (графової) моделі проблемної ситуації.

1. Виділення чинників, що характеризують проблемну ситуацію, робота експертів.

1.1. Виділення базисних (основних) чинників, що описують суть проблеми.

1.2. Виділення в сукупності базисних чинників цільових чинників.

1.3. Визначення чинників, що управляють, впливають на цільові чинники. Ці чинники в моделі будуть вхідними координуючими сигналами дії на ситуацію.

1.4. Визначення чинників-індикаторів, відбиваючих і пояснюючих розвиток процесів в проблемній ситуації і їх вплив на різні сфери.

2. Групування чинників по блоках. Об'єднуються в один блок чинники, що характеризують цю сферу проблеми і визначають процеси в цій сфері. Можливий перетин блоків в залежності від специфіки проблеми, цілей аналізу, кількості об'єктів в системі і т.д.

2.1. Виділення в блоці групи інтегральних показників (чинників), за зміною яких можна судити про загальні тенденції в цій сфері.

2.2. Виділення в блоці показників (чинників), що характеризують тенденції і процеси в цій сфері детальніше.

3. Визначення зв'язків між чинниками.

3.1. Визначення зв'язків і взаємозв'язків між блоками чинників. Це дозволить визначити основні напрями впливу чинників різних блоків один на одного.

3.2. Визначення безпосередніх зв'язків між чинниками усередині блоку:

3.2.1. Визначення напрямів впливів і взаємовпливу між чинниками (тобто виявлення ланцюжків "причина-наслідок").

3.2.2. Визначення знаку впливу (позитивний або негативний).

3.2.3. Визначення міри впливу і взаємовпливу чинників (слабо, сильно).

3.3. Визначення зв'язків між чинниками різних блоків.

4. Побудова когнітивної карти ситуації.

Когнітивна карта системи (ситуації) є орієнтованим взваженим графом [4], в якому:

- вершини взаємно однозначно відповідають базисним чинникам

ситуації, в термінах яких описуються процеси в ситуації. Множина первинно відібраних базисних чинників може бути верифікована за допомогою технології data mining [2], що дозволяє відкинути "надлишкові" чинники, слабо пов'язані з ядром базисних чинників;

- визначаються безпосередні взаємозв'язки між чинниками шляхом розгляду причинно-наслідкових ланцюжків, що описують поширення 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 таким, що або посилює (позитивний), або послаблює (негативний), або змінного знаку залежно від можливих додаткових умов.

Когнітивна карта відбиває лише факт наявності впливів чинників один на одного. У ній не відбивається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів залежно від зміни ситуації, ні тимчасові зміни самих чинників. Врахування усіх 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 (невимірювані) змінні.

У міру накопичення знань про процеси, що відбуваються в досліджуваній ситуації, стає можливим детальніше розкривати характер зв'язків між чинниками.

5. Уточнення цільових чинників, виділених експертами.

6. Складання рівнянь когнітивної моделі ситуації.

"Можна вважати, що когнітивна карта - це суб'єктивна модель сприйняття людиною частки світу, за допомогою якої він може усвідомити закономірності цієї частки, не вдаючись до подробиць, оскільки вони ускладнюють картину і утрудняють сприйняття" [5].

Формально, когнітивна модель (як і карта) ситуації може бути представлена орієнтованим зваженим графом.

Когнітивна модель - це функціональний граф, в якому концепти (вершини) є базисними чинниками ситуації, а дуги представляють собою деяку функціональну залежність між відповідними базисними чинниками. При аналізі конкретної ситуації особа, що приймає рішення, зазвичай знає або припускає, які зміни базисних чинників є для неї бажаними.

Для побудови багат шарових когнітивних карт паралельно до когнітивного підходу на III етапі пропонується будувати ієрархічну систему з позицій теорії систем [6].

Розглянемо структуру деякої трирівневої системи. Окремі блоки зображують підсистеми, а їх взаємне розташування відбиває ієрархічну структуру усієї системи (рис. 1). Наприклад, це може бути організація окремого бізнес-процеса в структурі бізнес-системи довільної топології.

