



IT-ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ, МИСТЕЦТВІ ТА КУЛЬТУРІ  
IT-TECHNOLOGIES IN EDUCATION, ARTS AND CULTURE  
IT-ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ, ИСКУССТВЕ И КУЛЬТУРЕ

---

УДК 004.81:37

DOI: 10.31866/2617-796x.2.1.2019.175650

*Ткаченко Ольга,*

*кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри інформаційних технологій,  
Державний університет інфраструктури та технологій,  
Київ, Україна*

*oitkachen@gmail.com*

*<http://orcid.org/0000-0003-1800-618X>*

## КОГНІТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

**Метою статті** є дослідження та розгляд загальних проблем когнітивного моделювання складних систем, основних етапів та складових.

**Методами дослідження** є методи семантичного аналізу основних понять розглянутої предметної області (когнітивне моделювання складних систем). У статті розглянуті підходи до тлумачення понять «когнітивний аналіз» та «когнітивне моделювання» складних систем, що пов'язані з організаційними, управлінськими та інформаційними аспектами. В статті розглянута сутність когнітивного моделювання з позиції забезпечення цієї сфери інформаційної діяльності.

**Новизною проведеного** дослідження є застосування когнітивного моделювання до складних систем на прикладі системи освіти.

**Висновок.** Комп'ютерне моделювання сприяє: врахуванню змін зовнішнього середовища та об'єкта управління (системи освіти); систематизації та верифікації уявлень експерта про об'єкт управління (систему освіти) та його зовнішнє середовище; плануванню, з урахуванням наявних перспектив, ресурсів, коштів; використанню в своїх інтересах об'єктивно сформованих тенденцій розвитку ситуації щодо складної системи; прогнозуванню наслідків відповідних управлінських рішень щодо розвитку складної системи; розробці оптимальних стратегій управління системою освіти з урахуванням впливу різноманітних видів тенденцій та чинників.

**Ключові слова:** когнітивне моделювання; когнітивний аналіз; когнітивна модель; слабкоструктуроване середовище; складна система.

**Вступ.** Когнітивний аналіз є одним з найбільш потужних інструментів дослідження слабкоструктурованих середовищ, сприяючи розумінню існуючих проблем, виявленню суперечностей та якісному аналізу процесів, що протікають в цих середовищах.

Сутність когнітивного моделювання (КМ) як елементу когнітивного аналізу полягає у спрощеному відображенні найскладніших проблем і тенденцій розвитку системи, дослідженні можливих сценаріїв виникнення кризових ситуацій та шляхів і умов їх подолання. Використання КМ якісно підвищує обґрунтованість прийняття управлінських рішень.

Більшість видів діяльності в слабкоструктурованому середовищі тісно пов'язані з ризиком, що обумовлений невизначеністю умов та можливими помилковими рішеннями керуючих осіб. Таким чином, сутність КМ полягає в допомозі експерту проаналізувати ситуацію і розробити найбільш ефективну стратегію управління, спираючись не стільки на власну інтуїцію, скільки на впорядковане, структуроване і верифіковане знання про складну систему.

**Результати дослідження.** Сфера застосування КМ досить широка – бізнес, регіональне управління, розробка економічних і політичних стратегій та програм, соціологічні дослідження, військова сфера, інформаційна безпека і конфліктологія.

КМ сприяє кращому розумінню проблемної ситуації, виявленню суперечностей та якісному аналізу системи. Мета КМ полягає у формуванні та уточненні гіпотези про функціонування досліджуваного об'єкту, що розглядається як складна система, яка складається з окремих елементів і підсистем, пов'язаних між собою. Етапи КМ:

- виявлення чинників, що характеризують ситуацію, систему, середовище. Наприклад, суть проблеми «Підготовка кадрів» можна сформулювати в факторах «Освітня послуга», «Несплата освітньої послуги», «Доходи закладу вищої освіти», «Демографічний стан», «Кількість студентів», «Витрати на організацію навчального процесу» та ін.;

