

УДК 519.857.4

DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.16.36>**Дебела І.М.**кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
Херсонський державний аграрно-економічний університет  
(м. Херсон / м. Кропивницький)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7990-4202>**Debela Iryna**Kherson State Agrarian and Economic University  
(Kherson / Kropyvnytskyi)**РЕКУРЕНТНИЙ АЛГОРИТМ СТРАТЕГІЧНОГО КОНТРОЛІНГУ****RECURRENT ALGORITHM OF STRATEGIC CONTROLLING**

Рекурентне управління застосовується для моделювання прогнозного стану системи в стратегічній перспективі. Обов'язковою вимогою до рекурентної моделі є збереження зв'язків між періодами управління з врахуванням інформації про попередні стани системи. Це дозволяє оптимізувати процес прийняття управлінських рішень в режимі реально-го часу, що є особливо важливим для систем зі складною динамікою. Оптимальна стратегія управління розглядається як реалізація альтернатив на множині станів системи з прогнозованою динамікою. Множина станів системи, імовірнісні оцінки станів, специфікація функції критерію, кількісна оцінка альтернатив є результатом попереднього аналізу системи управління, її економічних показників та статистичних характеристик. Доцільним для моделей задач стратегічного контролінгу є об'єднання алгоритму рекурентного управління з принципом декомпозиції, що значно спрощує математичний апарат. Рекурентне управління є ефективним підходом для управління системами зі складною динамікою, що дозволяє отримувати адекватні дійсності прогнози майбутнього.

**Ключові слова:** стан системи, динаміка, рекурентне управління, стратегічний контролінг, оптимізація, критерій.

Recurrent control is a process of using recurrent models to forecast and analyze the behavior of a system in dynamics and make control decisions based on these predictions. It relies on maintaining connections between periods, which are time intervals of control that consider information about the previous states of the system. The specificity of strategic control models lies in step-by-step optimization. The steps are partial intervals of the predicted decision-making period. In other words, the recurrent control algorithm is, by its nature, optimal, in that the optimal decision of the previous control period is taken as input data for the next period. Strategic control over the predicted period is obtained as a result of the final stage of modeling. The goal is to study the algorithm of strategic control as a problem of sequential decision-making. The modeled object is presented as a complex system, each state of which is a realization of a random variable. The states of the system are considered as separate realizations of stochastic estimates of situational decisions. The initial probability distribution is not the object of optimization modeling. The probability distribution function of alternatives for possible states is modeled. For each state of the system at the beginning of the modeling period, a set of alternatives is determined, which formally is a vector of system parameters, the components of which are determined by both the internal nature of the control object and the external environment. Each alternative can be described by a quantitative value, the price of the alternative. The criterion of the expected value can be defined as the extreme value of the utility function. The optimal control strategy is considered as the realization of alternatives in the set of system states with predicted dynamics. The estimation of the system state components, the specification of the criterion function, and the quantitative estimation of alternatives are the result of the previous analysis of the management system, its economic indicators, and statistical characteristics. The recurrent control algorithm can be applied in the system of strategic control over the behavior of the control object, which makes it a valuable tool in decision-making.

**Key words:** system state, dynamics, recurrent management, strategic controlling, optimization, criterion.

**Постановка проблеми.** В умовах не стабільного економічного середовища зростають вимоги до якості управлінських рішень, інструментів та методів управління, що дозволяють адаптувати підприємство до змін зовнішнього середовища. Зміщення акцентів управління з контролю поточної ситуації до аналізу і прогнозування спонукає пошук та впровадження нових концепцій управління підприємством. Контролінг, як концепція управління, виступає одним із ключових факторів забезпечення конкурентоспроможності, дозволяє вирішувати в комплексі питання стабільного функціонування бізнесу в довгостроковій перспективі, оптимізує наявні резерви, дозволяє ефективно впроваджувати інновації, сприяє розробці варіативних планів розвитку підприємства, з метою досягнення стратегічних цілей.

