

УДК 519.816: 004.9+519.6

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.5.79876

О.М. Терентьев<sup>1</sup>, Т.І. Просянкін-Жарова<sup>2</sup>, В.В. Савастьянов<sup>1</sup><sup>1</sup>НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна<sup>2</sup>Приватний вищий навчальний заклад “Європейський університет”, Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ КОГНІТИВНОГО ТА ЙМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ФОРМУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

**Background.** The complexity of the problem of choosing the direction of development of the national economy and its subsystems in conditions of uncertainty involves the use of decision support systems, which will implement the methods of analysis and forecasting of development of social-economy systems, based on an integrated approach, that takes on board a significant number of factors, both promoting and hampering the development of social-economy systems of the regions of Ukraine. The method of developing scenarios of social-economy systems with the use of cognitive and probabilistic modeling is proposed.

**Objective.** The aim of this work is to improve the method for scenarios planning the development of social-economy systems in the terms of structural changes.

**Methods.** The methods of scenarios planning, cognitive, probability modelling, SWOT-analysis, text-mining was used. A method for developing scenarios for the region's socio-economic system development in conditions of uncertainty is proposed. Its feasibility in decision support systems is substantiated.

**Results.** Based on the analysis of works of domestic and foreign scientists the improvement of the existing method of development of socio-economic development of regions of Ukraine is proposed. The proposed method involves the combined use of methods of scenario analysis of cognitive and probabilistic modeling. The analysis of the obtained forecasting results is carried out.

**Conclusions.** The advantages of applying the composition of methods of cognitive and probabilistic modeling were substantiated during elaboration scenarios of development socio-economic systems. Their use is quite perspective and will improve the system of strategic and short-term planning and forecasting, both at the state and local levels. According to the calculations a quality reliable forecast is obtained.

**Keywords:** scenarios; cognitive model; development of social-economy system; planning; forecasting; decision support systems.

### Вступ

Розв'язок задачі визначення перспектив розвитку соціально-економічних процесів в умовах різних, стрибкоподібних змін економічної динаміки, наявності ризиків та невизначеностей, неповної та нечіткої інформації, як показали проведені дослідження [1], потребує застосування найновітніших розробок у галузі економіко-математичного моделювання, дослідження часових рядів, штучного інтелекту, інтелектуального аналізу даних, систем підтримки прийняття рішень, експертних систем. Звичайно, результати прогнозування окремих соціально-економічних процесів прийнятної якості можна одержати і за допомогою відносно простих моделей множинної регресії, авторегресії тощо. Однак кращі результати прогнозів розвитку соціально-економічних процесів на середньо- та довгострокову перспективу в умовах динамічних структурних перетворень можна одержати з використанням методів, що ґрунтуються на різних ідеях, а саме композицій методів морфологічного, когнітивного та сценарного аналізу, ймовірнісного моделювання, дослідження часових рядів, нейронних мереж тощо.

Поки що в Україні сценарний аналіз та планування не стали альтернативою традиційній методиці побудови планів та прогнозів [2]. Хоча у багатьох країнах саме сценарне моделювання розглядається як один із основних інструментів стратегічного прогнозування [3], що може ефективно використовуватися як у задачах технологічного передбачення, так і в задачах економічного прогнозування і планування. Значний внесок у розвиток теорії сценарного аналізу зробили такі провідні вітчизняні вчені, як М.З. Згуровський [4], Н.Д. Панкратова [5], О.П. Гожий [6], та закордонні – Г.В. Горелова, Ф.С. Робертс, В.В. Борисов та ін. [7–12].

Сьогодні існує достатньо опрацьована комплексна методологія сценарного аналізу та планування, яка реалізує різноманітні підходи до побудови сценаріїв. Зокрема, в слабкоструктурованих задачах, що характеризуються переважанням неповної або нечіткої інформації, наприклад у задачах дослідження розвитку національної економіки, забезпечення реалізації концепції сталого розвитку, покращення соціального клімату в регіонах тощо, тобто коли необ-

хідно обґрунтувати можливі варіанти розвитку подій, погоджуючись з пропозицією М.З. Згуровського та В.А. Панкратова [13, с. 7], доцільно застосовувати когнітивне моделювання. Перевагами такого типу сценаріїв є наочність відображення комбінацій факторів, що впливають на об'єкт дослідження, та зв'язків між ними, можливість побудувати альтернативні сценарії, поступово визначаючи шляхи розв'язання поставленої задачі, особливо коли як вхідна інформація використовується значна кількість взаємопов'язаних чинників.

За таких умов виникає необхідність визначення початкового стану процесу та варіантів розвитку подій, а також достовірності моделювання досліджуваного процесу, що спонукає до застосування ймовірнісного моделювання, зокрема мереж Байєса. Перевагами такого підходу, незважаючи на його загальну складність, є не лише наочність та можливість побудувати причинно-наслідкові зв'язки між явищами, визначаючи ймовірність настання тої чи іншої події залежно від стану змінних, а й можливість виявити, який сценарій є найбільш ймовірним, на основі наявної на момент дослідження інформації.

### Постановка задачі

Метою роботи є дослідження застосування композиції когнітивного та ймовірнісного моделювання в задачах побудови сценаріїв розвитку соціально-економічних систем в умовах структурно-динамічних змін.

