

Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент,

В. А. Прокопенко, студент

e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

В статті розглядається питання оцінювання ефективності технологічного комплексу неперервного типу. У новій концепції управління складними організаційно-технологічними об'єктами, до яких відносяться технологічні комплекси неперервного типу в різних галузях промисловості, доцільним є застосування комплексного поєднання різних методів. Проаналізувавши характер і розглянувши особливості технологічних комплексів неперервного типу, автори запропонували комплексний підхід до оцінювання ефективності технологічних комплексів неперервного типу, що базується на комбінованому використанні статистичних методів та когнітивного моделювання.

Ключові слова: технологічний комплекс неперервного типу, оцінювання ефективності, кореляційний та регресійний аналіз, когнітивна модель.

Вступ. Тенденція сучасного розвитку організаційно-технологічних об'єктів спрямована на підвищення ефективності за рахунок забезпечення подвійного управління в поточній та стратегічній діяльності [1]. Нові методи та моделі повинні надати можливості для адаптації стратегій розвитку організаційно-технологічних об'єктів до стратегій зовнішнього оточення шляхом впливу на зовнішнє оточення та прискорення внутрішньої динаміки, а також пошуків ефективних рішень стратегічних завдань з метою підвищення ефективності організаційно-технологічних об'єктів, зокрема технологічних комплексів (ТК) неперервного типу в різних галузях промисловості [2].

Ефективність ТК неперервного типу формується в процесі комплексної взаємодії організаційних та технологічних процесів. До того ж зовнішнє середовище характеризується значним ступенем невизначеності, пов'язаним з нестабільністю сучасної економіки, політичної обстановки, зовнішньої політики та інших факторів, та впливає на ефективність ТК. Взаємодія із зовнішнім середовищем визначається простором показників. Множини показників, що складають цей простір, мають значні потужності. Вони формують функції цілей ефективності ТК неперервного типу що можуть бути траєкторними, робочими і ситуаційними. Характер зміни цих показників часто непередбачений. При цьому, основними

задачами управління ТК неперервного типу є оцінювання і діагностика поточного стану, визначення раціональних траєкторій його функціонування. Тому оцінювання ефективності ТК неперервного типу можна об'єктивно здійснити не через один, навіть найважливіший, показник, а тільки за допомогою комплексу, системи показників, що детально й усебічно характеризують ефективність ТК неперервного типу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Підвищення ефективності ТК неперервного типу, вибір та підтримка оптимальних співвідношень технологічних параметрів в залежності від ситуації з використанням об'єктивної інформації, що надходить та оброблюється в темпі протікання процесів, можливо тільки з використанням сучасних інформаційних систем. Дослідженню ТК неперервного типу в класі організаційно-технологічних систем присвячені роботи вітчизняних вчених Ладанюка А. П. [3], Дубового В. М. [4], Грабовського Г. Г., Богаєнко І. М., Архангельського В. І. [5], а також зарубіжних вчених А. Chochowski [6], О. Klim [7].

Так, в роботі [3] розглядається використання методу ситуаційного управління, що заснований на ідеях теорії штучного інтелекту. Суть даного методу полягає в представленні знань про об'єкт управління та способах управління ним з використанням логіколінгвістичних моделей, нечіткої логіки, про-

цедур навчання та узагальнення при генерації управлінських рішень згідно поточних ситуацій для побудови багатокрокових рішень. В теорії нечіткої логіки терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції належності:

$$\sigma(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \quad (1)$$

де A – нечітка множина,

$\mu_A(x)$ – функція належності x до A .

Крім того, в [3] для рішення задачі оцінювання стану ТК неперервного типу використовується еталонна модель:

$$x_{mi} = A_{mi}x_{mi}(t) + B_{mi}r_i(t), \quad y_{mi} = L_i x_{mi} \quad (2)$$

де $r_i(t)$ – вектори завдання, елементами яких є частково-неперервні обмежені функції, A_{mi} , B_{mi} – гурвіцеві матриці, $L_i = [1, 0, \dots, 0]$.

Цільовою умовою для даної системи буде вираз:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x_i(t) - x_{mi}(t)) = 0 \quad (3)$$

Отримання найбільш ефективного управління ТК неперервного типу можливе шляхом зміни матеріальних та технологічних режимів. Тому оцінювання ефективності функціонування ТК неперервного типу є важливим аспектом оперативного управління.