Модель контролінгу розробляється для кожного окремого підприємства, залежно від сфери його економічної діяльності, специфіки організації, фінансових можливостей. Стратегічне рішення, як результат прогнозного моделювання станів системи управління, визначає напрямок руху підприємства до мети його існування та формує множину альтернатив оперативного контролінгу. Якість впровадження системи стратегічного контролінгу залежить, насамперед, від можливостей моделювання станів системи управління – формалізованого опису ситуацій майбутнього, що стимулює пошук нових методів та інструментів розв'язку та аналізу рішень, що забезпечать довгострокове існування та розвиток об'єкта управління, в досягненні стратегічних цілей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Початковим завданням стратегічного контролінгу є визначення черговості та взаємозв'язків між окремими задачами – структури управління [1–3]. Наступними задачами буде вибір траєкторії досягнення поставленої мети, моніторинг можливих змін параметрів в межах однієї задачі та оцінка впливу варіації параметрів на реалізацію стратегічних цілей управління. Завдання стратегічного планування – включення до ланцюжка взаємозв'язків усіх задач управління, що в комплексі забезпечують реалізацію оптимального економічного рішення [4]. Для побудови моделей задач стратегічного контролінгу доцільно використовувати методологію системного аналізу, що дозволяє описати структурний зв'язок між елементами управління, сформулювати комплексні критерії ефективності прийняття рішення [5]. Вибір методів моделювання та специфікація моделі залежить по-перше – від достатності та структурованості вхідних даних формалізованих моделей альтернатив; по-друге від якості обраних критеріальних оцінок [6; 7]. Адекватність рішення значною мірою залежить від міри формалізації параметрів моделі та врахування неконтрольованих впливів зовнішнього середовища, що в стратегічному моделюванні станів системи управління проявляється як структурна та параметрична невизначеність [8]. Крім того, з теорії управління відомо: рішення є допустимим, адекватним і надійним, якщо воно приймається в результаті критеріальної оцінки множини альтернатив [9; 10]. Враховуючи, що задачі стратегічного контролінгу досліджують розвиток системи в часі, їх можна класифікувати як задачі динамічного програмування. Динамічне програмування визначає оптимальне рішення  $n$ -вимірної задачі шляхом її розбиття – декомпозиції на  $n$  етапів [11]. Метод розв'язку задачі на кожному кроці залежить від специфікації моделі, тому обчислювальні процедури оптимізаційних задач на кожному етапі формуються та реалізуються окремо, що в принципі не виключає застосування єдиного алгоритму для всіх етапів. Розглянемо, реалізацію стратегічного управління як задачу послідовного прийняття рішення.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є математичний алгоритм задачі послідовного прийняття рішення.

**Виклад основного матеріалу.** Основна відмінність задач стратегічного контролінгу – поведінка системи має бути оптимізована за комплексним критерієм  $F = \{F_j\}$  протягом прогнозованого періоду  $T \in [t_0; t_m]$ , в кожному часовому інтервалі  $[t_{j-1}; t_j]$ , а не лише досягнення оптимального результату в кінці періоду  $T$ . Тобто, алгоритм управління рекурентний за своєю природою, у тому сенсі, що оптимальне рішення

періоду  $[t_{j-1}; t_j]$  використовується в якості вхідних даних для наступного  $[t_j; t_{j+1}]$ . На останньому кроці  $[t_{m-1}; t_m]$  отримуємо оптимальний розв'язок початкової задачі – стратегічне управління протягом періоду  $T$ . Для спрощення запису позначимо часткові інтервали  $[t_j; t_{j+1}]$  як моменти часу  $t_j$  ( $t_j \equiv [t_j; t_{j+1}] \in T, j = 0 \div m$ ).

Розглянемо модельований об'єкт як складну систему, що може перебувати в одному з можливих станів протягом прогнозованого періоду  $T$  прийняття рішення

$$S = (S_0, S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_n), \quad i = 0 \div n. \quad (1)$$

