

---

УДК 004.942

Т.В. Лук'яненко

*Луганський національний університет імені Т.Г. Шевченка, Луганськ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ**

*В статті наведено етапи розробки та досвід практичного застосування математичної моделі динаміки розвитку соціально-економічної системи (СЕС), яка дозволяє аналізувати, прогнозувати та оптимізувати темпи наближення до потрібних показників системи, служить основою для прийняття стратегічних рішень з управління СЕС. В роботі представлено алгоритм формування узгодженого комплексу рішень, що передбачає збалансованість за критеріями під час комбінування та дослідження динаміки розвитку СЕС за різними стратегіями.*

**Ключові слова:** *теорія нечітких множин і нечіткої логіки, математична модель, об'єкт управління, стратегія, алгоритм, прийняття рішень.*

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Сучасну СЕС можна розглядати як складну ієрархічну систему з бага-

тьох структурних взаємопов'язаних елементів або підрозділів. Актуальним є підвищення ефективності управління СЕС завдяки впровадженню ситуаційного управління і прийняття оперативних

управлінських рішень для корегування поведінки СЕС, якщо виявлена невідповідність меті та стратегії її розвитку.

Дослідження поведінки СЕС є складним та актуальним завданням, яке потребує обробки великої кількості даних на основі використання математичного апарату для прийняття рішень з управління.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблемам управління та функціонування складних систем присвячені наукові роботи багатьох вчених, серед яких можна відзначити В.Н. Буркова, В.Л. Волковіча, А.А. Вороніна, С.В. Леонтьєва, Петракова С.Н., О.І. Ларічева, Т. Сааті, Д.А. Новікова, М.Д. Годлевського, А.Д. Цвіркуна, С.К. Рамазанова та М.Є. Рогозу.

Аналіз публікацій та сучасних тенденцій в управлінні СЕС свідчить, що багато виникаючих проблем не можуть бути вирішені в рамках існуючої парадигми управління ресурсами. Все більш необхідною є розробка таких моделей управління, які дозволять розглядати СЕС як цілісну систему, здатну концентрувати ресурси на користь загальної стратегії розвитку. Вирішення задач такої складності вимагає відповідного рівня автоматизації обробки інформації.

**Метою статті** є розробка математичної моделі динаміки розвитку СЕС, та її використання для дослідження поведінки системи у межах класичних стратегій. Модель повинна надавати прогноз розвитку з врахуванням одного з критеріїв обмежень: час або кількість ресурсів, які можна використати для досягнення необхідних показників системи.

## Основний розділ

### 1. Управління розвитком СЕС за класичними стратегіями

Формування загальної стратегії розвитку СЕС потребує оцінки стосовно альтернативних варіантів та побудови дерева цілей, за яким буде здійснюватися оптимізація. Якісні методи оцінки альтернатив, що розроблені О.І. Ларічевим, можуть використатися в моделях лінійного упорядкування об'єктів на основі їх векторів переваг [1]. Одним з таких методів, що з успіхом застосовується для рішення завдань з управління із якісними змінними, є метод упорядкування багатокритеріальних альтернатив, що включає наступні процедури:

- формування критеріального опису альтернатив;
- формування відповідності базових і лінгвістичних шкал оцінки критеріїв;
- формування опорних еталонних ситуацій у вигляді векторних оцінок і їх порівняння;
- упорядкування векторних оцінок альтернатив.

Таким чином, можна вирішити задачі планування розвитку СЕС відповідно до наступних варіантів стратегії та оцінити рівень результату:

1.  $S_{\max}$  – Максимізація ступеню розвитку СЕС до кінця планового періоду  $T$  у межах існуючого ресурсного забезпечення  $x$ :

$$G^{\max}(y(T)) \rightarrow \max_{\dot{y}(t), x \in X} ; \quad (1)$$

2.  $S^C$  – Досягнення заданого рівня розвитку СЕС  $G_0$  з мінімальними витратами ресурсного забезпечення. Якщо задано функціонал  $G(y)$ , то задача має вигляд

$$G^C(\Delta) \rightarrow \min_{\dot{y}(t), x \in X, x(y) \geq x_0} ; \quad (2)$$

3.  $S^T$  – Мінімізація часу досягнення заданого рівня розвитку  $G_0$  для СЕС формує наступну стратегію:

$$G^T(\Delta) \rightarrow \min_{\dot{y}(t), x \in X, G(y(T)) \geq G_0} ; \quad (3)$$

4.  $S_{\min}$  – Стратегія рівномірного розвитку СЕС, вирішується як:

$$G_{\min}(y) \rightarrow \min_{j \in K} \{y_j\} ; \quad (4)$$

5.  $S^\alpha$  – Стратегія розвитку пріоритетного напрямку діяльності СЕС:

$$G_\alpha(y) = \sum_{j \in K} \alpha_j y_j, \quad (5)$$

де  $\alpha_j > 0$ ,  $j \in K$  – константи пріоритетів, такі, що  $\sum_{j \in K} \alpha_j = 1$ ,  $\alpha \rightarrow [0; 1]$ .