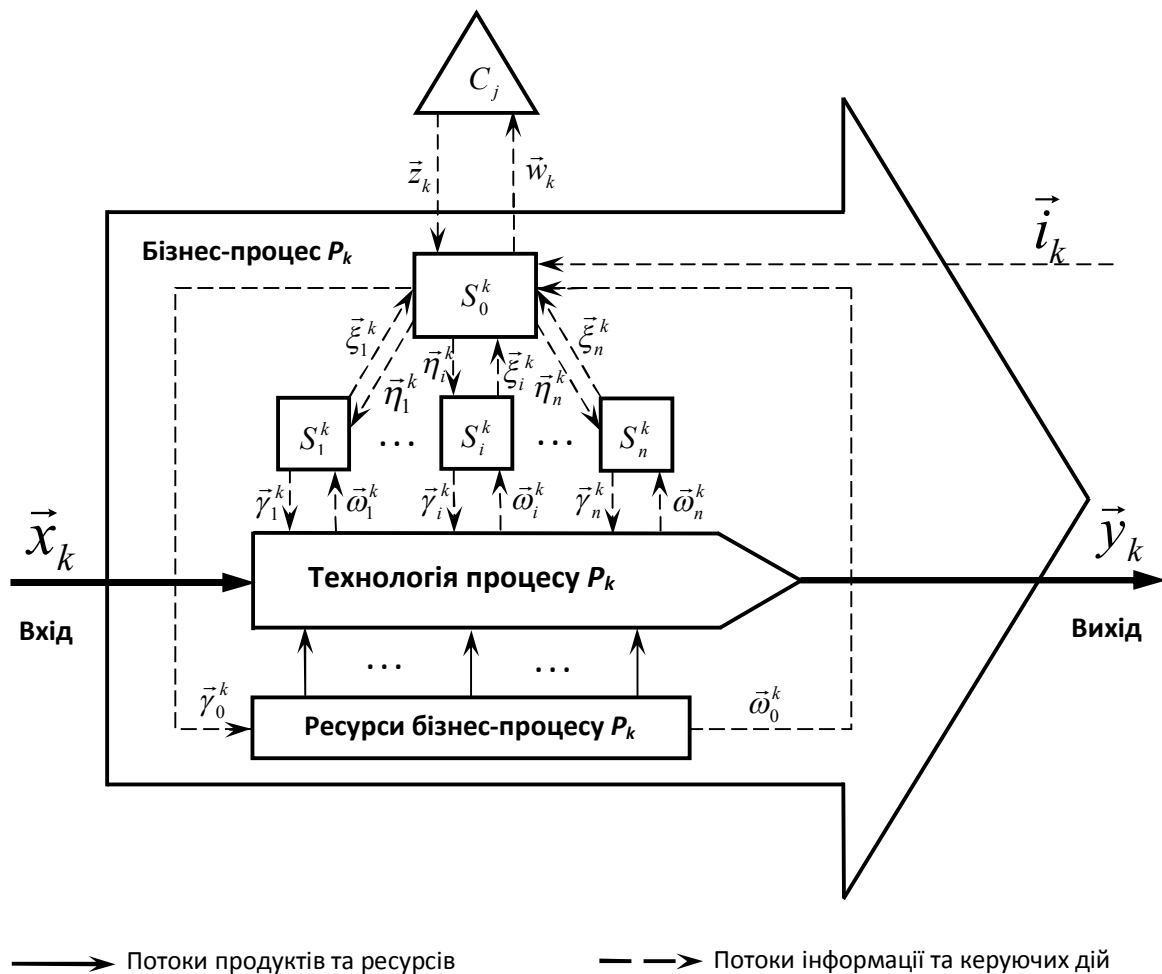


Рис. 1. Тривірнева система з n нижчестоячими керуючими системами і єдиною вищестоячою системою управління

На рис. 1 зображено керований бізнес-процес P_k і вищестояча керуюча система C_j . Бізнес-процес має два рівні управління: рівень власника бізнес-процеса S_0^k і рівень АСУ ТП - n нижчестоячих керуючих систем $S_1^k, \dots, S_i^k, \dots, S_n^k$. В бізнес-процесі є, також, два види вертикальної взаємодії між підсистемами. Один - це передача вхідних сигналів зверху вниз, причому від C_j до S_0^k і від S_0^k до $S_1^k, \dots, S_i^k, \dots, S_n^k$ - це координуючі сигнали або втручання, а від $S_1^k, \dots, S_i^k, \dots, S_n^k$ до P_k - це керуючі дії. Інший вид - це передача знизу нагору інформаційних сигналів, або сигналів зворотного зв'язку. Розглянемо рівні управління.

Бізнес-процес P_k є деяким керованим процесом, до якого надходять вхідні сигнали двох видів: керуючі входи $\{\bar{\gamma}_i^k\}$, $\bar{\gamma}_i^k \in \Gamma^k$, де Γ^k - множина керуючих сигналів, і сигнали (входи) $\{\beta_i^k\}$, $\beta_i^k \in B^k$, що є зовнішніми збуреннями, що поступають з довкілля. Символом y_k^i позначимо i -й

"вихід" процесу P_k , $\{y_k^i\} = \bar{y}_k$, i , відповідно, множина $\{\bar{y}_k\} = Y$ - це множина виходів процесу P_k . Тоді процес P_k можна представити у вигляді відображення: $P_k: \Gamma^k \times B^k \rightarrow Y$. Відповідно множину керуючих сигналів Γ^k можна представити у вигляді декартового добутку n множин:

$$\Gamma^k = \Gamma_1^k \times \Gamma_2^k \times \dots \times \Gamma_n^k,$$

причому i -а локальна керуюча система S_i^k має повноваження вибирати i -у компоненту $\bar{\gamma}_i^k$ керуючого сигналу $\bar{\gamma}^k$, впливаючи тим самим відповідним чином на процес.