### Методи когнітивного та ймовірнісного моделювання

При розгляді соціально-економічних систем розроблена та активно використовується ціла низка різноманітних підходів, методів та інструментів, призначених для дослідження як їх розвитку в цілому, так і окремих їх підсистем та елементів. Однак слід відзначити, що більшість із цих підходів орієнтовані на застосування традиційних економетричних і математичних моделей та статичних моделей систем, використання переважно кількісних оцінок і залежностей між їх елементами. Однак сьогодні, коли всі сфери суспільно-політичного життя та національна економіка активно реформуються, система макроекономічного планування та прогнозування потребує якісних змін, зокрема активнішого впровадження методів і засобів сучасних інформаційних технологій, інструментів системного аналізу і те-

орії прийняття рішень. Адже розробляючи прогнози соціально-економічного розвитку регіонів та держави, дослідник стикається з необхідністю розв'язання широкого спектра взаємопов'язаних задач системного аналізу: від дослідження структури складної системи та зовнішнього, відносно неї, середовища до прийняття рішення щодо перспектив її подальшого розвитку. Як правило, більшість таких задач є слабкоструктурованими, такими, що характеризуються наявністю невизначеностей взаємодії між елементами системи. Все це значно знижує ймовірність побудови достовірної математичної моделі та ускладнює процес прийняття рішень. Застосовуючи сучасні інформаційні технології, в т.ч. апарат видобування знань із великих обсягів структурованих та неструктурованих даних, засоби автоматизації побудови моделей складних систем і процесів, дослідник має змогу використовувати не лише кількісні показники, а й якісну інформацію, уточнювати модель у ході дослідження, аналізуючи поведінку складної системи, тим самим підвищуючи обґрунтованість прийняття рішень.

У зв'язку з цим для розв'язання задач макроекономічного прогнозування доцільно застосовувати такий потужний інструмент системного аналізу, як сценарне планування, а в процесі розробки сценаріїв – когнітивне та ймовірнісне моделювання.

Погоджуючись з поглядами науковців [1, 2] щодо визначення поняття розвитку національної економіки, слід відзначити, що цей розвиток є нелінійним динамічним процесом переходу такої системи з нестійкого стану в стійкий під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів, які, зокрема, активізуючи механізми самоорганізації, зумовлюють синергетичний ефект, що викликає позитивні зрушення та сприяє досягненню бажаного ефекту в економіці, соціальній сфері, екології. Цей процес можна описати за допомогою формули

$$\frac{dX}{dt} = F(S(t), R(t), I(t+k), C(t), D(t), I(t), Z(t)),$$

де  $I(t)$  – стан інвестиційної діяльності;  $R(t)$  – ресурсний потенціал економіки;  $D(t)$  – інформаційний потік;  $C(t)$  – керуючий вплив, що забезпечують інвестиції;  $I(t+k)$  – інвестиційне забезпечення економіки на прогнозний період;  $S(t)$  – стан економіки;  $Z(t)$  – зовнішні фактори;  $X(t)$  – очікуваний результат;  $(t)$  – час.

Тому прогнозування розвитку соціально-економічної системи запропоновано виконувати за схемою, поданою в табл. 1.

**Таблиця 1.** Огляд варіантів застосування методичних підходів на етапах розробки сценаріїв розвитку соціально-економічної системи

Етап	Можливі варіанти застосування методичних підходів
Збір інформації, формування моделі діагностики	Емпіричні методи дослідження, методи статистичних спостережень, аналізу та синтезу, системного аналізу
Огляд стану та динаміки об'єкта дослідження, виявлення характерних ознак	Статистичний аналіз, data-mining, text-mining, факторний аналіз, багатовимірний аналіз даних, метод головних компонент, кореляційно-регресійний аналіз, типологічні та структурні групування, RFM-аналіз, кластерний аналіз, когнітивний аналіз
Причинно-наслідковий аналіз	Кореляційно-регресійний аналіз, ймовірнісне моделювання (мережі Байєса)
Розробка сценаріїв розвитку подій	Метод експертних оцінок, морфологічний аналіз, сценарне моделювання
Обґрунтування варіантів управлінських рішень	Data-mining, нейронні мережі, економетричне моделювання, SWOT-аналіз, когнітивне моделювання
Аналіз результатів	Метод експертних оцінок, метод Делфі, графічний метод

Як видно з табл. 1, варіантів композицій застосування методичних підходів до аналізу та прогнозування розвитку складної соціально-економічної системи, зокрема національної економіки, є досить багато. На особливу увагу заслуговують етапи сценарного аналізу, під час виконання яких були використані методичні підходи, що передбачають застосування когнітивного та ймовірнісного моделювання.

Когнітивне моделювання під час розробки сценаріїв розвитку національної економіки застосовується для систематизації знань експертів, виявлення потенційних загроз і можливостей розвитку системи, цілей і можливих протиріч визначення цілей, критеріїв, об'єкта та предмета дослідження, для дослідження характеристик складної системи та факторів впливу зовнішнього середовища.

На етапі побудови когнітивної моделі як інструменти інформаційного забезпечення особи, що приймає рішення, можуть бути застосовані інструменти не лише вводу та обробки структурованої інформації, зокрема статистичних даних, а й неструктурованої інформації, в т.ч. розміщеної і на інтернет-ресурсах. Особливістю когнітивного моделювання є те, що особа, яка приймає рішення, розглядається як невід'ємна частина досліджуваної системи. З урахуванням того, що соціально-економічна система розвивається в умовах невизначеностей, модель, запропоновану Г.В. Гореловою [14], доповнено моделлю системних ризиків:

$$M = \{M_0(Y, I, P), M_E(X), M_{OE}, M_D(Q), M_{MO}, M_{ME}, M_U, A, M_H, M_{RS}\},$$

де  $M_0(Y, I, P)$  – ідентифікуюча модель системи;  $Y$  – ендогенні змінні;  $I$  – вектор керованих змінних;  $P$  – вектор ресурсів;  $M_E(X)$  – модель навколишнього середовища;  $X$  – екзогенні змінні;  $M_{OE}$  – модель взаємодії об'єкта та навколишнього середовища;  $M_D(Q)$  – модель поведінки системи;  $Q$  – збурювальні впливи;  $M_{MO}$  – модель зміни стану системи;  $M_{ME}$  – модель зміни стану навколишнього середовища;  $M_U$  – модель керуючої системи;  $A$  – правило вибору процесів зміни об'єкта;  $M_H$  – модель впливу дослідника на систему та результати дослідження;  $M_{RS}$  – модель системних ризиків.

