

Савчук О. В.,
Ладанюк А. П.

РОЗРОБКА КОГНІТИВНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ МОЛОЧНОГО ЗАВОДУ

В даній статті наведені концептуальні основи когнітивного підходу в задачах управління складними системами. Розглянуто підприємство харчової промисловості в класі складних організаційно-технологічних слабкоструктурованих систем. На основі експертних оцінок, розроблено нечітку когнітивну карту функціонування технологічного комплексу молочного заводу та проведено її структурний аналіз. В результаті досліджень отримані узагальнені статичні характеристики структури нечіткої когнітивної карти.

Ключові слова: нечітка когнітивна карта, структурний аналіз, статичні характеристики, багатоасортиментне молочне виробництво.

1. Вступ

Ефективне функціонування підприємств харчової промисловості в умовах сьогодення об'єктивно потребує перспектив адаптації до постійних змін у зовнішньому конкурентному середовищі, що вимагає використання новітніх підходів. В системі управління повинні вирішуватися задачі гнучкого формування номенклатури та планових показників виробництва на основі дослідження ринків збуту, а також враховуватися ресурсощадні технології для зменшення собівартості продукції.

Сучасні підприємства харчової промисловості є складними об'єктами управління, для яких характерний ряд особливостей: необхідність адаптації до зміни внутрішніх умов функціонування та зовнішнього середовища; наявність підсистем, що пов'язані між собою складними структурними та функціональними залежностями; велика розмірність задачі управління; ієрархічність структури управління; необхідність прийняття рішень в умовах невизначеності.

Наявність у складі складної системи технологічних підсистем дозволяє розглядати підприємство харчової промисловості у класі складних організаційно-технологічних систем (ОТС). Присутність різних видів невизначеностей, в яких функціонує ОТС, визначає необхідність виділення ще одного різновиду ОТС, а саме слабкоструктуровані ОТС, ознаки яких наведені в [1]. При прийнятті рішень в таких системах підходи імітаційного моделювання, орієнтовані на використання кількісних об'єктивних оцінок, і методи традиційної теорії прийняття рішень, що спираються на методи вибору кращої альтернативи з множини чітко сформульованих альтернатив, виявляються недостатніми. Ефективним вирішенням цієї задачі є використання когнітивного моделювання, яке дозволяє структурувати і систематизувати наявну інформацію, визначити сценарії функціонування системи та спрогнозувати динаміку досягнення цілей, а також досліджувати альтернативи рішень і обирати з них оптимальні.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Когнітивний підхід заснований на створенні та дослідженні когнітивних карт ситуацій, які в широкому розумінні представляють собою схематичний, спрощений опис фрагментів функціонування системи, що відноситься до конкретної проблемної ситуації [2]. Основною ціллю когнітивного моделювання є формування та уточнення гіпотези щодо функціонування досліджуваного об'єкту, що розглядається як слабкоструктурована система, яка складається з окремих внутрішніх і зовнішніх елементів, підсистем, що взаємодіють одне з одним, на основі структурної схеми причинно-наслідкових зв'язків [3]. Основним завданням, яке вирішується в рамках когнітивного підходу є завдання прогнозування та завдання вибору альтернативних стратегій управління [4]. Когнітивні моделі дозволяють здійснювати аналіз досліджуваної ситуації за допомогою вивчення структури взаємних впливів концептів когнітивної карти та динамічного аналізу, який полягає у генерації можливих сценаріїв її розвитку [5]. За останні роки в літературі було описано чимало комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень на основі когнітивних карт, їх порівняльний аналіз наведений в роботі [6]. Разом з тим, можливість застосування когнітивного підходу до задач управління технологічними комплексами молочного заводу майже не досліджено.

Аналіз стану багатоасортиментного виробництва молочної продукції дає підставу удосконалити автоматизовану систему управління на базі когнітивного підходу, який забезпечить можливість комплексно оцінювати техніко-економічні показники функціонування підприємства з урахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів та формувати обґрунтовані тактики стратегічного управління в умовах невизначеності.

