

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292. Ефективна економіка. 2023. № 6.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.6.18>

УДК:330.43

A. I. Kaplina,

к. е. н., доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій,

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6714-797X>

МЕТОДИЧНИЙ АПАРАТ КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

A. Kaplina,

PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Management and Information Technologies, Kherson State Agrarian and Economic University

METHODOLOGICAL APPARATUS FOR COGNITIVE MODELLING OF A SOCIO-ECONOMIC SYSTEM

Метою дослідження є вдосконалення методичного апарату когнітивного моделювання соціально-економічних систем (СЕС) і прогнозування показників їхнього функціонування та розвитку, що забезпечує підвищення точності та достовірності одержуваних результатів. Існуючі моделі та методика не повною мірою забезпечують необхідну точність і достовірність моделей, що вимагає розвитку математичного апарату когнітивного моделювання в частині підвищення якості когнітивних моделей, що розробляються. Для досягнення поставленої мети використано методи комплексного підходу до розв'язання поставленої задачі,

декомпозиції її на взаємопов'язані етапи, опис змісту кожного етапу в їхньому взаємозв'язку та подання узагальненого варіанта методики з урахуванням особливостей об'єкта дослідження. Розроблений підхід забезпечує побудову більш точної та достовірної когнітивної моделі. Показано ефективність розробленого методичного апарату. Проведено детальний аналіз наявних критеріїв і підходів до розв'язання задачі верифікації когнітивних моделей, що засвідчив відсутність єдиної методики та комплексного підходу у вирішенні завдань когнітивного моделювання СЕС на основі когнітивних карт. Розроблено сукупність методик, що реалізують етапи когнітивного моделювання: методика побудови проблемного поля ситуації; методика синтезу когнітивної карти, її структурно-цільового аналізу та аналізу системних характеристик, а також методика верифікації когнітивної моделі.

The purpose of the study is to improve the methodological apparatus of cognitive modeling of socio-economic systems (SES) and forecasting of indicators of their functioning and development, providing increased accuracy and reliability of the results obtained. Existing models and methods do not fully provide the necessary accuracy and reliability of the models, which requires the development of mathematical apparatus for cognitive modeling in terms of improving the quality of developed cognitive models. In order to achieve this goal, we used methods of an integrated approach to solving this task, decomposing it into interconnected stages, describing the content of each stage in their relationship and presenting a generalized version of the method, taking into account the characteristics of the research object. The developed approach provides the construction of a more accurate and reliable cognitive model. The effectiveness of the developed methodological apparatus is shown. The detailed analysis of existing criteria and approaches to solving the task of cognitive model verification has shown the absence of a unified methodology and comprehensive approach to solving the task of cognitive modeling of SES based on cognitive maps. The set of methods realizing the stages of cognitive modeling has been developed, including the method of constructing a problematic field of a situation, the method of synthesizing a cognitive map, its structural and target analysis and analysis of system characteristics, as well as the method of verification of the cognitive model. A complex solution for the task of constructing a cognitive model of analysis and

forecasting of university activities, including a set of stages, including the construction of the problem field situation; identification of factors and relationships between them, the construction stage of the cognitive map and its verification, as well as the analysis of system characteristics of the cognitive model and the validation of the cognitive model are proposed. The developed methodological apparatus is designed to obtain an adequate model, providing more accurate and reliable results of modeling the research object.

Ключові слова: *нечітке когнітивне моделювання, сценарне прогнозування, когнітивна карта, методичний апарат.*

Keywords: *fuzzy cognitive modelling, scenario prediction, cognitive map, methodological apparatus.*

Постановка проблеми. У статті розглянуто завдання вдосконалення методичного апарату когнітивного моделювання, широко застосовуваного для моделювання погано формалізованих і слабоструктурованих соціально-економічних і соціально-технічних систем, до класу яких належать вищі навчальні заклади. До переваг когнітивних моделей належать можливість виявлення структури каузальних зв'язків між компонентами складних слабоструктурованих систем, що не піддаються кількісному аналізу традиційними методами, широке використання досвіду і знань експертів у конкретній предметній галузі, а також їхня наочність.

У статті запропоновано методичний апарат когнітивного моделювання погано формалізованих і слабоструктурованих систем, що представляє комплексне розв'язання задачі на кожному етапі когнітивного моделювання на основі сукупності розроблених методик: методики побудови проблемного поля ситуації; методики синтезу когнітивної карти, її структурно-цільового аналізу та аналізу системних характеристик, а також методики верифікації когнітивної моделі. На основі проведеного аналізу сформульовано та обґрунтовано вимоги до побудови адекватних нечітких когнітивних моделей, що реалізують розширені можливості з аналізу та моделювання об'єкта дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основний інтерес до проблематики багатофакторних моделей, статистичного моделювання, прогнозування окреслюють у свої роботах видатні вчені Пасхавер Б.Й., Лобода О.М., Кириченко Н.В., Грановська В.Г., Капліна А.І. Виробничі функції розглядалися в роботах Р. Лукаса [2, с.342] та Г.Б. Клейнеда [3, с.51-83]. Значний вклад в розвиток теорії виробничих функцій внесли роботи К. Кобба та П. Дугласа [4, с.139-165], вони представляли алгоритм та етапи побудови таких функцій. На їх судження, побудова виробничих функцій має багато загального з побудовою регресійних моделей.