Тому для розробки сценаріїв розвитку соціально-економічних систем доцільно використовувати методику, яка передбачає поєднання різних засобів моделювання.

Використання когнітивного моделювання (як побудова карт, так і побудова матриць) та ймовірнісного моделювання у процесі формування сценаріїв розвитку соціально-економічних систем передбачає виконання таких кроків.

Крок 1. Визначення цільових установок побудови сценаріїв.

Крок 2. Визначення основних факторів, що впливають на розвиток системи.

Крок 3. Відбір із набору факторів найбільш значимих.

Крок 4. Визначення сильних і слабких характеристик системи на основі відібраних найбільш важливих змінних.

Крок 5. Формування множини вхідних концептів для побудови когнітивної карти.

Крок 6. Побудова когнітивної карти на основі відібраних на кроці 5 концептів.

Крок 7. Аналіз когнітивної карти.

Крок 8. Оцінювання системного ризику.

Крок 9. Формулювання можливих сценаріїв розвитку подій.

Крок 10. Оцінювання якості побудованих сценаріїв, обґрунтування вибору найкращого та найімовірнішого із них.

Цю методику було застосовано до побудови сценаріїв розвитку соціально-економічної системи – агропромислового комплексу регіону. Для дослідження використано такі фактори, як природно-кліматичні та екологічні умови, ресурсний потенціал, соціально-економічний розвиток, ринкова інфраструктура тощо. Всього було опрацьовано набори вхідних даних, що складаються із 56 показників соціально-економічного розвитку України та Черкаської області за 2010–2013 рр., а окремі показники і за 2003–2013 рр.

Для обґрунтування цільових установок побудови сценаріїв було не лише використано статистичні дані та висновки експертів, а й виконано аналіз інтернет-джерел засобами SAS Textual Analytics. Для аналізу корпусу текстів було застосовано SAS Textual Analytics Suit, що складається з SAS Content Categorization та SAS Sentimental Analysis Studio, за допомогою яких була розроблена таксономія із 604 правил, опрацьовано більше 180 інтернет-джерел, включаючи офіційні джерела органів державного управління, місцевого самоврядування, приватні сайти, сайти політичних партій, блоги. В результаті дослідження виявлено, що чинники, які впливають на розвиток соціально-економічної системи регіону, необхідно розглядати не лише з точки зору загальної характеристики окремого фактора, а й в контексті конкретної системи та її цільового спрямування. Наприклад, показник рівня безробіття (як вважає значна частина населення – 59 % згідно з дослідженням інтернет-ресурсів, – є негативним чинником розвитку регіону) насправді, як показали розрахунки, не є негативним фактором, оскільки загальна кон'юнктура ринку праці вносить свої корективи. Шкідливим фактором є вікова структура безробіття, зниження економічної активності населення та частка прихованого безробіття, які призводять до зниження ємності споживчого ринку. Розвиток інвестиційної діяльності в агропромислому виробництві є фактором впливу на активізацію розвитку економіки та підвищен-

ня соціально-економічного рівня населення. З другого боку, зростання економіки та покращення життя населення сприяють притоку інвестиційних ресурсів, адже основним інвестором у сільській місцевості є жителі регіону. Це, як показало дослідження, є особливістю соціально-економічної системи регіону, в економіці якого переважає агропромислове виробництво. При виборі цільової установки було враховано двоспрямованість факторів впливу на розвиток соціально-економічної системи регіону та визначено, що цільовою установкою є розвиток агропромислового виробництва в регіоні.

Найбільш значимі фактори, що впливають на розвиток агропромислового виробництва регіону, згруповані в табл. 2.

Сильні та слабкі характеристики системи узагальнені за допомогою SWOT-аналізу (табл. 3).

Подальший відбір факторів у розглядуваній задачі виконано за допомогою дворівневого багатокритеріального аналізу, оскільки має місце значна кількість різноспрямованих факторів, що впливають на розвиток системи.

Альтернативами першого рівня  $A$  є виробництво продукції в окремих районах області. Множина альтернатив першого рівня оцінюється на множині критеріїв  $C = C_1 \cup D$ . Альтернативами другого рівня  $B = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik}\}$  є види продукції, що будуть реалізовані, обсяги реалізації та обсяги виробництва продукції підприємств агропромислового комплексу. Підмножина критеріїв  $C_I = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$  використовується для оцінки альтернатив виключно першого рівня, а множина критеріїв  $D$  – як для першого, так і для другого рівня. Кожному елементу множини  $A$  ("району") ставиться у відповідність множина альтернатив другого рівня (обсяги реалізації кожного виду сільськогосподарської продукції за окремим напрямом). Необхідно ранжувати альтернативи множини  $A$ , враховуючи багатокритеріальні оцінки альтернатив множини  $B$ . Складністю цієї задачі є те, що на першому рівні для вибору альтернатив використовуються переважно якісні ознаки, а на другому – кількісні. Тому наступним кроком є побудова когнітивної карти. В цій задачі побудовано нечітку когнітивну карту з використанням програмного забезпечення Mental Modeler. Перевагою нечітких когнітивних карт є їх наочність і зручність відображення причинно-наслідкових зв'язків між концептами. Цільовим параметром когнітивної карти визначено зростання виробництва продукції АПК. Карта зображена на рис. 1.