- виявлення зв'язків між факторами. Визначення напрямку впливів і взаємовпливів між факторами, наприклад, «Кількість абітурієнтів» впливає на «Доходи закладу вищої освіти»;

- визначення характеру впливу (позитивний, негативний). Наприклад, збільшення (зменшення) фактору «Кількість студентів» збільшує (зменшує) «Витрати на організацію навчального процесу» – позитивний вплив; а збільшення (зменшення) фактору «Несплата освітньої послуги» зменшує (збільшує) «Доходи закладу вищої освіти» – негативний вплив. На цьому етапі будується когнітивна карта у вигляді орієнтованого графа;

- визначення рівня впливу факторів один на одного (слабо, сильно). На цьому етапі остаточно будується когнітивна модель у вигляді функціонального графа.

Таким чином, до когнітивної моделі входять когнітивна карта (орієнтований граф) і ваги дуг графа (рівні впливу факторів один на одного). При визначенні ваг дуг орієнтований граф перетворюється в функціональний.

При КМ терміни «когнітивна карта» і «орієнтований граф» часто вживаються як рівнозначні; хоча, поняття «орієнтований граф» ширше, а термін «когнітивна

карта» вказує лише на одне із застосувань орієнтованого графа. Когнітивна карта складається з факторів (елементів системи) і зв'язків між ними (Интеллектуализированные компьютерные технологии поддержки принятия решений, б.н.). Подібні схеми уявлення причинно-наслідкових зв'язків широко використовуються для аналізу складних систем в економіці та соціології.

Приклад когнітивної карти ситуації, що склалася в системі освіти, наведено на рис. 1.

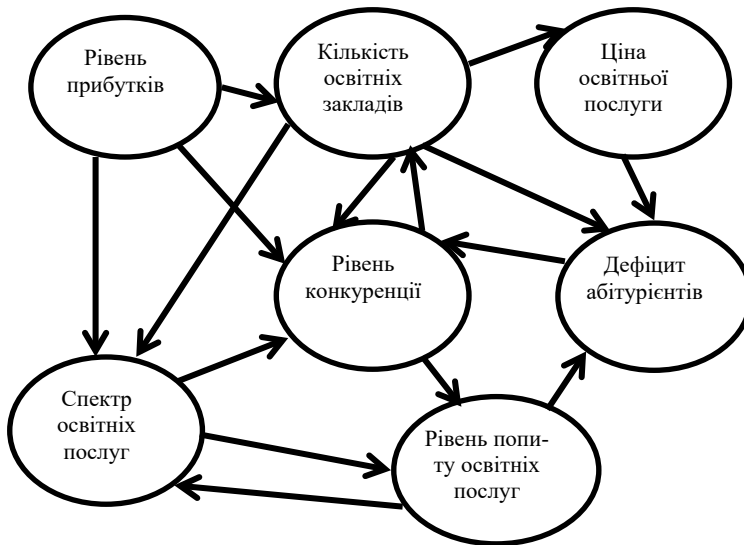


Рис. 1. Когнітивна карта – орієнтований граф.

Когнітивна карта відображає вплив факторів один на одного. У ній не відображається детальний характер цих впливів, динаміка зміни впливів в залежності від зміни ситуації та тимчасові зміни факторів. Облік цих обставин вимагає переходу на наступний рівень структуризації інформації, тобто до когнітивної моделі.

На цьому рівні зв'язок між факторами когнітивної карти розкривається відповідними залежностями, кожна з яких може містити як кількісні, так і якісні змінні. При цьому якісній змінній ставиться у відповідність певний числовий еквівалент у шкалі  $[0,1]$ . Когнітивна модель ситуації може бути представлена орієнтованим графом, кожна дуга в якому представляє функціональну залежність між відповідними факторами. Когнітивна модель ситуації представляється функціональним графом.

Приклад функціонального графа, що відображає ситуацію в системі освіти, представлений на рис. 2.

Для структуризації системи (об'єкта, ситуації, середовища) слід поділити чинники (елементи) на групи: *базові* (впливають на ситуацію суттєво і описують сутність проблеми) та *малозначні* фактори, що слабо пов'язані з базисними факторами (Кулинич, 2019).