Постановка завдання. Укрупнено процес когнітивного моделювання включає етапи: побудови та аналізу проблемного поля ситуації, на якому відбувається формальний опис ситуації із залученням експертів, виявлення чинників, що впливають на цільові показники, та визначення їхніх взаємозв'язків, побудови когнітивної карти ситуації та проведення її аналізу, дослідження когнітивної моделі через отримання прогнозу розвитку ситуації або знаходження величини керуючого впливу на виявлені чинники для отримання очікуваного результату.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формалізація процесу когнітивного моделювання може бути представлена таким чином. На основі когнітивної карти KF, що відображає функціонування системи F, будують модель розвитку системи, що враховує її особливості на основі виявлення проблемних ситуацій та обґрунтування керівних впливів для їх вирішення. При цьому задають цільовий образ досліджуваної системи, що визначає бажані зміни стану системи

$$C = (XC \times (XC)), \quad (1)$$

де XC - множина цільових чинників;

R(XC) - вектор оцінок динаміки чинників, які визначають бажані (необхідні) напрями зміни цільових чинників [2].

У загальному випадку когнітивна модель може бути представлена у вигляді кортежу:

$$MS = \langle K_F(X_{\text{зовніш}} \cup X_{\text{внутр}}), \\ A, f_{KF}; C(X^C R(X^C)); \\ \{AS^p (H^p_c, H^p_u)\}, X(0); G(0) \rangle, (2)$$

де: $K_F(X_{\text{зовніш}} \cup X_{\text{внутр}})$ - когнітивна карта ситуації, що містить множину зовнішніх і внутрішніх чинників, які впливають на цільові чинники об'єкта дослідження;

$A = [a_{ij}]$ - матриця $N \times N$, яка визначає взаємовплив чинників x_i і x_j ;

f_{KF} - функція, яка задає правило зміни значень чинників;

$AS^p(H^p_c, H^p_u)$ - множина суб'єктів p , які впливають на ситуацію,

H_c - множина чинників, які належать до сфери інтересів суб'єкта;

H_u - множина чинників, на які суб'єкт може чинити вплив;

$X(0)$ - початковий стан ситуації;

$G(0)$ - вектор додаткових зовнішніх впливів суб'єкта на чинники під час моделювання зміни ситуацій.

Когнітивні моделі дають змогу розв'язувати два класи завдань: динамічного аналізу розвитку ситуації шляхом визначення величини необхідних впливів на зовнішні та внутрішні чинники для досягнення заданого стану цільового чинника і прогнозування ситуації шляхом визначення стану цільового чинника за наявних впливів на зовнішні та внутрішні чинники.

Нині для моделювання СЕС використовують різновиди когнітивних карт[3]. Вибір нечіткої когнітивної карти обґрунтовується такими причинами. Класичні когнітивні карти не завжди забезпечують побудову адекватної та достовірної математичної моделі через високий рівень невизначеності взаємодії компонентів об'єкта дослідження. Вони є лінійними і не повною мірою враховують динамічні властивості реальних систем, які можуть бути суттєво нелінійними та нестационарними.

Існують такі різновиди НКК [4-6]: реляційні НКК, інтервально-знакові НКК, сірі НКК, грубі НКК, інтуїціоністські НКК, продукційні НКК, динамічні НКК. Сила зв'язків між концептами НКК задається за допомогою

нечіткої лінгвістичної шкали, що являє собою впорядковану множину лінгвістичних значень (термів) оцінок сили зв'язку. Використання нечітких когнітивних карт забезпечує зручну інтерпретацію причинно-наслідкових зв'язків між концептами. Усе це в сукупності забезпечує побудову більш адекватної моделі об'єкта дослідження.

Під час розв'язання прямої задачі потрібно враховувати такі суттєві аспекти, пов'язані з нечіткою когнітивною картою:

- під час аналізу нечітких ситуацій інтервали часу також є нечіткими, оскільки час реалізації одного чинника на інший невідомий і оцінюється експертно. Цільовий стан не обчислюється ітеративно, а є узагальненою якісною оцінкою прогнозу розвитку ситуації;

- в алгоритмах використовують нечіткі матричні операції (композиції): \max product (додавання являє собою взяття максимуму, множення - стандартно) або $\max - \min$ (множення являє собою взяття максимуму);

- при обчисленні приростів і станів ситуації обчислюють не тільки чергове значення приросту, а й ступінь упевненості (значення консонансу) його вибору (прогнозу).

Оскільки когнітивні моделі створюються експертами на основі побудови та аналізу проблемного поля ситуації, виявлення чинників, що впливають на розвиток ситуації, формування її структури, визначення сили їхнього впливу один на одного та цільові чинники тощо, вони мають суб'єктивний характер і потребують їхньої верифікації для забезпечення необхідної якості моделювання.

На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги до побудови адекватних нечітких когнітивних моделей, що реалізують розширені можливості з аналізу та моделювання об'єкта дослідження:

- необхідність реалізації нечіткого підходу на всіх етапах побудови когнітивної моделі (формалізації сили зв'язку між концептами, акумулювання сили впливу декількох концептів на один концепт,

формалізації процесу навчання НКК, а також моделювання системної динаміки);

- формалізація концептів має передбачати можливість їх представлення в чіткому і нечіткому вигляді;

- використовуваний механізм нечіткого впливу між концептами має відповідати нечіткому відображенню нечіткої множини значень вхідного концепту на нечітку множину значень вихідного концепту;

- під час побудови когнітивної моделі необхідно враховувати від'ємні ваги впливу між концептами, а також акумулювання впливів різних знаків;

- процедура акумулювання впливів вхідних концептів на вихідні повинна мати адитивний характер і не залежати від порядку врахування окремих чинників, тобто мати властивості комутативності та асоціативності.

Проблема верифікації посідає окреме самостійне місце у розв'язанні задачі когнітивного моделювання, тому що вона безпосередньо впливає на результати роботи когнітивної моделі та забезпечує її точність, адекватність і достовірність. Аналіз джерел, присвячених розглянутій проблематиці, показав, що якість когнітивної моделі забезпечується через розв'язання таких завдань:

1. Аналіз достовірності (правдоподібності) когнітивної карти. Нестрогий критерій правдоподібності структури когнітивної карти подано в роботі [2]. Правдоподібною вважається когнітивна карта, структура якої зрозуміла користувачеві й дає змогу відобразити реальну ситуацію. але наявні процеси. Таке уявлення з погляду психології когнітивної карти має назву гештальт-образу (цілісного уявлення предметної області на основі когнітивної моделі). Формування об'єктивного гештальт-образу когнітивної карти є досить складним завданням і безпосередньо пов'язане з уявленнями експертів, що мають суб'єктивний характер.

2. Аналіз і виявлення систематичних помилок розробників. У роботах [3, 4] розглянуто такі евристичні критерії оцінювання якості когнітивних карт, що призводять до помилок:

- критерії достовірності НКК (з урахуванням наявності чинників ризику 1-го роду, пов'язаних з експертом, та ризиків 2-го роду, пов'язаних із "посередником" у переказуванні знань та їхньою подальшою формалізацією під час описання проблемного поля ситуації:

- критерій наявності нормальної форми для концепту K_i означає, що його можна природно інтерпретувати як концепт і як змінну, що набуває числового та лінгвістичного значень на певних шкалах. При виконанні цього критерію досягається ясність математичної моделі для конкретного чинника у вигляді математичної моделі;

- критерій безконтекстності розуміння конструкцій мапи, зрозумілості зв'язків згідно із семантикою, повноти впливу на концепт і співрозмірності концептів за обсягом понять. Безконтекстність розуміння конструкцій карти (зв'язків між факторами) має на увазі повне й однозначне розуміння експертом семантики цих зв'язків без додаткового контексту в рамках цієї карти.

- критерій пропорційності повноти впливів на фактор. Критерій виконується, якщо не існує, на думку експерта, інших чинників прямого впливу на чинник K_i ;

- критерій співмірності понять чинників і порушення транзитивності каузальних явищ.

3. Аналіз рівня стійкості характеризується близькістю реального стану об'єкта до стану рівноваги [7]. Стосовно до зважених і орієнтованих графових моделей НКК під стійкістю розуміють стійкість за значенням і стійкість за збуренням системи в міру її еволюції. Виокремлюють поняття структурної стійкості, яке, на думку авторів роботи [6], є центральним показником стійкості НКК, під якою розуміють виявлення якісних змін у траєкторії руху системи під час змін її структури, тобто розглядають групу або клас досліджуваних систем, близьких до деякої стандартної системи, поведінку якої добре досліджено.

4. Аналіз застосування методу "як-пояснень" прогнозу розвитку ситуації [7], суть якого полягає в описі послідовності процесу отримання прогнозних значень чинників у вигляді ланцюжка правил, що спрацювали у вершинах (концептах) когнітивної карти, та визначенні приростів усіх чинників, включених до пояснювального ланцюжка, що забезпечує розуміння процесів у когнітивній карті. Для знаходження пояснювальних ланцюжків застосовують алгоритми пошуку шляхів у графі, алгоритми пошуку найкоротшого шляху Дейкстри тощо.