3. Об'єкт, мета і задачі дослідження

Об'єкт дослідження — технологічний комплекс молочного заводу.

Метою статті є підвищення ефективності функціонування багатоасортиментного виробництва молочної продукції шляхом удосконалення системи управління за рахунок використання методів когнітивного підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні із основних задач:

- розробка структури нечіткої когнітивної карти системи управління технологічним комплексом молочного заводу (ТКМЗ) для встановлення найбільш прибуткового асортименту продукції із врахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів (ринкова ситуація, вартість та якість сировини, сезонність, вартість ресурсів та ін.);
- статичний аналіз нечіткої когнітивної карти системи управління ТКМЗ.

4. Розробка та дослідження когнітивних моделей молочного заводу

Методологія когнітивного моделювання заснована на моделюванні суб'єктивних уявлень експертів про ситуацію і включає [7]: методологію структуризації ситуації; модель подання знань експерта, у вигляді когнітивної карти; методи аналізу ситуації.

При управлінні в умовах неповної та неточної інформації, а також при визначенні різних варіантів функціонування елементів системи і середовища, використовують нечіткі когнітивні карти (НКК), де множина зв'язків між концептами, представлена у вигляді числових значень ступенів причинності таких зв'язків. На основі побудованої нечіткої когнітивної карти формується матриця взаємовпливів концептів, після чого досліджується поведінка і надійність карти. Розраховуються її системні показники — консонанси, дисонанси.

При розробці структури НКК молочного заводу виходили із того, що ТКМЗ являє собою складну організаційно-технічну систему, яка складається із кортежу:

$$\langle D(t), S(t), Y(t), E(t), t \rangle, \quad (1)$$

де D — дії підприємств молочної галузі, законодавчі впливи; S — вплив факторів зовнішнього середовища; Y — вихідні показники роботи молочного заводу E — множина концептів та взаємозв'язків між ними; t — час функціонування.

Зазначена система характеризується значною невизначеністю елементів, які входять у її склад (людський, економічний та інші фактори), і для моделювання розвитку такої системи не можливо отримати її точну математичну модель. Тому модель молочного заводу представимо у вигляді узагальненої НКК.

Завданням НКК є встановлення найрентабельнішого асортименту продукції (виконується на 1 добу), з переліку технологічно можливих для виготовлення на підприємстві, із врахуванням попиту населення, різних дій конкурентів, влади, вартості енергоносіїв, сезонності тощо.

Процес когнітивного моделювання починається з формування експертами списку концептів, найбільш значущих для даної задачі. Експертно вибрано такі елементи матриці взаємовпливів НКК:

Проміжні концепти: E_1 — технічне та технологічне оснащення цехів молочного заводу (МЗ); E_2 — якість виготовленої продукції; E_3 — якість молока, що постав-

ляється на МЗ; E_4 — кількість молока, що поставляється на МЗ; E_5 — ступінь використання обладнання; E_6 — кількість продукції на складі; E_7 — конкурентоздатність продукції; E_8 — об'єм ринків збуту; E_9 — молоко 1,5 %; E_{10} — молоко 2,5 %; E_{11} — топлене молоко 2,5 %; E_{12} — кефір 1 %; E_{13} — кефір 2,5 %; E_{14} — ряжанка 2,5 %; E_{15} — йогурт 2,5 % полуниця; E_{16} — йогурт 2,5 % персик; E_{17} — сметана 15 %; E_{18} — сметана 20 %; E_{19} — масло 62 %; E_{20} — масло 73 %; E_{21} — творог 0 %; E_{22} — творог 5 %; E_{23} — творог 10 %; E_{24} — творог ванільний 8 %; E_{25} — творог з родзинками 8 %; E_{26} — морозиво ванільне; E_{27} — морозиво шоколадне; E_{28} — морозиво фруктове; E_{29} — морозиво глазуроване на паличці; E_{30} — управління виробництвом; E_{31} — обсяг основного виробництва; E_{32} — рентабельність підприємства.