При аналізі конкретної ситуації експерт визначає зміни базисних факторів. Фактори, що представляють найбільший інтерес для експерта, є *цільовими*.

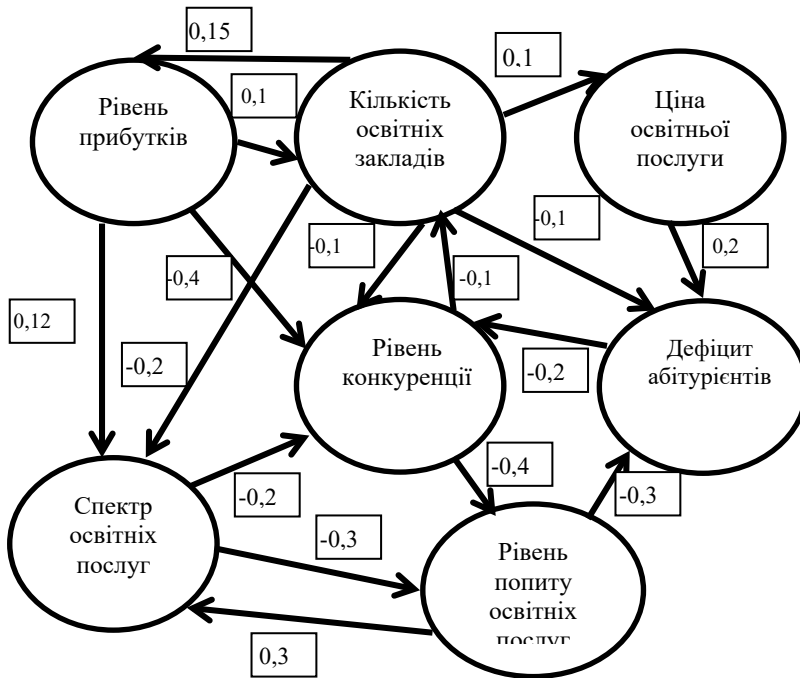


Рис. 2. Функціональний граф

Мета управління – генерація управлінських рішень щодо процесів в ситуації для забезпечення бажаних змін цільових факторів.

У множині базисних факторів виділяється сукупність керуючих факторів – вхідних факторів когнітивної моделі, через які до моделі подаються керуючі впливи (Кулинич, 2019).

Фактори можуть поділятися на *внутрішні* (належать самому об'єкту управління, знаходяться під певним контролем керівництва) і *зовнішні* (відображають вплив на ситуацію або систему зовнішніх сил, які можуть не контролюватися або ззовні контролюватися суб'єктом управління).

Зовнішні чинники зазвичай поділяються на передбачувані, виникнення і поведінку яких можна передбачити на основі аналізу наявної інформації, і на непередбачувані, про поведінку яких експерт дізнається після їх виникнення.

Фактори характеризуються також тенденцією зміни своїх значень. Розрізняють такі тенденції: *зростання* та *зниження*. У разі відсутності зміни фактора говорять про відсутність тенденції або про нульові тенденції. Також можливе виявлення чинників та факторів-наслідків, короточасних і довгострокових чинників.

Основними проблемами побудови когнітивної моделі є такі:

- виявлення факторів та їх ранжування (на етапі побудови орієнтованого графа);
- виявлення ступеня взаємовпливу факторів (визначення ваг дуг графа) (на етапі побудови функціонального графа).

Зазвичай при розгляді великих (наприклад, макроекономічних) систем застосовується так званий PEST-аналіз (Policy – політика, Economy – економіка, Society

– суспільство, Technology – технологія), що передбачає виділення 4-х основних груп факторів, за допомогою яких аналізується політичний, економічний, соціокультурний і технологічний аспекти середовища. PEST-аналіз – інструмент історично сформованого стратегічного аналізу зовнішнього середовища. При цьому для кожного конкретного складного об'єкту існує свій особливий набір ключових факторів, які безпосередньо і найбільш істотним чином впливає на об'єкт. Аналіз кожного з виділених аспектів проводиться системно, так як в житті всі ці аспекти між собою тісно взаємопов'язані.