Станами системи будемо вважати зміни параметрів моделі пов'язані зі зміною зовнішніх до системи управління факторів – «станів природи» [12]. Для кожного стану системи на початок періоду  $t_0$  визначена множина альтернатив  $X = \{X_k\}, (k = 1 \div l)$ , що формально є вектором параметрів системи, компоненти якого визначаються як внутрішньою природою об'єкта управління, так і зовнішнім середовищем. Кожну альтернативу можна описати кількісною величиною  $K(X_k)$  – частковими критеріями очікуваного значення (ціною альтернативи). Критерій очікуваного значення можна визначити як максимум очікуваного середнього прибутку, або мінімум очікуваних середніх витрат, фактично, як екстремальне значення функції корисності. У традиційній постановці задачі оптимізації екстремальне значення функції корисності є оптимальним рішенням. Визначивши для окремої реалізації стану природи  $S_i$  деяке управління  $\tilde{X}$  із множини альтернатив  $X = \{X_k\}, (k = 1 \div l)$ , для якого ціна реалізації буде оптимальною, отримаємо задачу алгоритмізації прийняття рішення для різних сценаріїв поведінки системи на множині станів природи. На початок дослідження стан системи  $S_0$  має бути параметрично визначений і стаціонарний, що дозволить кількісно оцінити критерій ефективності функціонування системи  $F = F\{S_0, \tilde{X}_k, t, K(X_k)\}$ . Для таких початкових умов, задача оптимізації може бути сформульована наступним чином: треба визначити оптимальне управління  $\tilde{X}_k$ , при якому критерій ефективності приймає екстремальне значення

$$\begin{cases} G_g(S_0, \tilde{X}_k, t) \{ \leq \} 0, g = 1 \div s \\ F\{S_0, \tilde{X}_k, t, K(X_k)\} \rightarrow exstr. \end{cases}, \quad (2)$$

$G_g$  – оператор формалізованого опису структури моделі.

Стани системи розглядаються як окремі реалізації випадкової величини, або як вектор апріорних імовірностей, обчислений на основі експертних оцінок, або попередньо модельованих стохастичних оцінок ситуативних рішень. Фактично, початковий розподіл імовірностей не є об'єктом оптимізаційного моделювання [13]. Моделюється функція розподілу імовірності альтернатив  $f(X_k)$  для можливих станів  $S_i$ .

Якщо в результаті попередніх статистичних досліджень визначено вектор імовірності  $p\{S_i\} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , то ціну альтернативи для кожного стану можна визначити як добуток векторів

$$K\left(\frac{X_k}{S_i}\right) = [p\{S_i\}^T \cdot K\{X_k\}] \quad (3)$$

Аналітична форма (3) оцінки альтернатив допустима, якщо множина альтернатив визначена однозначно і система стаціонарна. У динамічних системах множина альтернатив варіює  $S_i = f(t_j)$ , що ускладнює визначення компонент вектора  $\{p_i\} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . Зміна структури, складу та кількості параметрів моделі часі, для таких систем, вимагає коригування алгоритму прийняття рішення протягом періоду управління  $T$ . Слід зазначити, що ціна альтернативи залежить не лише від параметрів системи на момент  $t_j$  але і від оптимального управління  $\tilde{X}_{k-1}$  за попередній період  $t_{j-1}$  динамічних. Тому, відповідно до принципу оптимальності, управління  $\tilde{X}_k$  на кожному етапі  $t_j$  треба вибирати так, щоб ціна альтернативи, що є числовою оцінкою функції критерію була рекурентною в часі

$$\begin{aligned}
 F_{t_j} (S_0, \widetilde{X}_k, K(X_k)) &= \underset{X_k}{\text{extr}} \left\{ F_{t_{j-1}} (S_i, \widetilde{X}_k, K(X_k)) + F_{t_j} (S_i, \widetilde{X}_k, K(X_k)) \right\} \rightarrow \\
 &\rightarrow K_{t_j} \left( \frac{X_k}{S_i} \right) = \underset{X_k}{\text{extr}} \left\{ K_{t_{j-1}} \left( \frac{X_k}{S_i} \right) + K_{t_j} \left( \frac{X_k}{S_i} \right) \right\}. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Алгоритм моделі рекурентного управління можна представити як виконання наступних кроків:

- 1) аналіз початкового стану системи управління  $S_0$ ;
- 2) вибір часового інтервалу дослідження  $T \in [t_0; t_m]$ ;
- 3) виділення часових інтервалів  $t_j$  в межах періоду управління  $[t_0; t_m]$ ;
- 4) формалізація множини альтернатив  $X = \{X_k\}$  (оцінка параметрів, вибір специфікації моделі структури зв'язків  $G_g$ );
- 5) визначення критеріїв оптимальності  $F(S_0, \widetilde{X}_k)$ , погоджених з метою управління;
- 6) оцінка компонент вектора імовірності станів системи  $p\{S_i\} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ;
- 7) формалізація критеріїв очікуваного значення  $K\left(\frac{X_k}{S_i}\right)$ ;
- 8) рекурентні обчислення, критеріальна оцінка альтернатив  $\tilde{X} = \{\tilde{X}_k\}$ ;
- 9) окреслення траєкторії стратегічного управління на період  $T$ .

**Висновки.** Рекурентне управління – це процес використання рекурентних моделей для прогнозування та аналізу поведінки системи в динаміці та прийняття управлінських рішень на основі цих прогнозів. Ґрунтується на збереженні зв'язків між періодами – часовими проміжками управління з врахуванням інформації про попередні стани системи. Оптимальна стратегія управління розглядається як реалізація альтернатив на множину станів системи з прогнозованою динамікою. Множина станів системи, імовірнісні оцінки  $p\{S_i\}$ , специфікація функції критерію, кількісна оцінка альтернатив є результатом попереднього аналізу системи управління, її економічних показників та статистичних характеристик. Алгоритм рекурентного управління може застосовуватися в системі стратегічного контролінгу для розробки моделей комплексного прогнозу динаміки.

### Список використаних джерел:

1. Бондар О.С., Трофимчук М.І. Системний підхід до управління підприємствами на основі автоматизації бізнес-процесів. *Агроевіт*. 2021. № 16. С. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.16.34>
2. Примостка Л. Системний підхід та системний аналіз в економічних дослідженнях. *Ринок цінних паперів в Україні*. 2003. № 9-10. С. 19-23. URL: <http://www.securities.usmdi.org/PDF/135.pdf> (дата звернення: 06.05.2023).
3. Спільник І.В., Ярощук О.В. Принцип системності в аналітичних дослідженнях. *Економічний аналіз*. 2018. Том 28. № 2. С. 182–190. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecan\\_2018\\_28%282%29\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecan_2018_28%282%29_25) (дата звернення: 06.05.2023).
4. Пазушан А.В., Черкас В.В. Інвестиційний контролінг як індикатор стабільності системи антикризової політики підприємства та України у цілому. *Економічний простір*. 2020. № 161. С. 78–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/161-14>
5. Верченко П.І. Багатокритеріальність і динаміка економічного ризику (моделі та методи) : монографія. Київ : КНЕУ, 2006. 272 с.
6. Кондрук Н.Е., Маляр М.М. Багатокритеріальна оптимізація лінійних систем : навчальний посібник. Ужгород : РА Аутодор-Шарк, 2019. 76 с.
7. Геселева Н.В., Заріцька Н.М. Емерджентні властивості системи. *Бізнесінформ*. 2013. № 7. С. 93–97. URL: [https://business-inform.net/export\\_pdf/business-inform-2013-7\\_0-pages-93\\_97.pdf](https://business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-7_0-pages-93_97.pdf) (дата звернення: 06.05.2023).
8. Дебела І.М. Класифікація станів системи за вектором параметрів. *Таврійський науковий вісник. Серія : Економіка*. 2022. № 11. С. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.16>
9. Грузіна І.А. та ін. Теорія управління : навчальний посібник. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. 138 с. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/27798/1/2021> (дата звернення: 06.05.2023).

10. Ковриго Ю.М. та ін. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 155 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23117> (дата звернення: 06.05.2023).

11. Дивак М.П., Порплиця Н.П., Дивак Т.М. Ідентифікація дискретних моделей динамічних систем з інтервальними даними: монографія. Тернопіль: ВПЦ Економічна думка ТНЕУ, 2018. 220 с. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/30569> (дата звернення: 06.05.2023).

12. Debela I.M. Research of optimization management models in conditions of uncertainty and risks. *Global aspets of national economy development in the conditions of transformational changes*. Lviv-Toruń : Liha-Pres, 2021. С. 115–127. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/139> (дата звернення: 06.05.2023).