Тепер зупинимося на системах управління нижнього рівня S_i^k . До системи S_i^k надходять інформаційні сигнали $\bar{\omega}_i^k$, $\bar{\omega}_i^k \in \Omega^k$ від процесу P_k і координуючий сигнал $\bar{\eta}_i^k$, що поступає від вищестоячої керуючої системи - власника бізнес-процеса. Тоді $S_i^k: \bar{\eta}_i^k \times \Omega^k \rightarrow \Gamma_i^k$. Керуючу систему S_0^k називають такою, що координує, для якої $\bar{\xi}_i^k$ - зворотний зв'язок. Вважається, що керуюча система S_0^k здійснює відображення $S_0^k: \Xi^k \rightarrow N^k$, де Ξ^k - множина інформаційних сигналів, за допомогою яких реалізується зворотний зв'язок, N^k - множина координуючих сигналів.

Якщо припустити, що сигнали $\bar{\omega}_i^k$ містять інформацію відносно поведінки процесу P_k і пов'язані функціональною залежністю з керуючими сигналами $\bar{\gamma}_i^k$, зовнішніми збуреннями β_i^k і виходами y , то цю залежність можна представити у вигляді відображення $f_i^k: \Gamma_i^k \times B^k \times Y \rightarrow \Omega^k$. Аналогічно сигнал $\bar{\xi}$ містить інформацію відносно поведінки нижчестоячих керуючих систем, тому для нього можливе відображення: $f_0^k: \Xi^k \times \Omega^k \times \Gamma^k \rightarrow W$, де $\Omega^k = \Omega_1^k \times \Omega_2^k \times \dots \times \Omega_n^k$.

Таким чином, маючи в наявності чітку ієрархічну структуру достатньо просто можна перейти до багатосарових когнітивних карт.

IV етап. Моделювання.

Як правило, моделювання є циклічним процесом, в якому знання про досліджувану проблему розширюються і уточнюються, а початкова модель постійно удосконалюється.

Когнітивне моделювання базується на сценарному методі, який дозволяє об'єднати як відомі якісні, так і кількісні підходи.

Сценарій - це модель майбутнього, в якій описується можливий хід подій з вказівкою вірогідності їх реалізації. У сценарії визначаються основні чинники, які мають бути взяті до уваги, і вказується, яким чином ці чинники можуть вплинути на передбачувані події.

Сценарій може моделюватися за трьома основними напрямками.

1. Прогноз розвитку ситуації без жодної дії на процеси в ситуації (ситуація розвивається сама по собі).

2. Прогноз розвитку ситуації з вибраним комплексом заходів (керувань) - пряма задача.

3. Синтез комплексу заходів для досягнення необхідної зміни стану ситуації - зворотна задача.

Дослідження, пов'язані з процесом моделювання, також проводяться поетапно, тобто можна виділити наступні етапи моделювання :

- визначення початкових умов, тенденцій, що характеризують розвиток ситуації на цьому етапі. Це необхідно для надання адекватності модельного сценарію реальній ситуації, що посилює довіру до результатів моделювання;

- задання цільових, бажаних напрямів (збільшення, зменшення) і сили (слабо, сильно) зміни тенденцій процесів в ситуації;

- вибір комплексу заходів (сукупності керуючих чинників), визначення їх можливої і бажаної сили і спрямованості дії на ситуацію;

- вибір комплексу можливих дій (заходів, чинників) на ситуацію, силу і спрямованість яких необхідно визначити;

- вибір спостережуваних чинників (індикаторів), що характеризують розвиток ситуації, здійснюється залежно від цілей аналізу і бажання користувача.

V етап. Реалізація, впровадження і перевірка.

Етап реалізації забезпечує програмну і технічну (в міру необхідності) реалізацію проектних рішень по моделюванню. У міру розробки окремих програмних компонентів здійснюється їх тестування, інтеграція і впровадження. Здійснюється завантаження первинної нормативно-довідкової інформації і, власне, розвиток моделі. В процесі експлуатації моделі здійснюється реєстрація помилок, проводиться експертиза управлінських рішень, формулюються вимоги до модифікації моделі у зв'язку із змінами об'єкту і функцій управління. Як результат - перевірка адекватності моделі реальній ситуації, тобто зіставлення отриманих результатів з характеристиками системи, які за тих же початкових умов були у минулому. Якщо результати порівняння незадовільні, то модель коригується, і переходять до п. 1 етапу III.

Висновки.

Описаний в роботі порядок побудови моделі пропонується використовувати для моделювання складних ієрархічних систем. Модель будується на основі положень теорії ієрархічних багаторівневих систем і когнітивного моделювання, що дозволяє аналізувати причинно-наслідкові зв'язки в системі, що розглядається, проводити аналіз її стійкості і виробляти управлінські рішення.

Використані джерела інформації:

1. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton. University Press, 1976
2. *Дюк В.А.* Data Mining – интеллектуальный анализ данных// ВУТЕ (Россия).1999.№9. С.18-24.
3. *Робертс Ф.С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным,

- биологическим и экологическим задачам: Пер. с англ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 496 с.
4. Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений // Информационное общество, Москва: 1999, Вып.2. С. 50-54.
 5. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия "Информатизация России на пороге XXI века". - М.: СИНТЕГ, 1998. - 376 с.
 6. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. - М.: Мир, 1973. - 345 с.

Рецензент: д.т.н. Лисенко О.І.