Таблиця 2. Групування факторів, що впливають на розвиток агропромислового виробництва регіону

Групи факторів	Характер впливу	Ступінь впливу
<b>Політичні</b>		
Часта зміна законодавчої бази, що регулює економічну діяльність в агропромисловому виробництві	Негативний	Високий
Наявність бюрократичних бар'єрів, відсутність координації дій органів влади різних рівнів та місцевого самоврядування	Негативний	Помірний
Державна підтримка	Позитивний	Помірний
<b>Економічні</b>		
Зростання відкритості національної економіки та конкуренції на світових ринках продовольства і сільськогосподарської сировини	Негативний	Помірний
Нестабільність фінансово-кредитної системи, обмеженість обігових коштів для ведення бізнесу	Негативний	Високий
Підтримка пріоритетних проектів у АПК, надання податкових та інших пільг інвесторам, розвиток державно-приватного партнерства	Позитивний	Помірний
Значна інвестиційна привабливість окремих галузей (підприємств) агропромислового виробництва	Позитивний	Високий
Євроінтеграція та лібералізація торгівлі	Позитивний	Помірний
<b>Соціальні</b>		
Наявність дешевих і кваліфікованих трудових ресурсів	Позитивний	Помірний
Зниження доходів населення	Негативний	Помірний
Розвинені аграрна освіта та наука	Позитивний	Високий
<b>Технологічні</b>		
Значний виробничий потенціал агропромислового комплексу	Позитивний	Високий
Впровадження інноваційних технологій у харчовій промисловості та сільському господарстві	Позитивний	Високий
Скорочення виробництва вітчизняної сільськогосподарської техніки та обладнання для агропромислового виробництва	Негативний	Високий

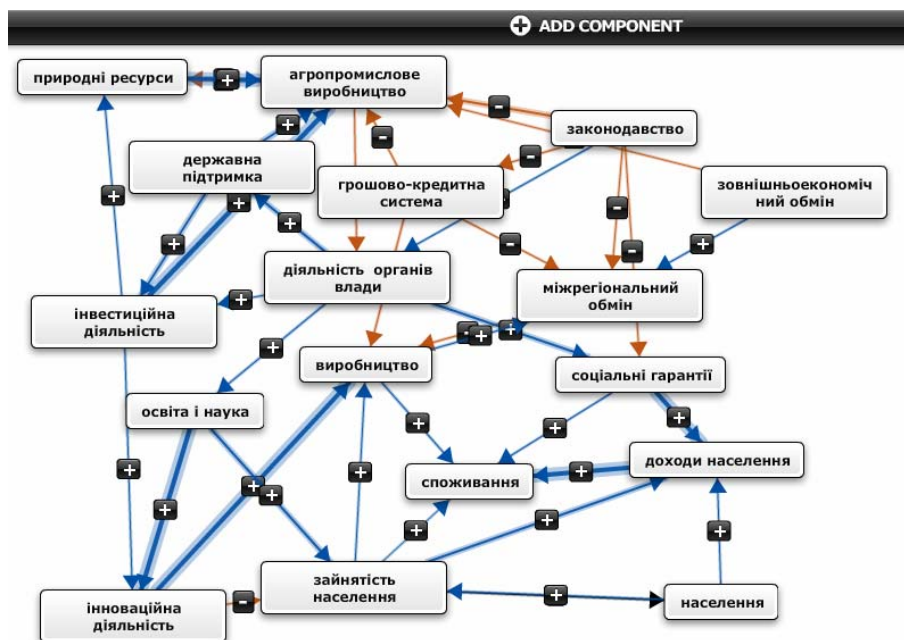


Рис. 1. Когнітивна карта розвитку агропромислового виробництва в регіоні

Таблиця 3. Результати SWOT-аналізу розвитку соціально-економічної системи регіону

Позитивні фактори	Негативні фактори
Природно-кліматичні умови, природні ресурси й екологічна ситуація	
Сприятлива екологічна ситуація Наявність мінерально-сировинних ресурсів Сприятливі метеорологічні умови Наявність водосховищ для риборозведення Більша частина земель області – чорноземи	Викиди малоочищених стічних вод у навколишнє середовище Прискорення процесів водної ерозії Зниження залісненості територій Значний рівень розораності Недостатнє використання наявних природних ресурсів і кліматичних умов
Демографічна характеристика та стан ринку праці	
Стала структура трудового потенціалу, значна кількість населення працездатного віку Значна частка кваліфікованих трудових ресурсів Зростання чисельності самозайнятого населення Скорочення прихованого безробіття Підвищення попиту на робітничі професії Скорочення ручної праці в сільському господарстві	Скорочення чисельності населення, зокрема народжуваності Старіння населення Значне навантаження на одне вільне робоче місце Низький рівень зайнятості Низький рівень оплати праці Рівень кваліфікації працівника практично впливає на можливість працевлаштування
Економічний розвиток і галузева структура	
Стала динаміка розвитку економіки та галузева структура Створення кооперативів та інших інтегрованих формувань Стале зростання експортного потенціалу Лідуючі позиції сільського господарства Потужна хімічна промисловість Зростання інвестиційної привабливості Розвиток насінництва та племінного тваринництва Розвиток переробної та харчової промисловості	Згорання виробництва без урахування регіональних потреб Зміни у галузевій структурі некеровані та стримують розвиток економіки області Повільно відновлюються міжгалузеві зв'язки в агропромисловому виробництві Некерована інвестиційна діяльність призводить до хаотичних змін у галузевій структурі АПК Переважає сировинна складова в експорті продукції АПК
Ринкова інфраструктура	
В області функціонує товарна біржа	Низькі обсяги угод
Рівень життя населення	
Зростання середньої заробітної плати Споживання продуктів харчування відповідно до раціональних норм споживання Зростання сукупних доходів і заощаджень домогосподарств Зростання середнього розміру пенсії	Випередження зростання рівня заробітної плати зростанням споживчих цін Низька купівельна спроможність населення Наявність значної диференціації між містами та між районами області Зростання частки витрат на продукти харчування у домогосподарствах населення