Для відображення взаємодії факторів використовуються позитивний і нормативний підходи. Позитивний ґрунтується на врахуванні характеру взаємодії факторів і дозволяє провести дуги, приписавши їм знаки (+ / –) і точні ваги, тобто відобразити характер взаємодії. Цей підхід можна застосувати тоді, коли взаємозв'язок факторів може бути формалізовано і відображено формулами, які встановлюють точні кількісні взаємозв'язки (Максимов, Корноушенко та Качаев, 2019).

Однак можна сказати, що формалізовані лише деякі випадки взаємодії факторів і чим складніше система, тим менше ймовірність її опису за допомогою традиційних математичних моделей. Тому позитивний підхід доповнюється нормативним, який ґрунтується на суб'єктивному сприйнятті взаємодії факторів.

Найважливіша проблема КМ – виявлення ваг дуг графа – тобто кількісна оцінка взаємовпливу або впливу факторів. КМ застосовується при дослідженні слабкоструктурованого середовища, характеристиками якого є: мінливість, слабка формалізованість, багатофакторність і таке інше.

Формалізовані кількісні залежності чинників описуються різними закономірностями (формулами), залежними від самих чинників. Однак побудова математичної моделі не завжди можлива. Проблема універсальної формалізації взаємовпливу факторів досі не вирішена і навряд чи коли-небудь буде вирішена до кінця, бо не завжди можлива точна кількісна оцінка залежностей.

В КМ при оцінці ваг дуг часто враховуються суб'єктивні думки експерта. Основне завдання при цьому полягає у компенсуванні суб'єктивності оцінок за допомогою процедур верифікації. При цьому зазвичай недостатньо однієї перевірки оцінок експерта на несуперечливість.

**Використання когнітивної моделі.** Основне призначення когнітивної моделі полягає в допомозі експерту у генерації правильного управлінського рішення. Тому КМ використовується в системах підтримки прийняття рішень. Когнітивна модель візуалізує і впорядковує інформацію про обстановку, задум, мету і дії. При цьому візуалізація відіграє важливу когнітивну функцію, ілюструючи не тільки результати дій суб'єкта управління, а й підказуючи йому способи аналізу і генерування варіантів рішень. Когнітивна модель пояснює, на який чинник або взаємозв'язок факторів необхідно впливати, з якою силою і в якому напрямку, щоб отримати бажану зміну цільових факторів, тобто щоб досягти мети управління з найменшими витратами.

Керуючі впливи можуть бути короточасними (імпульсними) або тривалими (безперервними), що діють аж до досягнення мети. Можливо і спільне використання імпульсних і безперервних дій, що управляють.

При досягненні заданої мети відразу ж постає завдання утримання ситуації в досягнутому сприятливому стані до тих пір, поки не з'явиться нова мета. В принципі, завдання утримання ситуації в необхідному стані не відрізняється від завдання досягнення мети.

Комплекс взаємопов'язаних дій, що управляють, їх логічна послідовність складають цілісну стратегію управління – модель управління (Максимов, Корноушенко та Качаев, 2019).

Застосування різних моделей управління може привести до різних результатів. Тут важливо вміти передбачити, до яких наслідків призведе та чи інша управлінська стратегія.

Для розробки такого роду прогнозів використовується сценарний підхід (сценарне моделювання) в рамках когнітивного аналізу. Іноді сценарне моделювання називають «динамічне імітаційне моделювання».

Сценарний підхід являє собою «розігрування» різних варіантів розвитку подій в залежності від обраної моделі управління і поведінки непередбачуваних факторів. Для кожного сценарію будується триада «вихідні передумови – вплив на ситуацію – отриманий результат». Когнітивна модель в цьому випадку сприяє врахуванню всього комплексу ефектів для різних факторів, динаміку факторів та їх взаємозв'язків при різних умовах.