Вхідні дії: X_1 — ціни на енергоносії; X_2 — пора року; X_3 — потреби споживачів.

Вихідні дії: Y_1 — прибуток; Y_2 — заробітна плата; Y_3 — чисельність працівників.

Побудована НКК, яка моделює поведінку молочного заводу з метою добового визначення асортименту продукції, охоплює його основні діючі елементи:

- дії самого підприємства (концепти E_1, E_3-E_6);
- вплив зовнішніх чинників (концепти X_1-X_3);
- показники розвитку (концепти Y_1-Y_3);
- характеристики, що визначають збут продукції (концепти E_2, E_7-E_{30});
- показники розвитку підприємства (концепти E_{31} і E_{32}).

Підсумовуючи, зауважимо, що когнітивні карти відображають лише факт наявності впливів одних чинників на інші, тобто в них не відображається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів залежно від зміни ситуації, ні часові зміни самих чинників. Врахування всіх цих обставин вимагає переходу на наступний рівень структуризації інформації, відображеної в когнітивній карті, тобто до когнітивної моделі.

Функціонування отриманої НКК здійснюється у напрямку від входу до виходу згідно залежності:

$$Y = F(X, W), \quad (2)$$

де X — вхідні впливи системи, яка моделюється, включаючи і зовнішні фактори; W — матриці взаємовпливів.

Враховуючи зворотній зв'язок, функціональна залежності буде представлена:

$$Y(t) = [X(t-1), Y(t-1), W], \quad (3)$$

де t — період розвитку системи (для ТКМЗ — 1 доба).

На рис. 1 у вигляді НКК представлено модель ТКМЗ, яка ілюструє множинні зв'язки і характер взаємодії факторів. Для отриманої моделі запропоновано використовувати НКК з діапазоном значень для рівня впливу одного концепту на інший: $[-1; 1]$. НКК математичної моделі може бути представлена у вигляді матриці суміжності, в якій на перетині рядка і стовпця вказується рівень впливу одного концепту на інший. Напрямок впливу визначається на рівні побудови когнітивної карти, де необхідно з'ясувати який з концептів є причиною, а який наслідком. Таким чином, в рядках вказуються концепти-причини, а в стовпцях концепти-наслідки.

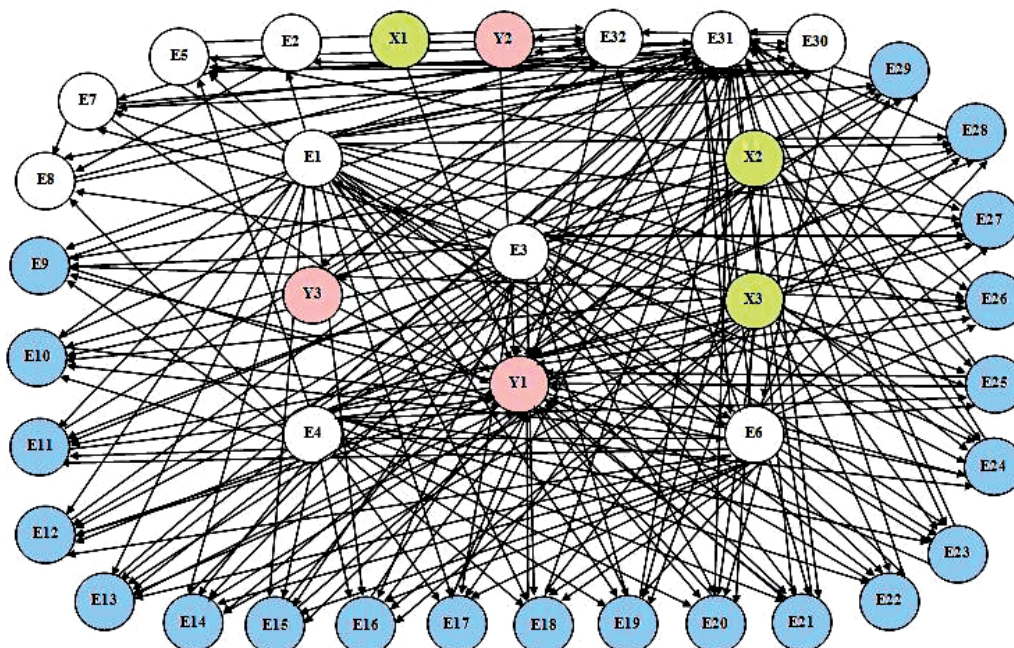


Рис. 1. Модель молочного заводу у вигляді нечіткої когнітивної карти

На основі побудованої нечіткої когнітивної карти формується матриця взаємовпливів концептів, яка налічує 222 елемента. Значення коефіцієнтів матриці НКК сформовані згідно методики, розробленої та представленої у роботі [8], тому в статті її приводити недоцільно.

При подальших дослідженнях розроблені узагальнені нечіткі когнітивні карти, кожен концепт якої характеризується терм-множиною лінгвістичної змінної:

$$T_i = (T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_j}^i), \quad (4)$$

де m_j — число типових станів концепта.

Для опису станів кожного терма T_k^i будується терм-множина із функцією належності $\mu_{T_k^i}(x)$. Зв'язки між типовими станами кожної пари концептів задаються нечіткими змінними.

Різновид отриманої НКК визначається функціями належності і способом алгоритму нечіткого виведення [9]. Механізм нечітких висновків в своїй основі має базу знань у вигляді сукупності нечітких предикативних правил вигляду:

П₁: якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$,

П₂: якщо $x \in A_2$, тоді $y \in B_2$,

.....

П_n: якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$.

де x — вхідна змінна (ім'я для відомих значень даних), y — змінна висновку (ім'я для значення даних, яке буде обчислене); A і B — функції належності, визначені відповідно на x та y .

Отже, створена НКК дозволить сценарно досліджувати поведінку системи при зміні величин концептів.

5. Структурний аналіз нечіткої когнітивної моделі молочного заводу

Нечітка когнітивна матриця взаємовпливів буде мати вигляд:

$$W = \|w_{ij}\|_{n \times n}, \quad (5)$$

де n — число концептів.

Для дослідження системних характеристик отримаємо нечітку матрицю позитивних зворотних зв'язків R , яка формується з матриці W на основі наступних перетворень [10]:

$$R = \|r_{ij}\|_{2n \times 2n} \rightarrow \begin{cases} \text{якщо } w_{ij} > 0, \text{ тоді } r_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}, r_{2i, 2j} = w_{ij}, \\ \text{якщо } w_{ij} < 0, \text{ тоді } r_{2i-1, 2j} = -w_{ij}, r_{2i, 2j-1} = -w_{ij}, \\ \text{якщо } w_{ij} = 0, \text{ тоді } r_{2i-1, 2j-1} = 0, r_{2i, 2j} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

На основі цього формується транзитивно замкнута когнітивна матриця взаємовпливів, яка дозволяє визначити узгоджені співвідношення взаємовпливу концептів. Для визначення впливу концептів один на одного, а також інтегральні показники впливу концептів на систему і системи на концепти використовуємо консонанс та дисонанс впливу одного концепту на інший, а також консонанс та дисонанс впливу системи на концепт.

Отже, для дослідження динамічного впливу компонентів на систему і зворотного впливу необхідно отримати матрицю V , яка формується з матриці R на основі наступних перетворень:

$$V = \|(v_{ij}, \bar{v}_{ij})\| \rightarrow \begin{cases} v_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j}), \\ \bar{v}_{ij} = -\max(r_{2i-1, 2j}, r_{2i, 2j-1}). \end{cases} \quad (7)$$

Дослідження НКК ТКМЗ виконано в спеціалізованому програмному продукті FCMapper (Fuzzy Cognitive Mapper), в якому реалізовано математичний апарат узагальнення НКК [11, 12]. Дана система складається з двох практично автономних програмних підсистем.

Перша з них реалізована на базі електронних таблиць «MS Excel» — це підсистема аналізу НКК, включає в себе підсистему вводу когнітивної карти і отримання прогнозу розвитку ситуації. Для структурного аналізу когнітивна карта задана у вигляді таблиці «MS Excel», експортується в файл і передається в другу підсистему структурного аналізу «Рајек». У системі «Рајек» реалізовані методи що дозволяють досліджувати структуру когнітивної карти в цілому, що спрощує її верифікацію, а загалом полегшує вибір управляючих факторів при розробці стратегій управління згідно заданих цілей.

В результаті аналізу структурних характеристик НКК отримали наступні результати (рис. 2): 5 концептів виконують функції лише передавачів (Transmitter); 2 концепти тільки отримують інформацію (Receiver); 215 концептів є «прийомо-передавачами» (Ordinary).

Структурний аналіз когнітивної карти, аналіз впливів, а також аналіз структурної значимості елементів когнітивної карти дає узагальнені статичні характеристики структури когнітивної карти.

На базі матриці концептів НКК ТКМЗ отримуємо функціональні індекси (рис. 3, *a, б, в*): консонанс (Outdegree), дисонанс (Indegree) та вплив одного фактора на інший (Centrality).

На основі структурного аналізу НКК, за вагомістю впливу на прибуток, а відповідно і на добовий асортимент МЗ, концепти доцільно поділити на три групи:

- впливові концепти: E_1 (технічне та технологічне оснащення цехів МЗ), E_2 (якість молока, що поставляється на МЗ), E_4 (кількість молока, що поставляється на МЗ) та X_3 (потреби споживачів);
- концепти, що мають певний вплив: E_5 (ступінь використання обладнання), E_6 (кількість продукції на складі), E_{30} (управління виробництвом), E_{31} (обсяг виробництва) та X_2 (пора року);
- концепти, які мають незначний вплив на рентабельність (решта).

Очевидно, що серед найвпливовіших концептів E_1 (технічне та технологічне оснащення цехів МЗ), E_2 (якість молока, що поставляється на МЗ) та

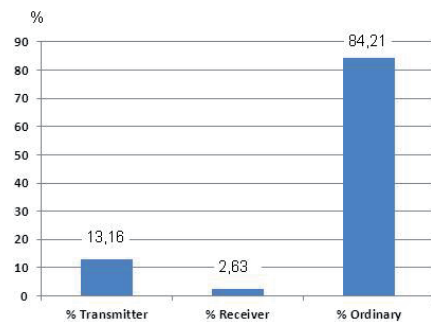


Рис. 2. Структурні характеристики НКК ТКМЗ

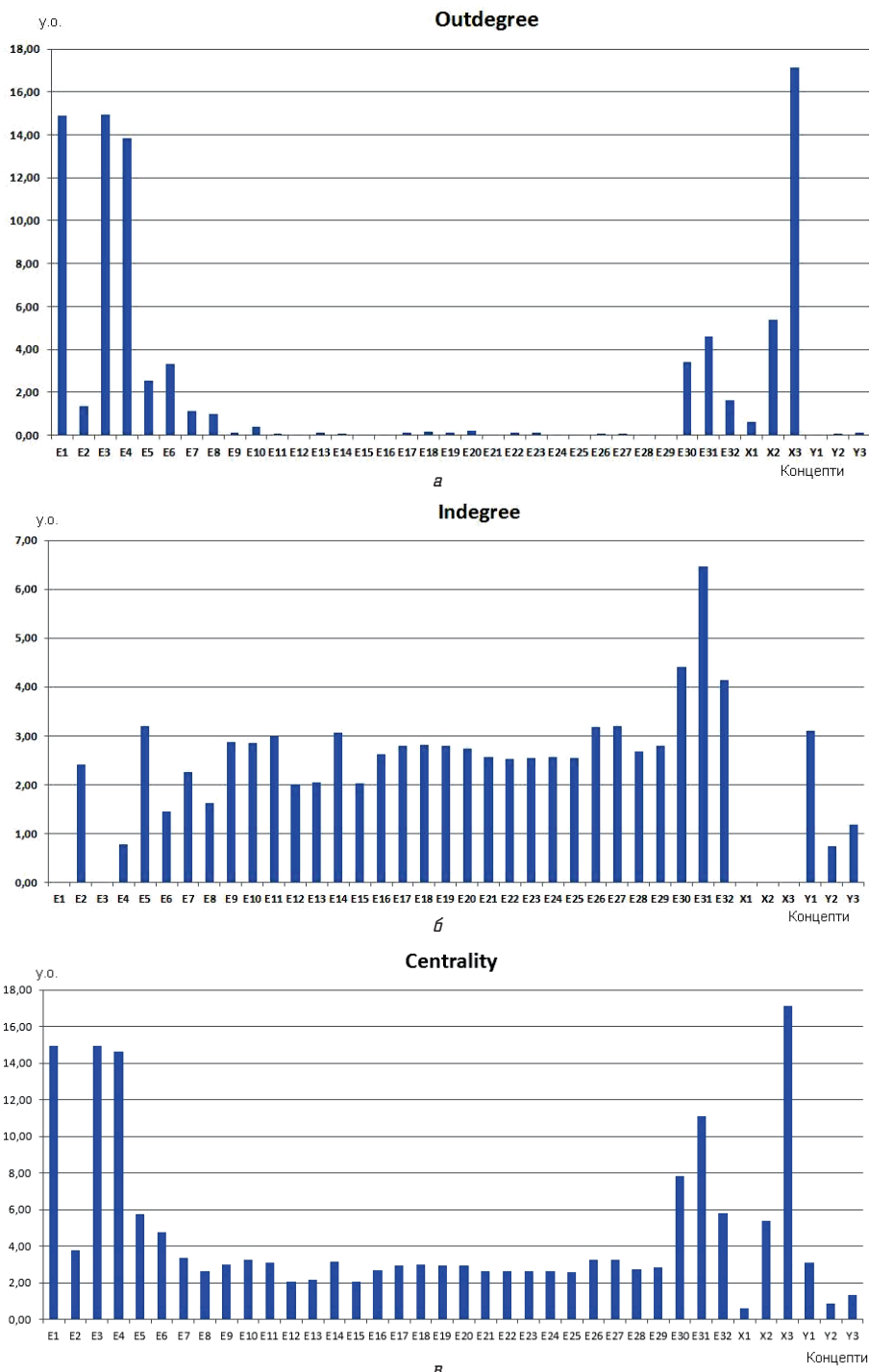


Рис. 3. Структурно-функціональні характеристики матриці концептів НКК ТКМЗ: *a* — консонанс; *б* — дисонанс; *в* — взаємодія факторів

E_4 (кількість молока, що поставляється на МЗ), при сценарному моделюванні виробництва на одну добу, будуть фактично константами, оскільки оснащення не зміниться, а вимоги щодо якості є паспортними. Отже, для заданої задачі необхідно акцентувати увагу на аналіз потреб споживачів.

6. Висновки

В процесі дослідження було розглянуто когнітивний підхід до побудови моделей складних слабоструктурованих ОТС, що дозволяє реалізувати оптимальне управління такими системами без побудови точної математичної моделі. Наочність нечітких когнітивних карт можливості проведення чисельного моделювання, а також комбінування експертного та адаптивного підходів для побудови моделі роблять узагальнені нечіткі когнітивні карти зручним засобом опису систем.

В результаті роботи виконані наступні задачі:

— розроблена НКК функціонування молочного заводу з виділенням вхідних, вихідних та проміжних концептів;

— виконано статичне моделювання в середовищі FCMapper. Визначенні показники НКК, на основі яких можна сценарно дослідити поведінку системи при зміні величин концептів.

Виконані дослідження є початковим етапом для створення автоматизованої системи управління ТКМЗ.

Література

1. Ладанюк, А. П. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу [Текст] / А. П. Ладанюк, В. М. Решетюк, В. Д. Кишенько, Я. В. Смітюх. — К.: Центр учбової літератури, 2014. — 280 с.
2. Савчук, О. В. Когнітивний підхід до моделювання і управління слабоструктурованими організаційно-технологічними системами (ситуаціями) [Текст] / О. В. Савчук, А. П. Ладанюк, Н. Г. Гриценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2009. — № 2/3(38). — С. 14–18. — Режим доступу: <http://www/URL: http://journals.urau.ua/eejet/article/view/5888>
3. Axelrod, R. Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites [Text] / R. Axelrod. — Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976. — 404 p. doi:10.1515/9781400871957
4. Kosko, B. Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic [Text] / B. Kosko. — Hyperion: Disney Books, 1993. — 336 p.
5. Силов, В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке [Текст] / В. Б. Силов. — М.: ИНПРО-РЕС, 1995. — 228 с.
6. Кулинич, А. А. Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций [Текст] / А. А. Кулинич // Избранные труды 2-ой Международной конференции по проблемам управления. — М.: ИПУ РАН, 2003. — С. 219–226.
7. Толстова, Ю. Н. Основы многомерного шкалирования [Текст] / Ю. Н. Толстова. — М.: КДУ, 2006. — 160 с.
8. Козлов, Л. А. Когнитивное моделирование на ранних стадиях проектной деятельности [Текст]: уч. пос. / Л. А. Козлов; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. — 3-е. изд. — Барнаул: АлтГТУ, 2001. — 247 с.
9. Савчук, О. В. Нечеткое когнитивное моделирование в системах управления технологическим комплексом молокоперерабатывающего предприятия [Текст] / О. В. Савчук, А. П. Ладанюк, Т. М. Герасименко // Новый университет. Технические науки. — 2015. — № 1–2(35–36). — С. 13–19.
10. Вовк, С. П. Моделирование переходов между эталонными ситуациями в сложных системах в условиях неопределенности [Текст] / С. П. Вовк, Л. А. Гинис // Известия ЮФУ. Технические науки. — Таганрог: ТИ ЮФУ, 2013. — № 2(139). — С. 116–122.
11. Kulba, V. V. Scenario Methodology for Investigation of Socioeconomic Systems [Text] / V. V. Kulba, D. A. Kononov, S. A. Kosyachenko, O. A. Zaikin // Production System Design, Supply Chain Management and Logistics. Proceedings of the 9th International Multi-Conference Advanced Computer Systems ACS 2002. — Poland: Midzysdroje, 2002. — P. 134–138.
12. Batagelj, V. Pajek. Program for Analysis and Visualization of Large Networks Reference Manual. List of commands with short explanation. Version 1.26 [Electronic resource] / V. Batagelj, A. Mrvar. — Ljubljana, 2010. — Available at: <http://www/URL: http://www.fcmmappers.net/joomla/>

РАЗРАБОТКА КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МОЛОЧНОГО ЗАВОДА

В данной статье приведены концептуальные основы когнитивного подхода в задачах управления сложными системами. Рассмотрено предприятие пищевой промышленности в классе сложных организационно-технологических слабоструктурированных систем. На основе экспертных оценок, разработана нечеткая когнитивная карта функционирования технологического комплекса молочного завода и проведено ее структурный анализ. В результате исследований получены обобщенные статические характеристики структуры нечеткой когнитивной карты.

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, структурный анализ, статические характеристики, многоассортиментное молочное производство.

Савчук Ольга Викторовна, аспирант, ассистент, кафедра автоматизации процессов управления, Национальный университет харьковских технологий, Київ, Україна, e-mail: savchuk_olga@bk.ru.
Ладанюк Анатолій Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації процесів управління, Національний університет харьковських технологій, Київ, Україна, e-mail: ladanyuk@nuft.edu.ua.

Савчук Ольга Викторовна, аспирант, ассистент, кафедра автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.
Ладанюк Анатолій Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

Savchuk Olga, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: savchuk_olga@bk.ru.
Ladanyuk Anatoly, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: ladanyuk@nuft.edu.ua