Вирішення задач підвищення якості управління розвитком СЕС передбачає можливість побудови ієрархії стратегій для моменту часу  $T$ , та зміну під час планового періоду [2].

### 2. Математична модель динаміки розвитку СЕС

Якщо напрямки діяльності СЕС не зв'язані, і  $y_j^0 \in (0; 1]$ ,  $j \in K$ , використаємо логістичний закон розвитку напрямків, що є адекватним багатьом основним процесам у СЕС. Модель оцінки динаміки розвитку СЕС використовує диференціальне рівняння:

$$\frac{dy_j(t)}{dt} = \gamma_j(x_j(t)) \cdot y_j(t)(1 - y_j(t)), \quad j \in K. \quad (6)$$

Одним з рішень цього рівняння є диференціальне рівняння Бернуллі, якщо прийняти  $y_j(t) = y_j$ , результат буде мати вигляд набору логістичних кривих, які відображають темпи розвитку напрямків діяльності СЕС у часі:

$$y_j(t, x_j) = \frac{y_j^0}{y_j^0 + (1 - y_j^0)e^{-\gamma_j(x_j)t}}, \quad j \in K. \quad (7)$$

Стандартний вигляд рівняння Бернуллі вдосконалено за рахунок введення коефіцієнту  $\gamma_j(x_j)$ , як показника інтенсивності використання ресурсів  $x$  для  $j$ -го напрямку діяльності  $y$ , враховуючи перерозподіл ресурсів між всіма напрямками діяльності СЕС. Значення коефіцієнтів визначається під час формування стратегії, і далі використовується як постійний показник.

На рис. 1 представлені результати дослідження поведінки СЕС згідно стратегії досягнення заданого рівня розвитку з мінімальними витратами ресурсного забезпечення, що не обмежена часом наближення до бажаної оцінки стану напрямків діяльності. Організація, що діє за даною стратегією, має стабільне фінансове становище за рахунок правильного використання ресурсів.

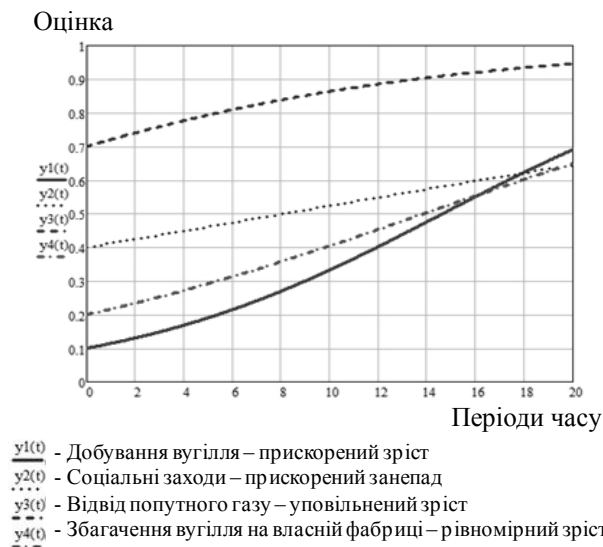


Рис. 1. Досягнення заданого рівня розвитку СЕС з мінімальними витратами ресурсного забезпечення

Якщо слід дослідити вплив змін ресурсного забезпечення на час досягнення необхідного рівня розвитку для всього СЕС  $G_0$ , отримаємо рівняння, що пов'язує час досягнення даного рівня по кожному напрямку з відповідним ресурсним забезпеченням. Динамічний коефіцієнт у рівнянні:

$$\gamma_j(x_j)t = \ln \frac{G_0(1-y_j^0)}{y_j^0(1-G_0)}, j \in K. \quad (8)$$

Таким чином, можна вирішити дві взаємопов'язані задачі: мінімізація часу досягнення  $G_0$ , або використаних ресурсів. Якщо ресурсне забезпечення кожного напрямку не буде значно змінюватися у часі, то з боку вирішення стратегії рівномірного розвитку всіх напрямків, задача переходить до оптимізації ресурсів, так щоб одночасно вийти на рівень  $G_0$ .