Таким чином, виявляються всі можливі варіанти розвитку системи і генеруються пропозиції щодо оптимальної стратегії управління для реалізації бажаного сценарію з можливих. Етапи сценарного аналізу можна представити таким чином:

- формування мети управління (бажаної зміни цільових факторів);
- розробка сценаріїв розвитку ситуації при застосуванні різних стратегій управління;
- визначення досяжності поставленої мети (можливості бути реалізованим сценаріїв, що ведуть до неї); перевірка оптимальності вже наміченої стратегії управління (якщо така є); вибір оптимальної стратегії, відповідної найкращому, з точки зору поставленої мети, сценарієм;
- конкретизація оптимальної управлінської моделі – розробка конкретно-практичних рекомендацій керівникам. Ця конкретизація включає в себе виявлення керуючих факторів (за допомогою яких можна впливати на розвиток подій), визначення сили і спрямованості дій, що управляють на керуючі фактори, передбачення ймовірних кризових ситуацій внаслідок впливу непередбачуваних зовнішніх чинників і т. п.

Етапи сценарного моделювання можуть змінюватися в залежності від об'єкта дослідження і управління.

На початковому етапі моделювання може бути достатньо якісної інформації, яка не має точного числового значення і відображає суть ситуації. При переході до моделювання конкретних сценаріїв все більш значущим стає використання кількісної інформації, що представляє собою числові оцінки значень будь-яких показників (Осипов, 2019).

Основними класами сценаріїв є:

- сценарії, що моделюють зовнішні впливи;
- сценарії, що моделюють цілеспрямований (керований) розвиток ситуації.

Таким чином, ситуаційний аналіз є потужним інструментом розробки стратегії розвитку системи (ситуації, процесу та т. і.).

Існуюча теоретична база когнітивного аналізу, хоча і вимагає уточнень і розвитку, дозволяє різним суб'єктам управління зайнятися розробкою власних когнітивних моделей, оскільки передбачається, що для кожної проблеми, складаються специфічні моделі.

**Висновки.** Проведене автором дослідження надає можливість зробити наступні висновки, що КМ сприяє:

- дослідженню проблем, що виникають в слабкоструктурованих об'єктах, системах, середовищах, які складно або взагалі не піддаються вивченню за допомогою математичного моделювання;
- врахуванню змін зовнішнього середовища і самого об'єкта управління (системи освіти);
- систематизації та верифікації уявлень експерта про об'єкт управління (систему освіти) та його зовнішнє середовище;
- плануванню майбутнього з урахуванням наявних перспектив, ресурсів, коштів;
- використанню в своїх інтересах об'єктивно сформованих тенденцій розвитку ситуації щодо складної системи (системи освіти);
- прогнозуванню наслідків відповідних управлінських рішень щодо розвитку системи освіти;
- розробці оптимальних стратегій управління системою освіти з урахуванням впливу різноманітних видів тенденцій та чинників.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

*Интеллектуализированные компьютерные технологии поддержки принятия решений.* [online]. Доступно: <<http://www.ipu.ru/labs/lab51/projects.htm>> [Дата обращения 25 апреля 2019].

Кулинич, А.А., 2003. *Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций.* [online]. Доступно: <<http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>> [Дата обращения 26 апреля 2019].

Максимов, В.И., Корноушенко, Е.К. и Качаев, С.В. *Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений.* [online]. Доступно: <<http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/ВРА/092aa276c601a997c32568c0003ab839>> [Дата обращения 26 апреля 2019].

Осипов, Г.С. *Динамические модели и инструментальные средства, использующие эмпирические и экспертные знания.* [online] Доступно: <[http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/dokl\\_osipov.html](http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/dokl_osipov.html)> [Дата обращения 25 апреля 2019].

## REFERENCES

*Intellektualizirovannye kompiuternye tekhnologii podderzhki priniatiia reshenii* [Intellectualized computer technology decision support]. [online] Available at: <<http://www.ipu.ru/labs/lab51/projects.htm>> [Accessed 25 April 2019].

