

УДК 519.816

DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.10.19>**Дебела І.М.**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7990-4202>

Debela Iryna

Kherson State Agrarian and Economic University

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

FORMALIZATION OF PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODELS OF DECISION MAKING

Чітка формалізація параметричної бази моделей прийняття рішення є запорукою якості математичних моделей реальних економічних систем. Точність і повнота первинної інформації, реальні можливості її збору та обробки є визначальними чинниками у виборі специфікації моделі та методів її практичної реалізації. Економіка як об'єкт моделювання має всі ознаки складної системи зі складними взаємодіями між складниками та не завжди передбачуваними зовнішніми впливами. Модель таких систем містить велику кількість непрогнозованих, нечислових параметрів зі структурно не визначеними взаємозв'язками. Тому існує необхідність розроблення певних правил, що дадуть змогу структурувати та формалізувати вхідну інформацію, зробивши придатною для математичного моделювання. Якщо моделюються ситуації прийняття рішень на основі аналізу суттєво стохастичної, багатовимірної інформації, то виникає необхідність у створенні алгоритмів структуризації інформаційної бази параметрів, що є сукупною характеристикою поточного стану, поведінки, умов та ефективності функціонування об'єкта дослідження.

Ключові слова: параметрична база, інформація, ендогенні параметри, описові параметри, умовно керовані параметри, критеріальні ознаки, стан природи, математична модель.

Четкая формализация параметрической базы моделей принятия решения является залогом качества математических моделей реальных экономических систем. Точность и полнота первичной информации, реальные возможности ее сбора и обработки являются определяющими факторами в выборе спецификации модели и методов ее практической реализации. Экономика как объект моделирования имеет все признаки сложной системы со сложными взаимодействиями между составляющими и не всегда известными внешними воздействиями. Модель таких систем содержит множество непрогнозируемых, нечисловых параметров со структурно не определенными взаимосвязями. Поэтому существует необходимость разработки определенных правил, позволяющих структурировать и формализовать входящую информацию, сделав пригодной для математического моделирования. Если моделируются ситуации принятия решений на основе анализа существенно стохастической, многомерной информации, возникает необходимость в создании алгоритмов структуризации информационной базы параметров, являющихся совокупной характеристикой текущего состояния, поведения, условий и эффективности функционирования объекта исследования.

Ключевые слова: параметрическая база, структурированная информация, эндогенные параметры, описательные параметры, условно управляемые параметры, критеріальні ознаки, состояние природы, математическая модель.

The difficulties of practical implementation of mathematical modeling in economics are associated with the provision of models with high-quality structured primary information – the input parametric basis of modeling. The accuracy, completeness and validity of the input information are the determining criteria in determining the methods and algorithms of modeling. Economics, as an object of modeling, has all the features of a complex system with complex interactions between components and not always predictable external influences of other systems.

The model of such systems contains a large number of unpredictable characteristic parameters with structurally indeterminate relationships. An important feature of complex systems is their emergence – the appearance in the system of properties that are not characteristic of its components and as a result, not the ability to represent the general properties of the system as an arithmetic sum of the properties of its elements. Mathematical model of a complex system is considered as a set of models of structural elements, a formalized description of the relationships between them, taking into account the impact of external systems on the internal organization and behavior of the system as a whole. The level of complexity of the system is determined by the number of structural elements, the relationships between these elements, as well as the nature of the flow of the environment. The model of a complex system requires a comprehensive study, application of various theories, approaches, tools and methods of mathematical modeling. It is not possible to satisfy all the requirements with a single "universal" model, it is necessary to create a whole set of models of one object of study, each of which most effectively solves a separate problem. There is a need to develop a set of rules, approaches that will reduce the cost of model development, reduce the likelihood of "gross errors", which level the modeling process itself as a method of decision making. If the object of modeling is the decision-making process based on the analysis of essentially stochastic, multidimensional information, then there is a need to create algorithms for structuring the information base of parameters, which is a cumulative characteristic of the current state, behavior, conditions and efficiency of the object. The aim of the article is to study the methods of formalizing the parameters of decision-making models.

Key words: parametric base, information, endogenous parameters, descriptive parameters, conditionally controlled parameters, criterion features, state of nature, mathematical model.

Постановка проблеми. Особливість математичних моделей економічних явищ та процесів викликана тим фактом, що більшість об'єктів, які вивчає економічна наука, є не чим іншим, як складними системами. Складність системи, як правило, визначається кількістю складових елементів, зв'язками між цими елементами, взаємовідносинами між системою та навколишнім середовищем. Але саме складні об'єкти становлять найбільший інтерес для моделювання, тому що саме у цьому разі моделювання може дати результати, які не можна отримати іншими способами дослідження.