Метою даної статті є обґрунтування та дослідження комплексного підходу до оцінювання ефективності технологічних комплексів неперервного типу в галузях харчової, хімічної та ін. промисловостей, що забезпечить можливість визначення подальших перспектив та прийняття відповідних управлінських рішень.

Викладення основного матеріалу дослідження. Ефективність ТК неперервного типу, зокрема в галузях цукрової та хімічної промисловості, залежить від наступних основних факторів: якості сировини, тривалості виробничого сезону, концентрації виробництва, територіального розміщення підприємств. Для технологічних комплексів неперервного типу характерні такі властивості як: наявність підсистем, що пов'язані між собою складними структурними та функціональними відношеннями; наявність ієрархічної структури, що обумовлена існуванням глобальної цілі та локальних цілей підсистем; необхідність адаптації до зміни внутрішніх умов функціонування та зовнішнього середовища; велика розмірність задачі управління. Тому, функціонування ТК неперервного типу відрізняється наступними особливостями: сезонність výro-

бництва або збуту продукції, залежність від сировини, залежність від енергоносіїв, необхідність забезпечення мінімальних втрат цільового продукту при жорстких обмеженнях ресурсів, нестаціонарність процесів [8].

Технологічний процес ТК неперервного типу контролюється сотнями параметрів та показників, що впливають на ефективність. Параметри технологічних процесів представляють елементарні оцінки, що можуть бути виміряні за допомогою будь-яких фізичних приладів або оцінені експертами. Таким чином, процедура оцінювання ефективності ТК неперервного типу забезпечує представлення впливу параметрів технологічного процесу на відповідні показники ефективності, на основі яких робимо висновок про поточний стан ТК та майбутні перспективи.

Щоб визначити найбільш вагомий параметри технологічних процесів, що впливають на показники ефективності, застосуємо методи кореляційного аналізу та регресійного аналізу [9], що забезпечать можливість кількісно оцінити взаємозв'язок між величинами в умовах, коли вплив багатьох факторів невідомий.

Визначимо зв'язок між показниками ефективності $p_j, j = 1, \dots, k$ ТК неперервного типу та параметрами технологічного процесу $v_i, i = 1, \dots, m$, що на них впливають, тобто визначимо ступінь впливу аргументів на функцію:

$$P = f(v_1, v_2, \dots, v_n) \quad (4)$$

Для того, щоб здійснити оцінювання ефективності ТК неперервного типу побудуємо багатфакторне регресійне рівняння, що має степеневу форму зв'язку [10]:

$$P = A_0 v_1^{a_1} \cdot v_2^{a_2} \cdot \dots \cdot v_n^{a_n}, \quad (5)$$

де A_0 – постійний коефіцієнт рівняння регресії;

a_i – коефіцієнт регресії, що відображає ступінь впливу аргументів на функцію;

P – функція, що відповідає показнику ефективності ТК неперервного типу;

v_i – аргумент, що відповідає параметру технологічного процесу.

Для знаходження параметрів степеневі функції (постійного коефіцієнта A_0 та показників степеня при аргументах a_i) приведемо рівняння (5) до лінійного виду:

$$\ln P = \ln A_0 + a_1 \ln v_1 + a_2 \ln v_2 + \dots + a_n \ln v_n \quad (6)$$

Виконаємо заміну:

$$\ln P = z \quad (7)$$

$$\ln A_0 = a_0$$

$$\ln v_1 = u_1$$

$$\ln v_2 = u_2$$

.....

$$\ln v_n = u_n$$

Тоді рівняння множинної регресії (5) має вигляд:

$$z = a_0 + a_1 u_1 + a_2 u_2 + \dots + a_n u_n \quad (8)$$

Логарифми чисельних значень всіх відібраних показників підлягають кореляційному аналізу з обчисленням наступних параметрів:

1. Визначаються середні значення функцій та факторів-аргументів:

$$\bar{z} = \frac{\sum z}{N}; \quad \bar{u}_i = \frac{\sum u_i}{N} \quad (9)$$

2. Середньоквадратичні відхилення:

$$\sigma_{u_i} = \sqrt{\frac{\sum (u_i - \bar{u}_i)^2}{N}} \quad (10)$$

3. Визначення парних коефіцієнтів кореляції між кожною функцією та кожним фактором-аргументом, та між самими факторами-аргументами здійснюється за формулою:

$$r_{zu_i} = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij} - \bar{u}_i)(z_j - \bar{z})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (u_{ij} - \bar{u}_i)^2 \sum_{j=1}^N (z_j - \bar{z})^2}} \quad (11)$$

4. Розрахунок середньоквадратичної помилки коефіцієнта кореляції (σ^2) та надійності коефіцієнтів парної кореляції (μ) здійснюємо відповідно за формулами:

$$\sigma^2 = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}; \quad (12)$$

$$\mu = \frac{|r| \sqrt{N}}{1 - r^2} \quad (13)$$

Якщо коефіцієнт надійності $\mu \geq 2,6$, то зв'язок між ознаками можна вважати надійним.

5. Визначення коефіцієнтів множинної регресії здійснюємо за формулою Крамера:

$$a'_i = -\frac{\sigma_z}{\sigma_{u_i}} - \frac{\Delta z u_i}{\Delta z z} \quad (14)$$

логарифм вільного члена рівняння регресії за формулою:

$$\ln A_0 = z - a'_1 \ln u_1 - a'_2 \ln u_2 - \dots - a'_n \ln u_n \quad (15)$$

6. Після знаходження всіх параметрів рівняння регресії здійснюємо перехід до формули (5).

З метою оцінки повноти впливу на функцію відібраних найбільш суттєвих факторів-аргументів розраховуємо множинний коефіцієнт кореляції (R) між функцією (z) та відібраними факторами аргументами:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\Delta}{\Delta z z}} \quad (16)$$

Δ – визначник, побудований на основі парних коефіцієнтів кореляції.

Отримане значення R має бути наближене до 1, тобто $R \approx 1$. Тоді можна зробити висновок, що в отриману залежність включені найбільш вагомі фактори-аргументи.

Оцінювання ефективності ТК неперервного типу розглядається на прикладі ТК цукрового заводу. Запропонований підхід може бути застосований і для інших галузей промисловості з наявними ТК неперервного типу: хімічної, нафтопереробної та ін.

Побудова регресійного рівняння, що визначає встановлення зв'язку між параметрами технологічного процесу та показниками ефективності для ТК цукрового заводу, здійснюється на основі статистичної інформації, що отримана за декаду та від початку виробництва. Згідно (5) – (15) складено наступні рівняння множинної регресії:

$$p_1 = 58,7 v_1^{0,88} \cdot v_2^{0,37} \cdot v_3^{-0,16} \cdot v_4^{0,02} \cdot v_5^{0,57} \quad (17)$$

$$p_2 = 87,3 v_1^{0,74} \cdot v_2^{0,35} \cdot v_3^{-0,409} \cdot v_4^{-0,416} \cdot v_5^{0,44}$$

$$p_3 = 1,78 v_1^{0,82} \cdot v_2^{0,68} \cdot v_3^{-0,3} \cdot v_4^{-0,383} \cdot v_5^{0,789}$$

де

p_1 – кількість виробленої продукції, т;

p_2 – коефіцієнт виробництва;

p_3 – тривалість виробництва;

v_1 – кількість переробленої сировини, т;

v_2 – продуктивність, т;

v_3 – вихід готової продукції, %;

v_4 – витрати, %;

v_5 – втрати у виробництві.

Коефіцієнти кореляції множинної регресії для залежностей (17) складають відпо-

відно 0,907; 0,976; 0,854, а коефіцієнти надійності – 25,97; 6,16 та 2,74. Отримані значення вказують, що існує зв'язок між показниками ефективності (кількість виробленої продукції, коефіцієнт виробництва, тривалість виробництва) та параметрами технологічного процесу, що їх визначають.

Побудова регресійних рівнянь (17) дає можливість встановити існування зв'язку між визначеними параметрами технологічного процесу та показниками ефективності. Для визначення, як саме параметри технологічного процесу впливають на показники ефективності застосовується когнітивне моделювання [11].