13. Дебела І.М. Байсовський метод оцінки альтернативних рішень. *Таврійський науковий вісник. Серія : Економіка*. 2021. № 8. С. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.8.11>

### References:

1. Bondar O.S., Trofymchuk M.I. (2021) Systemnyi pidkhid do upravlinnia pidpriemstvamy na osnovi avtomatyatsii biznes-protseviv [A systematic approach to enterprise management based on the automation of business processes]. *Agroworld*, no. 16, pp. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.16.34/>

2. Primostka L. (2003) Systemnyi pidkhid ta systemnyi analiz v ekonomichnykh doslidzhenniakh [System approach and system analysis in economic research]. *Securities market in Ukraine*, no. 9-10, pp. 19–23. Available at: <http://www.securities.usmdi.org/PDF/135.pdf> (accessed 06 May 2023).

3. Spilnyk I.V., Yaroshuk O.V. (2018) Pryntsyp systemnosti v analitychnykh doslidzhenniakh [The principle of systematicity in analytical research]. *Economic analysis*, vol. 28, no. 2, pp. 182–190. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecan\\_2018\\_28%282%29\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecan_2018_28%282%29_25) (accessed 06 May 2023).

4. Pazushchan A.V., Cherkas V.V. (2020) Investytsiyni kontrolinh yak indyikator stabilnosti systemy antykryzovoi polityky pidpriemstva ta Ukrainy u tsilom [Investment controlling as an indicator of the stability of the anti-crisis policy system of the enterprise and Ukraine as a whole]. *Economic space*, no. 161, pp. 78–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/161-14>

5. Verchenko P.I. (2006) Bahatokryterialnist i dynamika ekonomichnoho ryzyku (modeli ta metody) [Multicriteria and dynamics of economic risk (models and methods)]: monography. Kyiv: KNEU.

6. Kondruk N.E., Malyar M.M. (2019) Bahatokryterialna optymizatsiia liniinykh system [Multi-criteria optimization of linear systems]: training manual. Uzhhorod: RA Autodor-Shark.

7. Geseleva N.V., Zaritska N.M. (2013) Emerdzhentni vlastyvoli systemy [Emergent properties of the system]. *Business information*, no. 7, pp. 93–97. Available at: [https://business-inform.net/export\\_pdf/business-inform-2013-7\\_0-pages-93\\_97.pdf](https://business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-7_0-pages-93_97.pdf) (accessed 06 May 2023).

8. Debela I.M. (2022) Klyasyfikatsiia staniv systemy za vektorom parametriv [Classification of system states by parameter vector]. *Tavriyskyi naukovyi vistnyk Series: Economy*, no. 10 pp. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.16>

9. Gruzina I.A., Kinas I.O., Pererva I.M., Serikov D.O., Nechiporuk O.V. (2021) *Teoriia upravlinnia* [Management theory]: training manual. Kharkiv: KHNEU named after S. Kuznetsa. Available at: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/27798/1/2021> (accessed 06 May 2023).

10. Kovrygo Yu.M., Stepanets O.V., Bagan T.G., Bunke O.S. (2018) Suchasna teoriia upravlinnia. Chastyna 2. Prykladni aspekty suchasnoi teorii upravlinnia [Modern management theory. Part 2. Applied aspects of modern management theory]: textbook. Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23117> (accessed 06 May 2023).

11. Dyvak M.P., Porplitsia N.P., Dyvak T.M. (2018) Identyfikatsiia dyskretnykh modelei dynamichnykh system z intervalnymi danyymi [Identification of discrete models of dynamic systems with interval data]: monography. Ternopil: VOC Economic Opinion TNEU. Available at: <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/30569> (accessed 06 May 2023).

12. Debela I.M. (2021) Research of optimization management models in conditions of uncertainty and risks. *Global aspets of national economy development in the conditions of transformational changes*. Lviv-Toruń: Liha-Pres, pp. 115–127. Available at: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/139> (accessed 06 May 2023).

13. Debela I.M. (2021) Baiiesovskyi metod otsinky alternatyvnykh rishen [Bayesian method of evaluation of alternative solutions]. *Tavriyskyi naukovyi vistnyk Series: Economy*, no. 8, pp. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.8.11>