Сьогодні математичне моделювання складних економічних систем вирішує низку комплексних завдань, таких як: виявлення реальних структурних елементів середовища, які мають найбільший вплив на розвиток економічної та політичної ситуації в країні, оцінка альтернативних варіантів розвитку подій і, як правило, оцінка рівня ризику в результаті передбачуваних дій суб'єктів економіки, прогнозування результатів застосування різних економічних заходів і інструментів, а також оцінка поточного рівня економічного розвитку регіону, країни, світу [1].

Теоретична можливість математичного моделювання економічних процесів не означає, однак, її успішного практичного здійснення за наявного рівня економічних і математичних знань, наявного інформаційного та матеріального забезпечення. Одна з труднощів соціально-економічних досліджень полягає у тому, що майже не існує об'єктів, які можна було б розглядати як окремі несистемні елементи. Окрім того, завжди будуть існувати неформалізовані проблеми, де засоби математичного моделювання застосовувати неефективно.

Головним обмеженням практичного впровадження математичного моделювання в економіці є забезпечення моделей якісною структурованою інформацією. Точність і повнота первинної інформації, реальні можливості її збору та обробки є визначальними у визначенні типу прикладної моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових працях та фахових публікаціях системний підхід описується як методологічна основа моделювання процесів управління, аналізу математичних моделей на предмет їх практичної реалізації та оцінки якості альтернативних рішень [2–4]. Системний підхід та системний аналіз в економічних дослідженнях розглянуто в публікаціях таких учених, як О.С. Бондар, М.І. Трофимчук, Л. Примостка, В.М. Варенко, І.В. Братусь, В.С. Дорошенко. Принцип системності в аналітичних дослідженнях описаний у роботі І.В. Спільник [5].

Основні засоби формалізованого опису економічної інформації (класифікація, кодування) відомі та описані в підручниках, посібниках [6–8]. Водночас перегляд публікацій демонструє слабкі боки науково обґрунтованих підходів до формалізації первинної економічної інформації, що є вхідною параметричною базою оптимізаційних моделей прийняття рішень.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження методів формалізації параметрів моделей прийняття рішень.

Виклад основного матеріалу. Важливою особливістю складних систем є їх емерджентність – поява у системи властивостей, не характерних для її складників, і, як результат, неможливість представлення загальних властивостей системи як арифметичної суми властивостей її елементів.

Рівень складності системи визначається кількістю структурних елементів, зв'язками між цими елементами, а також характером пливу зовнішнього середовища. Економіка як об'єкт моделювання має всі ознаки складної системи зі складними взаємодіями між складниками та не завжди передбачуваними зовнішніми впливами інших систем. Модель таких систем містить велику кількість непрогнозованих (частково або повністю) характеристичних параметрів зі структурно не визначеними взаємозв'язками.

Труднощі практичного впровадження математичного моделювання в економіці пов'язані із забезпеченням моделей якісною структурованою первинною інформацією – вхідною параметричною базою моделювання. Точність, повнота та обґрунтованість вхідної інформації є визначальними критеріями у визначенні методів та алгоритмів моделювання. Залежно від цілей та об'єктів моделювання вхідна інформація може бути згрупована так:

- інформація про минулий та поточний стан об'єкта-системи, процесу дослідження (економіко-статистичні спостереження, результат їх обробки);
- інформація про майбутній стан системи, тенденції її можливого розвитку, що включає характеристики внутрішніх параметрів системи дослідження та зовнішніх станів навколишнього середовища (прогнозні розрахунки).

Інформація другої групи є результатом самостійних опосередкованих досліджень, які також можуть бути результатом моделювання. Сам процес моделювання ґрунтується на попередньому статистичному аналізі переважно стохастичної, багатовимірної інформації. Як правило, моделювання реальної економічної системи, явища, процесу починається з формування інформаційної бази параметрів, що є сукупною характеристикою поточного стану, поведінки, умов та ефективності функціонування об'єкта дослідження. Сукупність вхідних параметрів моделі на момент дослідження $t_0, t_0 \in [0; T]$ можна класифікувати так:

1. Описові параметри $X(t) = \{x_a(t)\}, (a = 1 \div A)$ – некеровані змінні моделі, що є числовими характеристиками об'єктивних умов функціонування досліджуваної системи у вибраний момент часу t . Компонентами вектора можуть бути кількісні, якісні та класифікаційні ознаки різної природи [10, с. 972].