Для аналізу нечіткої когнітивної карти використано показники: консонансу ( $c_i$ ) [6]:

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|},$$

де  $v_{ij}, \bar{v}_{ij}$  – пара зв'язків у транзитивно замкненій когнітивній матриці; дисонансу ( $d_i$ ) [6]:

$$d = 1 - c,$$

впливу системи на концепт ( $\bar{P}_i$ ) [6]:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij},$$

а також концепту на систему ( $\bar{P}_j$ ) [6]:

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}.$$

Показники консонансу впливу для більшості концептів є достатньо високими і знаходяться в межах від 0,64 до 0,91. Максимальний показник дисонансу достатньо низький – його

значення становить 0,3. Тобто між відібраними концептами та системою існує суттєвий взаємовплив, і вони можуть бути використані при побудові сценаріїв розвитку системи.

Для оцінювання системного ризику використано ймовірнісне моделювання за допомогою мережі Байєса. На основі побудованої топології мережі Байєса визначаються найбільш значимі змінні, що впливають на цільову. Після цього будується рівняння множинної регресії з примусовим включенням до моделі виявлених змінних. Оцінка параметрів моделі виконується на основі рекурсивного методу найменших квадратів.

На основі одержаних результатів аналізу сформовано можливі сценарії соціально-економічного розвитку регіону (табл. 4).

Оцінювання якості побудованих сценаріїв, обґрунтування вибору найкращого та найімовірнішого з них виконано з використанням ймовірнісного моделювання.

У результаті дослідження ймовірності розроблених сценаріїв з використанням мережі Байєса визначено, що найбільш ймовірним є S3, результуючим показником для побудови мережі є валовий внутрішній продукт у фактичних цінах (млн грн) та набір із 26 соціально-економічних показників України:  $x_{01}$  – валове заощадження, млн грн;  $x_{02}$  – витрати населення, млн грн;  $x_{03}$  – доходи населення, млн грн;  $x_{04}$  – рівень безробіття (за методологією МОП), %;  $x_{05}$  – заробітна плата, млн грн;  $x_{06}$  – індекс споживчих цін;  $x_{07}$  – видатки бюджету, млн грн;  $x_{08}$  – податкові надходження;  $x_{09}$  – обсяг депозитів у економіці;  $x_{10}$  – облікова ставка НБУ;  $x_{11}$  – середньозважена ставка за всіма інструментами;  $x_{12}$  – експорт, млн дол;  $x_{13}$  – імпорт, млн дол;  $x_{14}$  – офіційний курс гривні до долара (середній за період), грн;  $x_{15}$  – офіційний курс гривні до євро (середній за період), грн;  $x_{16}$  –

Таблиця 4. Розроблені сценарії розвитку агропромислового виробництва

Сценарій	Зміст сценарію
S1: Ефективне використання ресурсів	Сценарій передбачає значне надходження інвестиційних ресурсів у агропромислове виробництво з усіх джерел, у т.ч. прямих іноземних інвестицій. У той же час наповнюваність місцевих бюджетів та розширені повноваження органів державного управління регіону будуть сприяти ефективному розвитку системи інвестиційної діяльності. Обсяги інвестицій, спрямовувані в агропромислове виробництво, достатні для відтворення; управління економікою дієве; повноваження розподілені пропорційно; регіональний рівень державного управління має повноваження, що забезпечують автономність прийняття інвестиційних рішень. Сценарій можна вважати стійким, адже власні кошти підприємств тривалий час становлять основу їх інвестиційного забезпечення
S2: Залежність від центру	За такого сценарію передбачається, що агропромислове виробництво буде забезпечене необхідними обсягами інвестиційних ресурсів, підвищиться наповнюваність місцевих бюджетів за рахунок ефективної роботи підприємств, сприятливого інвестиційного клімату, що буде приваблювати іноземних інвесторів. Але є ризик надмірної централізації управління, оскільки наповнюваність місцевих бюджетів є обмеженою за рахунок витрат на соціальний захист (низька заробітна плата в сільському господарстві та демографічне навантаження не дадуть змоги значно збільшити надходження до місцевих бюджетів податку на доходи фізичних осіб), керування економікою централізоване, що може продовжити сучасні тенденції
S3: Диверсифікація ресурсів	Сценарій передбачає що інвестиційне забезпечення залишиться практично на існуючому рівні, але в країні буде впроваджено заплановані реформи регіонального управління, підвищено автономію місцевого самоврядування. Виконання цього сценарію передбачає, що в умовах нестачі інвестиційних ресурсів для розвитку агропромислового виробництва суб'єкти господарювання за підтримки центральних органів виконавчої влади та органи виконавчої влади в регіонах за підтримки місцевого самоврядування розпочнуть активну діяльність щодо пошуку додаткових джерел інвестиційних ресурсів і оптимізації використання внутрішніх інвестиційних ресурсів на рівні регіонів, активніше сприятимуть залученню зовнішніх, зокрема іноземних, інвестицій
S4: Централізація ресурсів	Сценарій передбачає суто централізоване управління, коли питання спрямування інвестиційних ресурсів у галузі національної економіки буде вирішуватися на загальнодержавному рівні, і пошук альтернативних варіантів їх залучення значно ускладниться в зв'язку з обмеженістю бюджетного фінансування та зниженням загальної інвестиційної привабливості, оскільки залежність від прийнятих на вищому рівні управління рішень буде дуже високою, держава не дбатиме про підтримку ініціативи регіонального рівня щодо оптимізації використання інвестиційних ресурсів адаптовано до умов регіонів

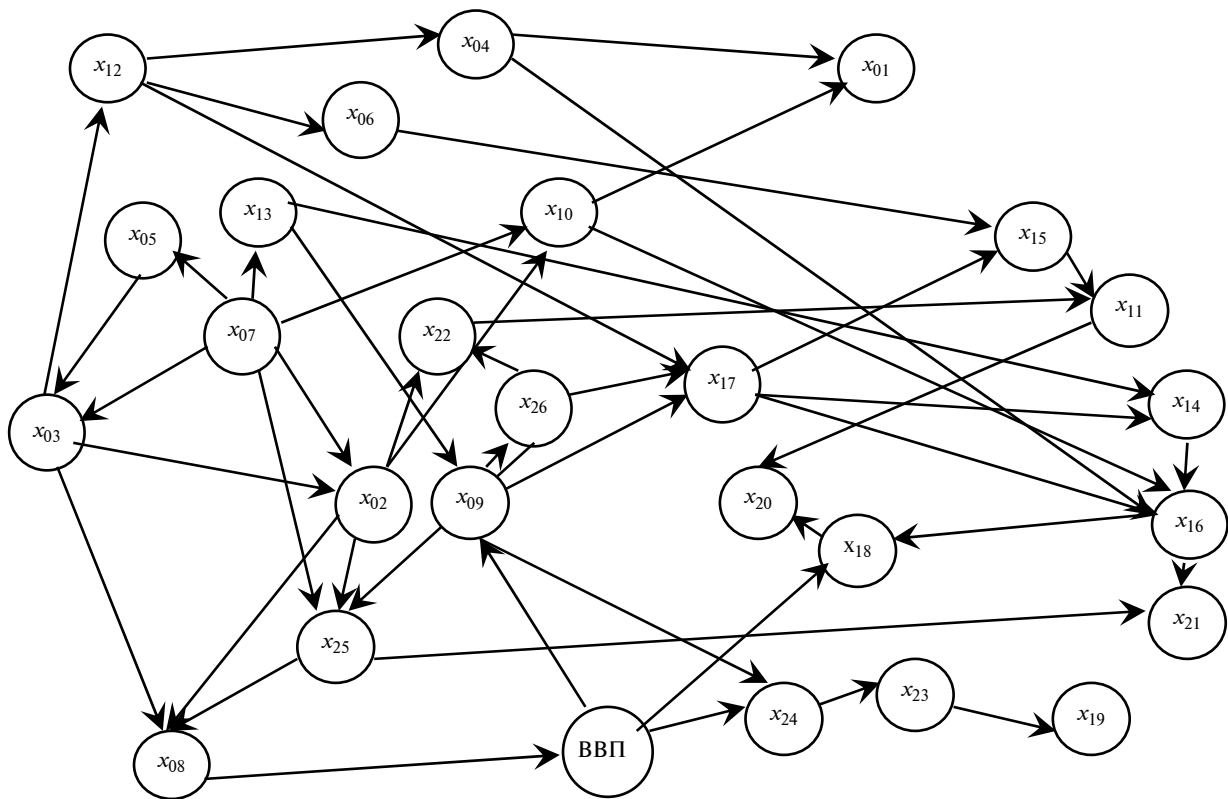


Рис. 2. Топологія мережі Байєса для сценарію S3

відсоткова ставка за депозитами, %;  $x_{17}$  – обсяг наданих банками кредитів, млн грн;  $x_{18}$  – введено в дію нових основних засобів, млн грн;  $x_{19}$  – знос основних засобів, %;  $x_{20}$  – вибуло основних засобів, млн грн;  $x_{21}$  – амортизація, млн грн;  $x_{22}$  – вартість основних засобів, млн грн;  $x_{23}$  – капітальні інвестиції, всього, млн грн;  $x_{24}$  – капітальні інвестиції в харчову промисловість, млн грн;  $x_{25}$  – інвестиції в основний капітал сільського господарства, млн грн;  $x_{26}$  – валова додана вартість сільського господарства у фактичних цінах, млн грн;  $Y$  – валовий регіональний продукт у фактичних цінах, млн грн. Топологія побудованої мережі Байєса зображена на рис. 2

Для побудови топології мережі Байєса, розробленої для сценарію S3, використано програмне забезпечення GeNIe 2.0 з такими налаштуваннями:

- метод побудови K2;
- максимальна кількість предків – 5;
- критерій оптимізації – мінімальна ентропія.

Оцінка параметрів моделі виконана на основі рекурсивного методу найменших квадратів.

Як можна побачити з отриманих результатів моделювання, наведених у табл. 5, більш складний підхід із використанням спеціалізованого програмного забезпечення GeNIe 2.0, на основі методу K2, порівняно з найпростішим випадком використання мереж Байєса у вигляді наївної мережі, дає більш якісні прогностичні характеристики. Як тестова вибірка для навчання і тестування використовувалися статистичні дані за період 2003–2013 рр., що описують економічні та соціальні процеси в сільському господарстві.

Таблиця 5. Значення статистичних характеристик тестової вибірки наївної мережі Байєса та за допомогою методу K2 у системі GeNIe 2.0

Назва моделі	Відсоток неправильно класифікованих спостережень	ROC-індекс	Коефіцієнт GINI
Наївна мережа	21,3	0,72	0,44
K2 GeNIe 2.0	12,5	0,81	0,62



На основі побудованої топології виявлено, що за реалізації сценарію S3 найбільшого приросту валового регіонального продукту (2%) можна досягти за умови зростання таких чинників, як податкові надходження (більш ніж на 30%), обсяги депозитів у економіці (більш ніж на 20%), обсяги капітальних інвестицій у сільське господарство (більш ніж на 36%), обсяги валової доданої вартості продукції сільського господарства (більш ніж на 25%), обсяги капітальних інвестицій в харчову промисловість (більш ніж на 20%). Ймовірність реалізації такого сценарію досить низька – 26%. Якщо ж зростуть податкові надходження (більш ніж на 14%), обсяги депозитів у економіці (не менш ніж на 17%) та інвестицій в основний капітал (більш ніж на 36%), валова додана вартість продукції сільського господарства (більш ніж на 15%), обсяги капітальних інвестицій у харчову промисловість (більш ніж на 10%), то валовий внутрішній продукт зросте на 2,8%. Ймовірність реалізації такого розвитку подій – 51%.