Оцінку впливу ресурсу, необхідно мінімізувати за часом. Позначив:

$$\beta_j = \ln \frac{G_0(1-y_j^0)}{y_j^0(1-G_0)}, \quad (9)$$

необхідно мінімізувати час  $T$  вибором вектору  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,

щоб  $\gamma_j(x_j) = \frac{\beta_j}{T}, j \in K$ ;

$$T = \frac{\sum_{j \in K} \beta_j / r_j}{R}. \quad (10)$$

Використаємо лінійну функцію  $\gamma_j(x_j) = r_j x_j$ , враховуючи, що обмеження на ресурси складають  $R$ .  $r_j > 0$  – показник, який вказує на потенціал напрямку діяльності чи оцінки. Використав метод множин Лагранжа отримаємо:

Фактор  $x_j$  складається з набору ресурсів  $r_j$ :

$$x_j = R \frac{\beta_j / r_j}{\sum_{j \in K} \beta_j / r_j}, j \in K. \quad (11)$$

З рівняння (11) можна зробити висновок, що оптимальний обсяг ресурсу для напрямку  $j$  є пропорційним його ступеню розвитку. Час досягнення поставленого рівня у зворотному зв'язку з кількістю використаного ресурсу за рік.

На рис. 2 представлені результати дослідження поведінки СЕС згідно стратегії скорочення часу досягнення заданого рівня розвитку.

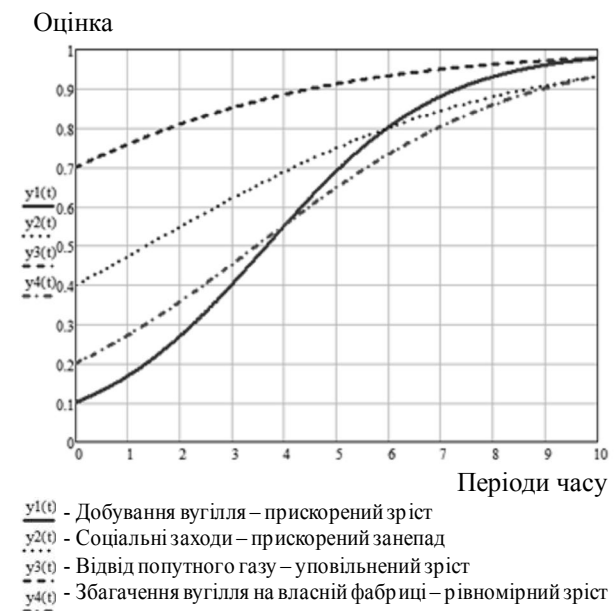


Рис. 2. Досягнення заданого рівня розвитку  $G_0$  для СЕС за мінімальний термін

Апарат диференціальних рівнянь враховує взаємозв'язок різноманітних напрямків діяльності СЕС на рівнях ресурсного балансу, результативності та ефективності [2, 3].

### 3. Алгоритм формування узгодженого комплексу рішень

Стратегія розвитку СЕС у довгостроковій перспективі потребує дії механізмів утримання траєкторії розвитку у межах допустимих обмежень. Алгоритм формування узгодженого комплексу рішень реалізує математичну модель динаміки розвитку СЕС (рис. 3).