На основі рівняння (17) для показника ефективності p_1 будують когнітивну карту, за допомогою якої визначаємо вплив параметрів технологічного процесу один на одного та на показник ефективності (рис. 1).

Вершини (концепти) когнітивної карти відповідають показнику ефективності та параметрам технологічного процесу, дуги відповідають впливам параметрів технологічного процесу на показник ефективності, а також впливам один на одного. Причому дуга позначається вагою. Ваги характеризують силу впливу концептів. В даному випадку для того, щоб характеризувати силу впливу між вузлами-концептами вводяться ваги $w_{ij} \in W$, які характеризують ступінь впливу одного концепту на інший за допомогою значення лінгвістичної шкали типу: *дуже малий, малий, середній, великий, дуже великий*, що задається експертом.

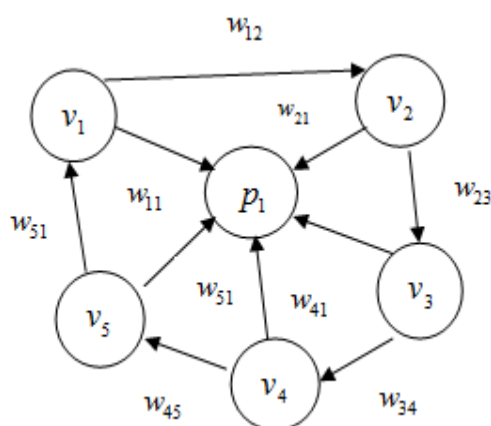


Рис. 1. Когнітивна карта впливу параметрів технологічного процесу на показник ефективності

Параметри технологічного процесу ТК неперервного типу, що характеризують різні складові функціонування підприємства, призводять до зміни кожного з показників ефективності та змінюють ефективність ТК в цілому, а також впливають на стратегічні рішення. Однак зміни цих параметрів позначаються на фінансових показниках через певний проміжок часу, що не дозволяє оперативно реагувати на зміну ситуації на підприємстві. Тому застосування комплексної оцінки ефективності забезпечує зв'язок між поточним станом ТК неперервного типу та розробленими стратегіями. Це дає можливість для прийняття необхідних управлінських рішень у режимі “реального часу”, що дозволяє скоротити можливі витрати.

Висновки. Запропонований комплексний підхід до оцінювання ефективності ТК неперервного типу ґрунтується на комбінованому використанні статистичних методів, зокрема кореляційного та регресійного аналізу, та когнітивного моделювання. Побудова регресійних рівнянь дає можливість визначити які саме параметри технологічного процесу безпосередньо впливають на показники ефективності, а когнітивне моделювання дає можливість дослідження характеру впливу. В даній статті досліджено викладений комплексний підхід для умов ТК цукрового заводу, що дало можливість розробити програмний комплекс для застосування в інтелектуальних системах управління технологічними комплексами неперервного типу, в тому числі на підприємствах, корпораціях цукрової промисловості. Результатом застосування даного комплексного підходу є підвищення ефективності оперативного управління ТК неперервного типу за рахунок зниження виробничих витрат та технологічної витрати ресурсів, зокрема енергоносіїв.

Список літератури

1. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: монографія. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2015. 224 с.
2. Прокопенко Т. А., Ладанюк А. П. Информационная модель управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе организационно-технических систем. *Международный научно-технический журнал*

нал «Проблеми управління і інформатики». 2014. № 5. С. 64–70.

3. Ладанюк А. П., Шумигай Д. А., Бойко Р. О. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа. *Проблеми управління і інформатики*. 2013. № 4. С. 117–122.
4. Дубовой В. М., Дерман Г. Ю., Пилипенко І. В., Байас М. М. Прийняття рішень в управлінні розгалуженими технологічними процесами: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2013. 223 с.
5. Архангельский В. И., Богаенко И. В., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. Интегрированное управление производством: организационные и технологические аспекты менеджмента предприятиями. К.: Техніка, 2005. 328 с.
6. Chochowski A., Chernyshenko I., Kozyrskiy V., Kyshenko V. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control. K.: Tsentr Uchbovovii Literatyr, 2014. 240 p.
7. Klim O. V. Devices and method of quality control at the companies in fuel and energy sector, petrochemical and food industries. St. Petersburg: National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2013. 81 p.
8. Прокопенко Т. О., Прокопенко В. А. Когнітивна модель управління ризиками технологічного комплексу неперервного типу. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 1. С. 39–44.
9. Gorban A. N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A. Y. Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58. Springer, Berlin–Heidelberg – New York. 2007. XXIV. 340 p.
10. Прокопенко Т. О., Куліш В. І. Моделювання оцінювання впливів факторів на показники ефективності організаційно-технологічних об'єктів з врахуванням сезонності виробництва. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 6/6 (26). С. 15–17.
11. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps *International Journal*. Man-Machine Studies, 1986. Vol. 11. P. 65–67.