### Висновки

Розглянуто задачу вдосконалення розробки планів і програм соціально-економічного розвитку регіонів України. Для розв'язання задачі вибрано композицію методів когнітивного та ймовірнісного моделювання, що використовуються на різних етапах сценарного моделювання розвитку соціально-економічної системи.

Застосування когнітивного та ймовірнісного моделювання в задачах формування сценаріїв розвитку соціально-економічних систем дає змогу дослідити розвиток соціально-економічної системи в період структурних соціально-економічних перетворень. Моделювання розвитку регіону за допомогою запропонованої композиції методів дало змогу виявити тенденції розвитку та

шляхи покращення соціально-економічної ситуації за умов як позитивного, так і негативного розвитку подій. Дослідження виконані на матеріалах регіону (Черкаської області) – одного з лідерів агропромислового виробництва України в рамках програми проекту НАТО “Безпека заради миру” NUKR.SFPP G4877 “Моделювання та попередження соціальних лих, спричинених катастрофами та тероризмом”, що виконується на базі Науково-навчального комплексу Інститут прикладного системного аналізу НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”.

Ця методика призначена для використання в системах підтримки прийняття рішень органами місцевого самоврядування.

Для визначення ефективності цієї методики зроблено прогноз валового регіонального продукту Черкаської області за розробленим сценарієм на 2015–2020 рр. Відхилення прогнозованого значення та відповідного статистичного показника у 2015 р. становило менше 10%.

Отже, запропонована методика є ефективним інструментом планування та прогнозування соціально-економічного розвитку регіону. Її використання є досить перспективним і дає можливість покращити систему стратегічного та короткострокового планування і прогнозування як на державному, так і на місцевому рівні.

Проте використання цієї методики передбачає наявність як відповідного програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень, так і фахової підготовки виконавців.

Напрямами подальших досліджень є удосконалення зазначеної методики на основі використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке дасть змогу використовувати весь запропонований набір інструментів і методик у рамках єдиної автоматизованої системи.

### Список літератури

1. *Аналіз інвестиційних і соціально-економічних процесів методами моделювання обмежених множин багатовимірних даних* / О.М. Терентьев, Т.І. Просянкіна-Жарова, Л.О. Коршевнюк, П.І. Бідюк // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 2. – С. 87–93.
2. *Офіційний сайт міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Економічна ситуація та макроекономічне прогнозування* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&tag=ЕкономичнаСитуаціяТаМакроекономічнеПрогнозування>
3. *Линдген М., Бандхольд Х.* Сценарное планирование. Связь между будущим и стратегией / Пер. с англ. И. Ильиной. – М.: Олимп-Бизнес, 2009. – 256 с.
4. *Згуровський М.З.* Сценарний аналіз як системна методологія передбачення // Системні дослідження та інформ. технології. – 2002. – № 1. – С. 7–38.

5. Панкратова Н.Д., Малафеева Л.Ю. Информационная модель знаний сценарного анализа // Проблемы управления и информатики. – 2014. – № 1. – С. 119–128.
6. Гожий О.П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування // Вісник Львів. держ. ун-ту безпеки життєдіяльності. – 2013. – № 7. – С. 13–17.
7. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.С. Ковалевский и др. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
8. Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-телеком, 2007. – 284 с.
9. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальному, биологическому и экологическому задачам / Пер. с англ. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 496 с.
10. Рыков А.С. Методы системного анализа: многокритериальная и нечеткая оптимизация, моделирование и экспертные оценки. – М.: Экономика, 1999. – 316 с.
11. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // Int. J. Man-Machine Studies. – 1986. – 1. – P. 65–75.
12. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. – Ростов н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 2006. – 332 с.
13. Згуровський М.З., Панкратов В.А. Стратегія інноваційного розвитку регіону на основі синтезу методологій передбачення і когнітивного моделювання // Системні дослідження та інформ. технології. – 2014. – № 2. – С. 7–17.
14. Горелова Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Техн. науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 239–250.