5. Аналіз інтерпретованості НКК. Під інтерпретованістю когнітивної моделі розуміють прозорість її функціонування і здатність відображати поведінку модельованої системи [7]. Зазначений показник необхідний для аналізу НКК з великою кількістю концептів і зв'язків між ними, що істотно ускладнює їхнє сприйняття і розуміння. У роботі [6] показано, що інтерпретованість розглядають у двох аспектах: виборі адекватних і зрозумілих засобів моделювання та виборі адекватних і зрозумілих оцінок експертів.

Проведений аналіз дав змогу розробити й обґрунтувати узагальнену методику забезпечення якості когнітивної моделі та оцінювання її показників на всіх етапах її побудови. За результатами аналізу розроблено загальну концептуальну схему методики, що містить сукупність приватних методик, які реалізуються на різних етапах моделювання.

Висновки з проведеного дослідження. Розроблено методичний підхід до вирішення задачі оцінювання та управління якістю моделей соціально-економічної системи. Проведено детальний аналіз наявних критеріїв і підходів до розв'язання задачі верифікації когнітивних моделей, що засвідчив відсутність єдиної методики та комплексного підходу у розв'язанні задач когнітивного моделювання СЕС на основі когнітивних карт.

Новизна пропонованого підходу полягає в розробці методичного підходу до оцінювання та управління якістю моделей, що вирізняється комплексним розв'язанням поставленого завдання на кожному етапі

когнітивного моделювання за допомогою сукупності методик: методики побудови проблемного поля ситуації; методики синтезу когнітивної карти, її структурно-цільового аналізу та аналізу системних характеристик, а також методики верифікації когнітивної моделі. На основі проведеного аналізу сформульовано та обґрунтовано вимоги до побудови адекватних нечітких когнітивних моделей, що реалізують розширені можливості з аналізу та моделювання об'єкта дослідження.

Відмінними особливостями застосування розробленого методичного апарату є те, що він дає змогу:

- на основі застосування методів кореляційно-регресійного та факторного аналізу виявити релевантні чинники та їх структурувати, а також знизити розмірність когнітивної моделі;

- на основі структурно-цільового аналізу та виявлення систематичних помилок розробників когнітивної карти, а також аналізу системних характеристик когнітивної карти синтезувати ватяну когнітивну модель, яка відобразатиме динамічні характеристики реального об'єкта дослідження;

- на основі критеріального підходу, який містить відкриту систему приватних критеріїв і сукупності впорядкованих процедур, що забезпечують підвищення якості моделювання та отримання об'єктивних результатів.

Література

1. Вітлінський В.В. Моделювання економіки. Київ, 2003. 408 с.
2. Lucas R. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*. 1988. № 22. P. 3–42.
3. Cobb C.W., Douglas P.H. Theory of Production. *American Economic Review, Supplement*, 1928. P. 139-165.
4. Марасанов В.В., Пляшкевич О.М. Основи теорії проектування і оптимізації макроекономічних систем. Херсон: Айлант, 2002. 190с.

5. Лобода О.М., Кириченко Н.В. Актуальні проблеми ідентифікації та моделювання структури управління підприємством. Наука й економіка, 2015. №3. С.130-134.

6. Лобода О.М., Кухаренко С.В. Вирішення задачі синтезу організаційної структури. Таврійський науковий вісник ХДАУ. Херсон, 2010. Вип.71. С.272-277.

7. Капліна А. та Кириченко Н. Крос-культурні аспекти управління персоналом. Ефективна економіка.2020. Вип.10.

References

1. Vitlins'kyj, V.V. (2003), Modeliuvannia ekonomiky [Modeling of economy], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.

2. Lucas, R. (2011), "On the mechanics of economic development", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, pp. 3–42.

3. Cobb, C. and Douglas, P. (1928), "Theory of Production", *American Economic Review, Supplement*, Vol.1, pp. 139-165.

4. Marasanov, V.V. and Pliashkevych, O.M. (2002), Osnovy teorii proektuvannia i optymizatsii makroekonomichnykh system [Foundations the theory design and optimization of macroeconomic systems], Kherson, Ukraine.

5. Loboda, O.M. and Kyrychenko, N.V. (2015), "Current problems of identification and modeling of enterprise management structure", *Nauka y ekonomika*, Vol. 3, pp.130-134.

6. Loboda, O.M. and Kukharenko, S.V. (2010), "Solving the problem of synthesizing the organizational structure", *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. Vol. 71, pp. 272-277.

7. Kaplina A. and Kyrychenko N.(2020), "Cross-cultural aspects of human resources management", *Efektivna ekonomika*. Vol. 10

Стаття надійшла до редакції 26.05.2023 р.