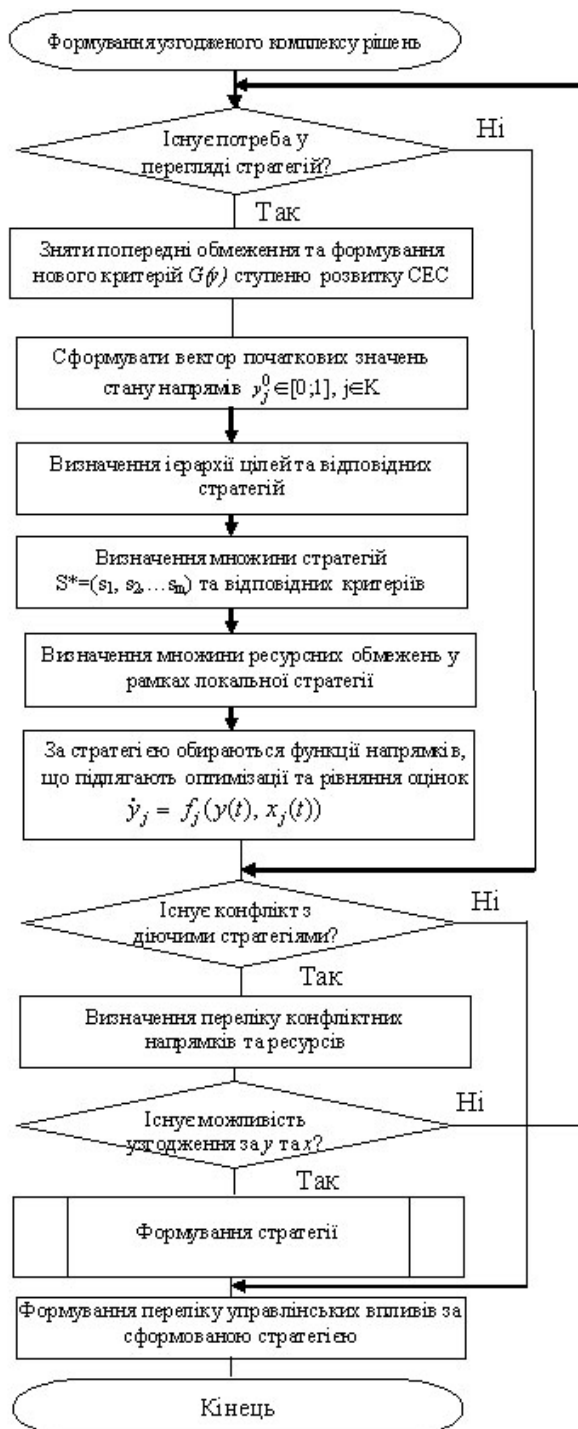


Рис. 3. Алгоритм формування узгодженого комплексу рішень на основі моделі динаміки розвитку СЕС

У визначеному фазовому коридорі керівництво має свободу досить оперативного корегування управлінських дій.

Алгоритм локальних стратегій, насамперед, стосується перерозподілу резервів за напрямками, відповідно до встановлених керівництвом пріоритетів та потреб тимчасового втручання [4]. Локальні стратегії потребують вибору та фіксації планового періоду та дій стратегії  $T > 0$  і обмеження ресурсів  $R^{S(t)}$  для  $x \in X$  на множині припустимих значень ресурсного забезпечення  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ . Локальні стратегії не повинні розраховуватись на весь резерв, тому обмеження на виконання алгоритмів потрібно скорегувати. З урахуванням законів оцінки динаміки ступенів розвитку за напрямками та алгоритму формування узгодженого комплексу рішень ефективного розвитку у рамках обраної довгострокової стратегії, можна вирішити задачі планування розвитку СЕС з локальними стратегіями росту напрямків діяльності.

Розглянемо принцип роботи алгоритму формування узгодженого комплексу рішень, що представлений на рис. 3:

1. Виконання алгоритму ініціюється керівництвом. Необхідність виникає, якщо за результатами діагностичного алгоритму отримано значний перелік напрямків з незадовільною комплексною оцінкою. Результати аналізу глобальних відхилень потребують корекції усіх напрямків у разі виникнення нових обмежень. Крім того, даний алгоритм є механізмом формування програм ефективного розвитку та росту: аналіз та прогноз відкриття нових напрямків; стимулювання та акцентування зусилля керівництва на розвитку найбільш перспективних напрямків; прогнозування часових горизонтів для отримання бажаного рівня, тощо. Таким чином, перше питання стосується доцільності перегляду існуючих орієнтирів та зміни акцентів у стратегіях розвитку основних напрямків діяльності СЕС [5].

2. У разі, коли попередні цілі втратили актуальність, необхідно очистити критерій  $G(y)$  ступеню розвитку СЕС за напрямками та скорегувати ресурсні обмеження з оновленими даними, отриманими під час діагностичного управління.

3. Локальні стратегії не обов'язково стосуються усіх напрямків. Якщо СЕС має достатні резерви для маневру і готова використати їх на поліпшення стану деяких напрямків, їх стимулювати, для вирішення задачі оптимального використання додаткових коштів можна розглядати лише проблемні напрямки без погодження з іншими. Тому вектор  $Y$  формується, виходячи з цілей керівництва.

4. Для різних напрямків керівництво СЕС формує та вимагає свої критерії та оцінки відповідно до загальної стратегії. Тому для множини  $Y$  застосовані різні функції оптимізації. Це приводить до конфліктів інтересів та протиріччя в оцінках [6].

5. Формування узгодженого плану стратегічного розвитку за обраними функціями оптимізації, та ієрархії критеріїв.

6. Перевірка ресурсних обмежень за всім переліком задіяних напрямків.

7. Для виявлення та аналізу протиріч обираються функції напрямків  $f_j(y(t))$ , що підлягають оптимізації та рівняння оцінок  $\dot{y}_j = f_j(y(t), x_j(t))$ ,  $j \in K$ , вирішення яких надасть змогу порівняти оцінки для незалежних оцінок стратегій.

8. Якщо виявлено конфлікт цілей стратегій за напрямком чи на рівні ресурсних обмежень, що відповідає неможливості досягнення мети, необхідно використання експертної оцінки та узгодження з керівництвом [7].

9. Для аналізу готуються звіти, за якими напрямки отримують оцінки при використанні тієї чи іншої стратегії. Якщо протиріччя виникають на рівні ресурсних обмежень, визначають конкуруючі напрямки.

10. Рішення щодо корекції стратегій приймає керівництво, що у будь-якому випадку потребує перегляду стратегії зверху.

11. Рішення задач оптимізації має вигляд функції розподілу ресурсів  $x_j(t)$  та пов'язаної з цим оцінки напрямків  $f_j(y(t))$ . Таким чином, результати оптимізації можуть бути трансформовані у функцію управлінських дій  $\Delta = (\Delta_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $\Delta \in G_n$  для аналізу за глобальними критеріями.

12. Остаточне узгодження за всіма критеріями призводить до можливості формування управлінських рішень щодо втілення стратегій у діяльність. На цьому етапі доцільно розподілити управління на рефлексивне, планове, діагностичне та стратегічне. Це не має значення для математичного апарату, але дає змогу визначитися з виконавцями.

оптимізувати темпи наближення чи досягнення необхідних показників, що визначаються стратегією розвитку; надає можливість врахувати взаємозв'язок напрямків діяльності та ресурсний баланс, служить основою для прийняття стратегічних рішень управління.

Алгоритм формування узгодженого комплексу рішень на основі моделі динаміки розвитку СЕС передбачає узгодженість за критеріями під час комбінування стратегій та враховує глобальні обмеження ресурсів. Математичну модель динаміки розвитку реалізовано у програмному забезпеченні з використанням графічної форми представлення даних для дослідження та корегування поведінки системи.

## Список літератури

1. Ларичев О.И. Человеко-машинные методы решения многокритериальной задачи о назначениях / О.И. Ларичев, М.Ю. Стернин // Автоматика и телемеханика. – М.: Наука, 1998. – № 7. – С. 135-156.
2. Лук'яненко Т.В. Оцінка стану та формування стратегії розвитку соціально-економічних систем / Т.В. Лук'яненко // Системи обробки інформації. – Х., 2012. – №2 (100). – С. 133-138.
3. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
4. Петраков С.Н. Механизмы планирования в активных системах: неманипулируемость и множества диктаторства / С.Н. Петраков. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 282 с.
5. Механизмы корпоративного управления / [В.Н. Бурков, И.А. Агеев, Е.А. Баранчикова, С.В. Крюков, П.И. Семенов]. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 109 с.
6. Новиков Д.А. Децентрализация механизмов планирования в активных системах / Д.А. Новиков, С.Н. Петраков, К.А. Федченко // Автоматика и телемеханика. – М.: Наука, 2000. – № 6. – С. 143-155.
7. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Нефтяник, 1997. – 420 с.

Надійшла до редколегії 27.11.2013

## Висновки

Розроблена математична модель динаміки розвитку СЕС дозволяє аналізувати, прогнозувати та

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Меньяйленко, Луганський національний університет ім. Т. Шевченка, Луганськ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ

Т.В. Лукьяненко

В статье приведены этапы разработки и опыт практического применения математической модели динамики развития социально-экономической системы (СЭС), которая позволяет анализировать, прогнозировать и оптимизировать темпы приближения к нужным показателям системы, служит основой для принятия стратегических решений по управлению СЭС. В работе представлен алгоритм формирования согласованного комплекса решений, который предусматривает сбалансированность по критериям во время комбинирования и исследования динамики развития СЭС по разным стратегиям.

**Ключевые слова:** теория нечетких множеств и нечеткой логики, математическая модель, объект управления, стратегия, алгоритм, принятие решений.

## BEHAVIOR'S RESEARCH OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS ON THE BASIS MATHEMATICAL MODEL OF DEVELOPMENT'S DYNAMICS

T.V. Lukyanenko

Development stages and practical application's experience of development's dynamics mathematical model for socio-economic systems (SES) which allows to analyze, predict and optimize rates of approach to the necessary system's indicators are given in article, forms a basis for adoption of strategic decisions on SES management. The algorithm of formation coordinated decisions complex which provides equation by criteria during a combination and research SES's development dynamics for different strategy in work is presented.

**Keywords:** theory of fuzzy sets and fuzzy logic, mathematical model, management object, strategy, algorithm, making a decision.