## References

1. O. Terentev *et al.*, “Analysis of investment and socio-economic indicators using the methods of modeling for the limited historical data sets”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 2, pp. 87–93, 2012 (in Ukrainian).
2. The official website of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. The economic situation and macroeconomic forecasting [Online]. Available: [www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&tag=EkonomicznaSituatsiaTaMakroekonomichnePrognozuvannia](http://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&tag=EkonomicznaSituatsiaTaMakroekonomichnePrognozuvannia) (in Ukrainian).
3. M. Lindgren *et al.*, *Scenario Planning. The Link Between Future and Strategy*. Moscow, Russia: Business Olympus, 2009 (in Russian).
4. M.Z. Zgurovsky, “Scenario analysis as a systematic methodology prediction”, *Systemni Doslidzhennya ta Informatsiyni Tekhnolohiyi*, no. 1, pp. 7–38, 2002 (in Ukrainian).
5. N.D. Pankratova and L.Ju. Malafeeva, “Information model knowledge scenario analysis”, *Problemy Upravlenija i Informatiki*, no. 1, pp. 119–128, 2014 (in Russian).
6. O.P. Gozhyj, “Dynamic modeling based on fuzzy cognitive maps for solving scenario planning”, *Visnyk L'vivs'koho Derzhavnoho Universytetu Bezpeky Zhyttyedyal'nosti*, vol. 7, pp. 13–17, 2013 (in Ukrainian).
7. V.V. Kul'ba *et al.*, *Scenario Analysis of the Dynamic Behaviour of the Socio-Economic Systems*. Moscow, Russia: ICS of RAS, 2002 (in Russian).
8. V.V. Borisov *et al.*, *Fuzzy Model and Network*. Moscow, Russian: Gorjachaja Linija-Telekom, 2007 (in Russian).
9. F.S. Roberts, *Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological and Environmental Objectives*. Moscow, USSR: Nauka, 1986 (in Russian).
10. A.C. Rykov, *System Analysis Methods: Multi-Criteria and Fuzzy Optimization, Modeling and Expert Estimates*. Moscow, Russia: Ekonomika, 1999 (in Russian).
11. B. Kosko, “Fuzzy cognitive maps”, *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 1, pp. 65–75, 1986.
12. G.V. Gorelova *et al.*, *Research Semistructured Problems of Socio-Economic Systems: Cognitive Approach*. Rostov on Don, Russia: Rostov University Press, 2006 (in Russian).
13. M.Z. Zgurovsky and V.A. Pankratov, “Strategy of innovative development of the region based on the synthesis and prediction methodologies cognitive modeling”, *Systemni Doslidzhennya ta Informatsiyni Tekhnolohiyi*, vol. 2, pp. 7–17, 2014 (in Ukrainian).
14. G.V. Gorelova, “Cognitive approach to the simulation of complex systems”, *Izvestija JuFU. Tehnicheskie Nauki*, vol. 3 (140), pp. 239–250, 2013 (in Russian).

О.М. Терентьев, Т.І. Просянкіна-Жарова, В.В. Савастьянов

ЗАСТОСУВАННЯ КОГНІТИВНОГО ТА ЙМОВІРІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ФОРМУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

**Проблематика.** Складність розв'язання задачі вибору напрямів розвитку національної економіки та її підсистем в умовах наявності невизначеностей потребує застосування систем підтримки прийняття рішень, у яких будуть реалізовані методики аналізу та прогнозування розвитку соціально-економічних систем, основані на інтегрованому підході, який дає змогу врахувати якнайбільшу кількість факторів, що сприяють або перешкоджають розвитку соціально-економічних систем регіонів України. Пропонується методика розробки сценаріїв розвитку соціально-економічних систем із використанням когнітивного та ймовірнісного моделювання.

**Мета дослідження.** Метою роботи є дослідження застосування композиції когнітивного та ймовірнісного моделювання в задачах побудови сценаріїв розвитку соціально-економічних систем в умовах структурно-динамічних змін.

**Методика реалізації.** Для розв'язання поставлених задач використано методи: системного аналізу, сценарного планування, когнітивного моделювання, ймовірнісного моделювання, текстової аналітики. Запропоновано методику для розробки сценаріїв розвитку соціально-економічної системи регіону в умовах невизначеності, обґрунтовано можливість її використання у відповідних системах підтримки прийняття рішень.

**Результати дослідження.** На основі аналізу праць вітчизняних і закордонних вчених запропоновано удосконалення методики розробки програм соціально-економічного розвитку регіонів України з використанням сценарного аналізу, когнітивного та ймовірнісного моделювання. Виконано аналіз отриманих результатів прогнозування.

**Висновки.** За допомогою запропонованої методики було розроблено декілька сценаріїв розвитку одного з регіонів України, обґрунтовано вибір найвірогіднішого з них. За цим сценарієм спрогнозовано зміну валового регіонального продукту області на коротко- та середньострокову перспективу, одержано прийнятні результати прогнозування.

**Ключові слова:** сценарій; когнітивна модель; розвиток соціально-економічної системи; планування; прогнозування; система підтримки прийняття рішень.

А.Н. Терентьев, Т.И. Просянкина-Жарова, В.В. Савастьянов

#### ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО И ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Проблематика.** Сложность задачи выбора направления развития национальной экономики и ее подсистем в условиях неопределенности предусматривает применение систем поддержки принятия решений, в которых будут реализованы методики анализа и прогнозирования развития социально-экономических систем, основанные на комплексном подходе, позволяющем учитывать значительное количество факторов, как способствующих, так и сдерживающих развитие социально-экономических систем регионов Украины. Предлагается методика разработки сценариев развития социально-экономических систем с использованием когнитивного и вероятностного моделирования.

**Цель исследования.** Целью работы является исследование применения композиции когнитивного и вероятностного моделирования в задачах разработки сценариев развития социально-экономических систем в условиях структурно-динамических преобразований.

**Методика реализации.** Для решения задач исследования использованы методы: системного анализа, сценарного планирования, когнитивного моделирования, вероятностного моделирования, текстовой аналитики. Предложена методика для разработки сценариев развития социально-экономической системы региона в условиях неопределенности, обоснована возможность использования ее в системах поддержки принятия решений.

**Результаты исследования.** На основе анализа работ отечественных и зарубежных ученых предложено усовершенствование существующей методики разработки программ социально-экономического развития регионов Украины. Предложенная методика предусматривает применение композиции методов сценарного анализа когнитивного и вероятностного моделирования. Выполнен анализ полученных результатов прогнозирования.

**Выводы.** С помощью предложенной методики разработаны несколько сценариев развития одного из регионов Украины, обоснован выбор наиболее вероятного из них. На основе данного сценария спрогнозирован объем валового регионального продукта области на кратко- и среднесрочную перспективу. Согласно проведенным расчетам получен качественный достоверный прогноз.

**Ключевые слова:** сценарий; когнитивная модель; развитие социально-экономической системы; планирование; прогнозирование; система поддержки принятия решений.

Рекомендована Радою  
Навчально-наукового комплексу  
“Інститут прикладного системного  
аналізу” НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”

Надійшла до редакції  
29 серпня 2016 року