2. Умовно керовані параметри $Y(t) = \{y_p(t)\}, (p = 1 \div P)$, частину яких можна характеризувати як екзогенні чинники, дія яких зумовлена зовнішнім середовищем – станами природи [11, с. 201]. Якість цієї інформації може варіювати від повної визначеності, детермінованості до повної невизначеності. Найпростішим випадком є прийняття рішень за умов повної визначеності, коли відомий результат вибору тієї чи іншої альтернативи. Більш складним випадком є прийняття рішень за умов ризиків та параметричної або структурної невизначеності. Відсутність точної інформації про стан природи обмежує обґрунтованість вибору рішення, і фактично результатом оптимізації буде лише стохастична оцінка станів досліджуваної системи.

3. Ендогенні параметри $C(t) = \{c_k(t)\}, (k = 1 \div K)$, чинники зумовлені внутрішньою природою досліджуваної системи.

4. Критеріальні ознаки $F(t) = \{f_l(t)\}$, ($l = 1 \div L$), що є визначальними оцінками ефективності функціонування системи і можуть бути представлені як цільова функція оптимального управління, або критерії якості моделі.

Звичайно, не завжди є доцільним, а іноді й неможливе, одночасне включення до моделі ознак усіх видів. Кожна окрема задача прийняття рішення обмежена певним набором статистичних і економічних параметрів, методів та інструментів моделювання.

Якщо кожний критерій $f_j(t)$ із множини критеріальних ознак $F(t)$ може бути обчислений або передбачений на основі зібраної інформації, то у наведених позначеннях загальна задача управління може бути представлена, можливо, у неформалізованому вигляді як підмножина сфери існування системи обмежень:

$$G_j(X(t), Y(t), C(t)) \begin{cases} \leq \\ = \end{cases} 0, j = 1 \div m, \quad (1)$$

за умови набуття екстремального значення вибраного критерію оптимальності [11, с. 200].

$$F(t) = \{f_l(t)\} \rightarrow \text{extr}, \quad (2)$$

де G_j – оператор-функціонал математичної моделі відповідного обмеження.

Вектор критеріальних ознак $F(t)$ може мати описові якісні характеристики, не завжди може бути сформований у числових еквівалентах, що є проблемою задач аналізу, прогнозу показників економічної динаміки. Рішення таких задач зводиться фактично до визначення характеру статистичних залежностей, що пов'язують між собою багатовимірні ознаки $X(t)$, $C(t)$, $Y(t)$. Окрім того, не існує єдиного універсального критерію економічної ефективності, тому досить часто вдаються до розгляду багато-критеріальної оптимізації [12, с. 6].

Якщо розглядати поведінку будь-якого з векторів системи (1) або вектор критеріальних ознак $F(t)$ стосовно їх динаміки в часі, то моделювання економічних процесів проводиться на основі аналізу багатовимірних часових рядів, а саме: визначення тренду; розклад впливаючих на досліджуваний процес факторів на стаціонарні, періодичні та випадкові; прогнозні розрахунки [13, с. 136]. Описати випадкову величину означає визначити для неї закон розподілу ймовірностей. Якщо такий закон установлюється для кількісних ознак, то простором елементарних подій буде область можливих значень досліджуваної ознаки. Для якісних ознак будується окремий простір елементарних подій. Але фактично початковий розподіл імовірностей не є об'єктом оптимізаційного моделювання. Моделюється функція розподілу імовірності альтернатив $A = \{A_j\}$ для всіх можливих станів природи $Y(t)$ на момент дослідження t .

Припустимо, що досліджується деяка стаціонарна система з обмеженою множиною альтернатив $A = \{A_j\} = (a_{ij})$, $j = 1 \div m$, $i = 1 \div n$, кожна з яких характеризується набором описових та ендогенних параметрів x_j, c_{ij} , що може бути реалізована на випадковій множині $Y(t_0) = \{y_j\}$ станів природи у фіксований момент часу t_0 . Окрім того, у результаті попереднього аналізу визначено вектор імовірностей станів природи $p\{y_j\} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$.

Тоді законом розподілу альтернатив на множині станів природи буде:

$$p\{y_j\} \cdot \{a_{ij}\} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Але такий спрощений вираз стохастичної функції розподілу альтернатив можливий, якщо вектор імовірностей $p\{y_j\}$ визначено наперед і процес зміни станів природи стаціонарний. Найчастіше оцінка ймовірностей станів природи є результатом експертних оцінок або формується як евристична функція. Для нестаціонарних сис-

тем множина альтернатив A явно залежить від вибраного сценарію поведінки зовнішнього середовища, і ця залежність є нелінійною. Незначні варіації y_j можуть призвести до значних коливань параметрів моделі та унеможливають визначення вектора ймовірностей станів природи.

Зважаючи на те, що параметри моделі c_j , x_j є багатовимірними стохастичними величинами, функція розподілу яких залежить від характеру y_j , а цільова функція (2) також є стохастичною функцією від вектора ендогенних ознак c_j , то загальна задача оптимального управління може бути формалізована так:

$$Z(A, \tilde{\varepsilon}) = \underset{A \in \Delta F}{\text{exstr}} \left\{ \bar{M}(f_j(A)) \cdot \tilde{\varepsilon} \right\}, \quad (4)$$

де A – вектор альтернатив $A = \{A_j\} \in R^n$;

$\bar{M}(f_j(A))$ – вектор усереднених критеріальних оцінок – математичних сподівань;

$\tilde{\varepsilon}$ – вектор випадкових величин, що відображує невизначеність процедури відбору критеріїв оптимізації. Вектор $\tilde{\varepsilon}$ – змістовно складається з двох компонент: ε_1 – випадкова компонента, функція розподілу якої визначає невизначеність граничних умов задачі; ε_2 – детермінована компонента, що визначає зміну початкових умов задачі.

Область оптимізації $\Delta F = [F_1, F_2]$ – визначена заздалегідь область «бажаних» значень компонент вектора критеріальних ознак.

Побудова таких математичних моделей передбачає заміну випадкових величин їх математичними сподіваннями, відповідно, обчислення інтегралів стохастичних функцій, що значно ускладнює процес моделювання. Ефективним способом формалізації таких задач є зведення початкової задачі стохастичного програмування до обмеженої сукупності детермінованих задач математичного програмування з фіксованим значенням вектора випадкових величин $\tilde{\varepsilon}$ [9].

Висновки. Математична модель складної системи – це сукупність моделей її структурних елементів, формалізований опис взаємозв'язків між ними, урахування впливу зовнішніх систем на внутрішню організацію та поведінку досліджуваної системи у цілому. Модель складної системи вимагає комплексного дослідження, застосування різних теорій, підходів, інструментів та методів математичного моделювання. Задовольнити усі вимоги єдиною «універсальною» моделлю неможливо, доводиться створювати цілий комплекс моделей одного об'єкта дослідження, кожна з яких найбільш ефективно розв'язує окрему підзадачу. Виникає необхідність розроблення певної сукупності правил, підходів, що дадуть змогу знизити витрати на розроблення моделей, зменшити ймовірність «грубих помилок», які нівелюють сам процес моделювання як метод прийняття рішень.

Якщо моделюються ситуації прийняття рішень на основі аналізу суттєво стохастичної, багатовимірної інформації, то виникає необхідність у створенні алгоритмів структуризації інформаційної бази параметрів, що є сукупною характеристикою поточного стану, поведінки, умов та ефективності функціонування об'єкта дослідження. Можливою перспективою є застосування комплексних методів обробки та структуризації параметрів моделей прийняття рішення, що включають основні підходи багатовимірного статистичного аналізу, економічної теорії та методів експертного оцінювання.

Список використаних джерел:

1. Звягин Л.С. Математическое моделирование комплексных экономических процессов. *Экономика, управление, финансы* : материалы IV Междунар. науч. конф., апрель 2015 г. Пермь : Зебра, 2015. С. 23–29. URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/133/7563/> (дата звернення: 18.11.2021).
2. Системний аналіз інформаційних процесів / В.М. Варенко та ін. Київ : Університет «Україна», 2013. 203 с.
3. Бондар О.С., Трофимчук М.І. Системний підхід до управління підприємствами на основі автоматизації бізнес-процесів. *Агроевіт*. 2021. № 16. С. 34–44.
4. Примостка Л. Системний підхід та системний аналіз в економічних дослідженнях. *Ринок цінних паперів в Україні*. 2003. № 9–10. С. 19–23.

5. Спільник І.В., Ярошук О.В. Принцип системності в аналітичних дослідженнях. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28. № 2. С. 182–190.
6. Павлиш В.А., Гліненко Л.К., Шаховська Н.Б. Основи інформаційних технологій і систем : підручник. Львів : Львівська політехніка, 2018. 620 с.
7. Анісімов А.В., Кулябо П.П. Інформаційні системи та бази даних : навчальний посібник. Київ : КНУ ім. Т. Шевченко, 2017. 110 с.
8. Галич О.А., Копішинська О.П., Уткін Ю.В. Управління інформаційними зв'язками та бізнес-процесами : навчальний посібник. Харків : Фінарт, 2016. 244 с.
9. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Москва : Наука, 1979. 285 с.
10. Айвазян А. Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. *Экономика и математические методы*. 1977. Т. XIII. Вып. 5. С. 968–983. URL: http://www.cemi.rssi.ru/emm/files/1977-05-Aivazian_SA.pdf (дата звернення: 18.11.2021).
11. Дебела І.М. Формалізований алгоритм оптимізації процесу прийняття рішення в умовах стохастичної невизначеності. *Інфраструктура ринку*. 2021. № 55. С. 199–202. URL: http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/55_2021/35.pdf (дата звернення: 18.11.2021).
12. Кондрук Н.Е., Маляр М.М. Багатокритеріальна оптимізація лінійних систем : навчальний посібник. Ужгород, 2019. 76 с.
13. Дебела І.М. Аналіз методів оцінки формалізованих тенденцій показників економічної динаміки. *Бізнес-навігатор*. 2021. № 2. С. 135–140.

References:

1. Zvyagin L.S. (2015) Matematicheskoe modelirovanie kompleksnykh ekonomicheskikh protsessov [Mathematical modeling of complex economic processes]. Proceedings of the *Economics, management, finance*: IV International scientific conference: (Russia, Permian, April, 2015). Permian: Zebra, pp. 23–29. Retrieved from: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/133/7563/> (accessed 18 November 2021).
2. V.M. Varenko, I.V. Bratus, V.S. Doroshenko, Yu.B. Smolnikov, V.O. Yurchenko (2013) Systemnyy analiz informatsionnykh procesiv [System analysis of information processes]. Kyiv: University «Ukraine». (in Ukrainian)
3. Bondar O.S., Trofimchuk M.I. (2021) Systemnyy pidkhd do upravlinnja pidpryemstvamy na osnovi avtomatyzaciji biznes-procesiv [Systemic approach to management of enterprises based on the automation of business processes]. *Agrosvit*, no. 16, pp. 34–44.
4. Primostka L. (2003) Systemnyy pidkhd ta systemnyy analiz v ekonomichnykh doslidzhennjakh [System analysis and system analysis in economic data]. *Rinok of central papers in Ukraine*, no. 9-10, pp. 19–23.
5. Spilnik I.V., Yaroshchuk O.V. (2018) Prynstyp systemnosti v analitichnykh doslidzhennjakh [The principle of consistency in analytical dosages]. *Economic analysis*, vol. 28, no. 2, pp. 182–190.
6. V.A. Pavlish, L.K. Glinenko, N.B. Shakhovska (2018) Osnovy informatsiinykh tekhnologii i system [Basics of information technologies and systems]. Lviv: Lviv Polytechnic. (in Ukrainian)
7. Anisimov A.V., Kulyabko P.P. (2017) Informatsiini systemy ta bazy danykh [Information systems and databases]. Kyiv: KNU im. T. Shevchenko. (in Ukrainian)
8. Galich O.A., Kopishinska O.P., Utkin Yu.V. (2016) Upravlinnia informatsiinyh zviazkamy ta biznes-protsesamy [Management of information links and business processes]. Kharkiv: Finart. (in Ukrainian)
9. Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya. (1979) Metody resheniya nekorrektnykh zadach [Methods for solving ill-posed problems]. Moscow: Science. (in Russian)
10. Ayvazyan A. (1977) Mnogomerniy statisticheskiy analiz v sotsial'no-ekonomicheskikh issledovaniyakh [Multivariate statistical analysis in socio-economic research]. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 5, pp. 968–983. Retrieved from: http://www.cemi.rssi.ru/emm/files/1977-05-Aivazian_SA.pdf (accessed 18 November 2021).
11. Debela I.M. (2021) Formalizovanyi alhorytm optymizatsii protsesu pryiniattia rishennia v umovakh stokhastychnoi nevyznachenosti [A formalized algorithm for optimizing the decision-making process in conditions of stochastic uncertainty]. *Market infrastructure*, no. 55, pp. 199–202. Retrieved from: http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/55_2021/35.pdf (accessed 18 November 2021).
12. Kondruk N.E., Painter M.M. (2019) Bahatokryterialna optymizatsiia liniinykh system [Multicriteria optimization of linear systems]. Uzhhorod. (in Ukrainian)
13. Debela I.M. (2021) Analiz metodiv otsinky formalizovanykh tendentsii pokaznykiv ekonomichnoi dynamiky [Analysis of methods for assessing formalized trends in economic dynamics]. *Business navigator*, no. 2, pp. 135–140.