Kulinich, A.A., 2003. *Metodologiya kognitivnogo modelirovaniia slozhnykh plokhо opredelennykh situatsii* [Methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations]. [online] Available at: <<http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>> [Accessed 26 April 2019].

Maksimov, V.I., Kornoushenko, E.K. and Kachaev, S.V. *Kognitivnye tekhnologii dlia podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii* [Cognitive technologies to support management decision making]. [online] Available at: <<http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839>> [Accessed 26 April 2019].

Osipov, G.S. *Dinamicheskie modeli i instrumentalnye sredstva, ispolzuiuushchie empiricheskie i ekspertnye znaniia* [Dynamic models and tools using empirical and expert knowledge]. [online]. Available at: <[http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/dokl\\_osipov.html](http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/dokl_osipov.html)> [Accessed 25 April 2019].

## UDC 004.81:37

**Tkachenko Olha,**

*Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Information Technologies Department,  
State University of Infrastructure and Technology,  
Kyiv, Ukraine  
oitkachen@gmail.com  
<http://orcid.org/0000-0003-1800-618X>*

## COGNITIVE MODELING OF COMPOSITE SYSTEMS

**The purpose of the article** is to study and discuss the general problems of such an important area of information activity as cognitive modeling of complex systems, its main stages and components.

**Research methods** are methods of semantic analysis of the basic concepts of the subject domain (cognitive modeling of complex systems). The article deals with approaches to the interpretation of the concepts of cognitive analysis and cognitive modeling of complex systems related to organizational, managerial and informational aspects. In the article the essence of cognitive modeling from the standpoint of maintenance of this sphere of information activity is considered.

**The novelty of the research** is the application of cognitive modeling of complex systems on the example of the education system.

**The conclusion** of the research carried out in the article is that computer simulation contributes to: taking into account the changes of the external environment and the object of control itself (education system); systematization and verification of the expert's representations about the object of management (education system) and its external environment; planning of the future taking into account existing perspectives, resources, funds; use in their interests objectively formed tendencies in the development of a situation concerning a complex system (education system); forecasting the consequences of relevant managerial decisions regarding the development of the education system; the development of optimal strategies for managing the education system taking into account the impact of various types of trends and factors.

**Key words:** cognitive modeling; cognitive analysis; cognitive model; weakly structured environment; complex system.



**УДК 004.81:37****Ткаченко Ольга,***кандидат фізико-математических наук,**доцент кафедри інформаційних технологій,**Государственный университет инфраструктуры и технологий,**Киев, Украина**oitkachen@gmail.com**<http://orcid.org/0000-0003-1800-618X>*

## КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

**Целью статьи** является исследование и рассмотрение общих проблем такой важной сферы информационной деятельности как когнитивное моделирование сложных систем, его основных этапов и составляющих.

**Методами исследования** являются методы семантического анализа основных понятий рассматриваемой предметной области (когнитивное моделирование сложных систем). В статье рассмотрены подходы к толкованию понятий «когнитивный анализ» и «когнитивное моделирование» сложных систем, связанные с организационными, управленческими и информационными аспектами. В статье рассмотрена сущность когнитивного моделирования с позиций обеспечения этой сферы информационной деятельности.

**Новизной проведенного исследования** является применение когнитивного моделирования к системе сложных систем на примере системы образования.

**Выводом** проведенного в статье исследования является то, что компьютерное моделирование способствует: учету изменений внешней среды и самого объекта управления (системы образования); систематизации и верификации представлений эксперта об объекте управления (системе образования) и его внешней среды; планированию будущего с учетом имеющихся перспектив, ресурсов, средств; использованию в своих интересах объективно сложившихся тенденций развития ситуации или сложной системы (системы образования); прогнозированию последствий соответствующих управленческих решений по развитию системы образования; разработке оптимальных стратегий управления системой образования с учетом влияния различных видов тенденций и факторов.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование; когнитивный анализ; когнитивная модель; слабоструктурированная среда; сложная система.

05.05.2019