References

1. Prokopenko, T. O., Ladanyuk, A.P. (2015) Information technology management organizational and technological systems. Cherkasy: Vertical, publisher Kandych S. G., 224 p. [in Ukrainian].
2. Prokopenko, T. O. (2014) Information model of control of the continuous type technological complexes in the class of organizational and technical systems. *Journal of Automation and Information*, 5, pp. 64–70 [in Russian].
3. Ladanyuk, A. P., Shumigay, D. A., Boyko, R. O. (2013) Case coordination of subsystems of technological systems of continuous type. *Problemy upravleniya i informatiki*, 4, pp. 117–122 [in Ukrainian].
4. Dubovoy, V. M., Derman, G. Y., Pilipenko, I. V., Bayas, M. N. (2013) Decision making in managing branched processes: monograph. Vinnytsia: VNTU, 223 p. [in Ukrainian].
5. Arkhangelsk V. I., Bohaenko I. V., Grabowski G. G., Ryumshyn N. A. (2005) Yntehryrovannoe Production Management: Organizational and Technological aspects of enterprise management. K.: Tekhnika, 328 p. [in Russian].
6. Chochowski, A., Chernyshenko, I., Kozyrskiy, V., Kyshenko, V. (2014) Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control. K.: Tsentr Uchbovovii Literatyr, 240 p. [in English].
7. Klim, O. V. (2013) Devices and methods of quality control at the companies in fuel and energy sector, petrochemical and food industries. St. Petersburg: National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 81 p. [in English].
8. Prokopenko, T., Prokopenko, V. (2017) Cognitive models risk management technological complex continuous type. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, №1, pp. 39–44 [in Ukrainian].
9. Gorban, A. N., Kegl, B., Wunsch, D., Zinovyev, A. Y. (Eds.) (2007) Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58. Springer, Berlin–

- lin – Heidelberg. New York, XXIV, 340 p. [in English].
10. Prokopenko, T., Kulish, V. (2015) Modeling of estimation of factors influence on indicators of efficiency of organizational and technological objects taking into account seasonality of production. *Tehnologicheskii audit i rezervy proizvodstva*, 6/6 (26), pp. 15 – 17 [in Ukrainian].
11. Kosko, B. (1986) Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal Man-Machine Studies*, 11, pp. 65–67 [in English].

T. O. Prokopenko, *Dr. Tech.Sc, associate professor,*

V. A. Prokopenko, *student*

e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

COMPREHENSIVE APPROACH TO EVALUATING EFFICIENCY OF CONTINUOUS TYPE TECHNOLOGICAL COMPLEX

The article discusses the main question of evaluating the efficiency of a continuous-type technological complex. In the new concept of management of complex organizational and technological objects, which include technological complexes of continuous type in various industries, it is expedient to use a complex combination of different methods. After analyzing the nature and considering the features of continuous systems of technological complexes, the authors proposed a comprehensive approach to the evaluation of the efficiency of continuous-type technological complexes, based on the combined use of statistical methods and cognitive modeling. The use of these methods makes it possible to quantify the relationship between quantities under conditions when a large number of factors operate, some of which are unknown.

The purpose of this article is to substantiate and study the complex approach to the evaluation of the efficiency of continuous processing complexes in the food, chemical and other industry, which will provide the opportunity to identify future perspectives and make appropriate management decisions.

This approach is recommended for application in the development of automated control systems for technological complexes of continuous type, including at enterprises, corporations of chemical, food, and other industries. Research results can also be applied in decision support systems for sugar industry enterprises.

Keywords: *continuous type technological complex, evaluation of efficiency, correlation and regression analysis, cognitive model.*

Статтю представляє Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент.