

УДК 681.513.5:663.4

**ВИКОРИСТАННЯ КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ
УПРАВЛІННІ БІОТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ХАРЧОВИХ
ВИРОБНИЦТВ**

ЗАЄЦЬ Н.А., кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем
Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: z-n@ukr.net

В.М. ШТЕПА, кандидат технічних наук,
керівник НДЛ «Екоінженерія»
Поліський державний університет, Республіка Білорусь
e-mail: shns1981@gmail.com

***Анотація.** Обґрунтовано використання нечітких когнітивних карт для сценарного управління біотехнологічними об'єктами харчових виробництв. Показано, що для використання когнітивних карт в якості інструменту агрегування знань групи експертів потрібно встановити точні значення нечітких змінних зв'язків між факторами, що представляє труднощі при створенні когнітивної карти з великою кількістю вершин. Був розроблений алгоритм створення і практичного використання нечіткої системи узагальнення оцінки експертів у штатному режимі. В статті поставлена задача самоадаптації розробленої нечіткої когнітивної карти при зміні експертних оцінок або параметрів об'єкта, тому що одним з головних недоліків систем на основі нечіткої логіки є їх нездатність самонавчатися і для їх підстроювання необхідно повторне залучення експертів при повній функціональній зупинці. Для вирішення поставленої задачі використовували апарат нечітких нейронних мереж. Було створено нечітку когнітивну карту, яка функціонує згідно спрощеного алгоритму нечіткого висновку та дозволяє сценарно досліджувати поведінку системи при зміні величин концептів. Апробовано та побудовано в середовищі MatLAB нечітку нейронну мережу для узагальнення експертних оцінок з відповідними функціями належності.*

***Ключові слова:** нечіткі когнітивні карти, нейронна мережа, вагові коефіцієнти, сценарії управління, множина концептів.*

Актуальність. У даний час прогнозування стану і деяких параметрів біотехнологічних об'єктів харчових виробництв пов'язано із залученням групи експертів даної предметної області. Зручним інструментом агрегації знань багаточисельної і, як правило, сильно розподіленої групи експертів є математичний апарат когнітивних карт і нечітких когнітивних карт (НКК). Типово когнітивна карта представляється у вигляді знакового орграфа. Перевагами

використання НКК, порівняно із звичайними когнітивними картами, є наочність, що є важливим чинником при роботі групи експертів предметної області та здатність чисельно описувати процеси, які моделюються. Оскільки більшість фактичної інформації по об'єкту управління отримується з експертних оцінок, то вона багато в чому носить суб'єктивний характер [1]. Причому думки експертів по одному і тому ж питанню можуть істотно, іноді принципово, відрізнятись. Тому завдання оптимального узагальнення експертних думок з метою побудови адекватної НКК є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методологія когнітивного моделювання, призначена для аналізу і прийняття рішень в непередбачених ситуаціях заснована на моделюванні суб'єктивних уявлень експертів про ситуацію і включає:

- методологію структуризації ситуації;
- модель подання знань експерта, у вигляді знакового орграфу (когнітивної карти) (F, W) , де F – безліч факторів ситуації, W – безліч причинно-наслідкових відносин між факторами ситуації;
- методи аналізу ситуації.

Методологія когнітивного моделювання розвивається в напрямку вдосконалення апарату аналізу і моделювання ситуації [1-4]. У роботі [2] адаптований метод аналізу нечіткої бази до вирішення завдання встановлення аналогії соціально-економічних систем, що моделюються різними нечіткими графами. У праці [4] запропонований підхід, що використовує нечіткі множини для моделювання сили керуючого впливу при різних типах зв'язків між попередньою і наступною цілями функціонування. Однак існуюча методологія структуризації ситуації і модель подання знань експерта не дозволяє аналізувати складні ситуації. Створення великих моделей, які включають десятки або сотні факторів вимагає розробки іншої моделі подання знань про ситуацію, методології структуризації непередбачених складних ситуацій, методів пояснення та інтерпретації результатів моделювання та підтримки генерації рішень.

Одним із ефективних засобів вирішення такої ситуації є нечіткі когнітивні карти, де множина зв'язків між концептами, представлена у вигляді числових значень ступенів причинності таких зв'язків. На основі побудованої НКК формується матриця взаємовпливів концептів, після чого досліджується поведінка і надійність карти. Розраховуються її системні показники – консанси, дисонанси.

Для використання когнітивних карт, в якості інструменту агрегування знань групи експертів потрібно встановити точні значення нечітких змінних зв'язків між факторами, що представляє труднощі при створенні когнітивної карти з великою кількістю вершин. Для автоматичної настройки значень змінних зв'язків використовуються алгоритми навчання когнітивної карти. Завдання навчання когнітивної карти полягає в мінімізації помилки результату прогнозування. Помилка прогнозування оцінюється як похибка між прогнозованими показниками карти і реальними значеннями факторів, відомих з історичних спостережень.

Мета досліджень – розробити структуру нечіткої когнітивної карти, що включатиме нечітку нейронну мережу узагальнення експертних оцінок з метою адаптивного коригування матриці взаємного впливу концептів НКК.

Методи досліджень При подальших дослідженнях використаємо узагальнені НКК кожен концепт якої характеризується терм-множиною лінгвістичної змінної:

$$T_i = (T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_j}^i), \quad (1)$$

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. Відповідна матриця НКК формується на стадії постановки проекту.

Матриця E , з позиції теорії нечітких множин, може трактуватись як лінгвістична змінна, тобто терм T , а складові частини цього рядка – як елементи t_{ij} з множини можливих значень. Наприклад, експертна оцінка відповіді на питання кількості розведення чистої культури дріжджів у стерильному суслі (розведення 1:100), при $n = 5$, може мати такий вигляд: $E=(0/3; 0/3.5; 0/4; 0/4.5;$

0/5). Де в знаменнику – об’єм чистої культури дріжджів (л), в чисельнику – кількість позитивних оцінок.

Отже, експертна матриця повинна мати вигляд:

$$E = \{e_{ij} / v_{ij}\}, \quad (2)$$

де: v_{ij} – всі можливі значення оцінок градацій експертних висновків, у яких може знаходитись результат стосовно i -го елемента (у нашому прикладі $V = 3, \dots, 5$ л).

Елементи матриці є ординатами функції належності $g(x)$ (x – вхідний сигнал), а експертна матриця буде мати більш простий вигляд:

$$E = (e_{ij}) = \begin{pmatrix} e_{11} & K & e_{1n} \\ M & O & M \\ e_{m1} & L & e_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

При чому, рядки будуть відповідати кількості експертів, а стовпці - кількості оцінюваних показників (параметрів) виниклої проблеми (явища, процесу тощо).

Блок-схема алгоритму створення і практичного використання нечіткої системи узагальнення оцінки експертів у штатному режимі наведена на рисунку 1.

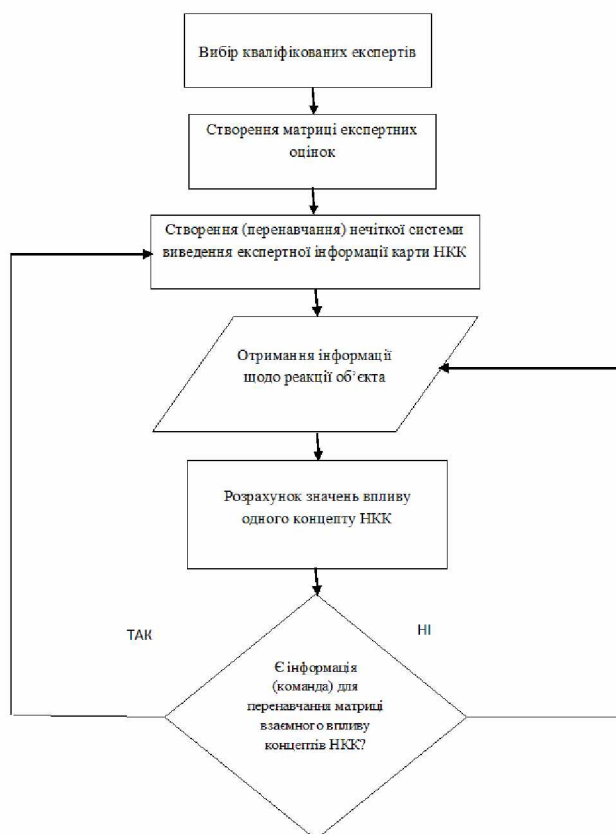


Рис. .1. Блок-схема алгоритму створення та адаптивного коригування матриці взаємного впливу концептів НКК

Однак одним з головних недоліків систем на основі нечіткої логіки є їх нездатність самонавчатися [6], для їх підстроювання необхідно повторне залучення експертів при повній функціональній зупинці. Для вирішення нашої задачі необхідною є здатність до самоадаптації при зміні експертних оцінок або параметрів об'єкта.

Тому має сенс використовувати апарат нечітких нейронних мереж – нейронних мереж з чіткими сигналами, вагами і активаційною функцією, але з об'єднанням їх з використанням t-норми, t-конорми або інших операцій [18].

При цьому входи, виходи і ваги нечіткої нейронної мережі (ННМ) – дійсні числа з необхідного нам діапазону [0, 1].

Узагальнений же алгоритм роботи ННМ наступний: припустимо, що мережею повинне бути реалізоване невідоме відображення:

$$y^k = f(X^k) = f(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k), k = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

при наявності навчальної множини:

$$\{(X^1, y^1), \dots, (X^N, y^N)\}. \quad (5)$$

Для моделювання невідомого відображення f використаємо спрощений алгоритм нечіткого висновку, застосовуючи наступну форму запису предикатних правил:

$$P_i: \text{якщо } x_1 \in A_{i1} \text{ і } x_2 \in A_{i2} \text{ і } \dots \text{ і } x_n \in A_{in}, \text{ ТОДІ } y = z_i, i = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

де: A_{ij} – нечіткі числа трикутної форми, z_i – дійсні числа.

Визначення ступеня істинності i -го правила здійснюється за допомогою операції множення (Larsen):

$$\alpha_i = \prod_{j=1}^n A_{ij}(x_j^k), \quad (7)$$

і визначаючи вихід нечіткої системи дискретним аналогом центроїдного методу:

$$o^k = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i}. \quad (8)$$

Введення функції помилки для k -го пред'явленого зразка виду:

$$E_k = \frac{1}{2} (o^k - y^k)^2, \quad (9)$$

дозволяє, як у звичайних (стандартних) нейронних мережах, використати градієнтний метод для підстроювання параметрів заданих предикатних правил. Так, величини z_i можна коректувати за співвідношенням:

$$z_i := z_i - \eta \frac{\partial E_k}{\partial z_i} = z_i - \eta (o^k - y^k) \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

де: η – константа, що характеризує швидкість навчання.

Результати досліджень. Програмно модуль розрахунку вагових коефіцієнтів НКК можна створити та дослідити у системі MatLAB, інтегрований у відповідний математичний апарат нечітких нейронних мереж. Структура нечіткої когнітивної карти розроблялася виходячи з експериментальних досліджень і об'єктно-орієнтованого аналізу пивзаводу. Задача НКК – визначення ефективних стратегій та сценаріїв управління заданим технологічним комплексом. Формування значень вагових коефіцієнтів на основі експертних оцінок повинно вирішити проблему неможливості оперативного опитування експертів при зміні параметрів функціонування технологічного комплексу.

Відповідна структура нечіткої когнітивної карти розроблялась у співпраці із трьома експертами пивоварного виробництва. Функціонування такої НКК здійснюється у напрямку від входу до виходу згідно залежності:

$$Y = F(X, W) \quad (12)$$

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

Оскільки у нас матиме місце зворотній зв'язок, то рекурентний вид функціональної залежності:

$$Y(t) = [X(t-1), Y(t-1), W] \quad (13)$$

де t – період розвитку системи (для пивзаводу – 1 доба).

Створена НКК, яка функціонуватиме згідно спрощеного алгоритму нечіткого висновку, дозволить сценарно досліджувати поведінку системи при зміні величин концептів.

Згідно розробленої методики та експертних оцінок трьох фахівців формуємо значення коефіцієнтів матриці НКК. Максимальна різниця між думками кваліфікованих експертів становила 30%. Також очевидно, що просте зведення до середньоарифметичного значення не буде коректним, оскільки призведе до фактичної втрати суті експертної оцінки.

Експертам було запропонована заповнити таблицю визначення ступеня близькості у діапазоні $[0, 1]$ різних значень коефіцієнта до встановленого ним, при чому обов'язковою умовою, було те, що значення 1,0 матимуть 3 числові показники матриці НКК, також по 3 значення встановлюють для ступенів 0,9 та 0,8. В середовищі MatLAB створили нечітку нейронні мережу (ANFIS) для узагальнення експертних оцінок (рис. 2) з відповідними функціями належності (рис. 3).

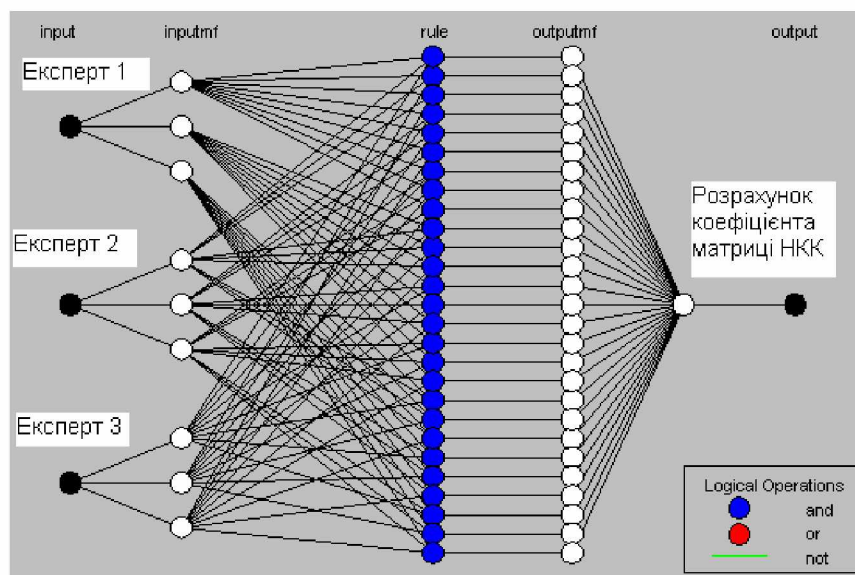


Рис. 2. Архітектура нечіткої нейронної мережі (ANFIS) узагальнення експертних оцінок.

Виходячи із статистичних даних була створена система узагальнення експертної думки, причому при навчанні брались за входи думки експертів

(числові значення коефіцієнтів), вихід – ступень близькості до експертної «1» (для всіх експертів).

На основі ANFIS (рис. 2) отримали в пакеті “MatLAB” систему нечіткого висновку (рис. 3) із відповідними продукційними правилами (рис. 4) та графічною інтерпретацією (рис. 5).

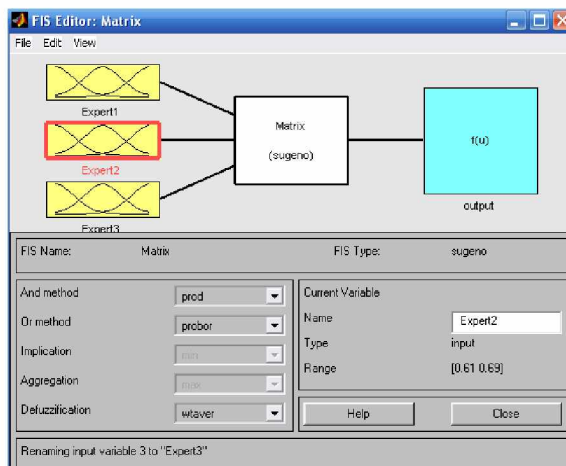


Рис. 3. Система нечіткої оцінки експертної думки

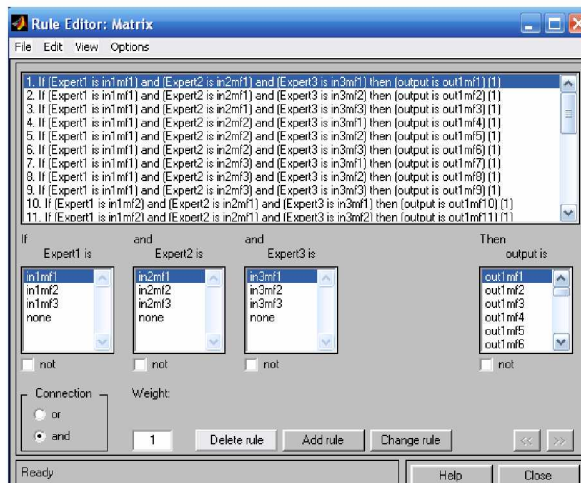


Рис. 4. Інтерфейс продукційних правил нечіткої системи оцінки експертної думки

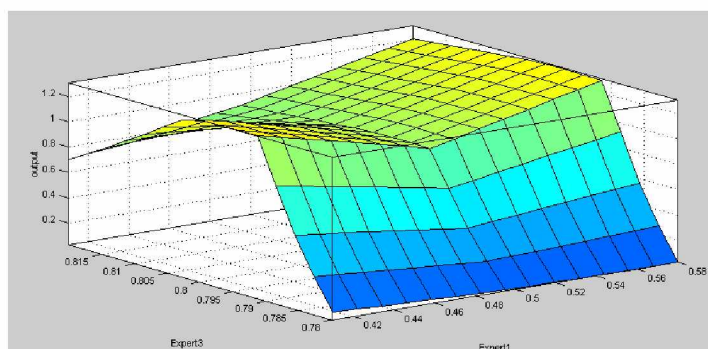


Рис. 5. Поверхня відгуку оцінки експертної думки

Тоді, із використанням вікна інтерактивного дослідження правил нечітких продукцій знаходили консолідовані значення експертних оцінок при яких ступінь достовірності становитиме – «1». Використавши створену методику встановили, що вихідне значення встановлюється 1,0 (консолідована думка експертів), коли коефіцієнт дорівнює 0,71 (на більше, ніж на 7% відрізняється від середньоарифметичного значення початкової думки експертів).

Висновки і перспективи. Обґрунтовано та розроблено методику адаптивного формування матриці взаємного впливу концептів нечіткої когнітивної карти пивзаводу на основі використання нечіткої нейронної мережі. Виходячи з технологічних особливостей досліджуваного об'єкта задається інтервал, через який виконується сценарне планування. Створюване програмне забезпечення включає реалізацію роботи обох модулів, що забезпечує умову адаптивності: при виході системи за межі встановленої ефективності можливе перенавчання системи.

Список використаних джерел

1. Carvalho J.P. Rule-based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps - a comparative study [Text] // In Proceedings of the 18th international conference of the North American fuzzy information. – 1999. – by NAFIPS. P.115 – 119.
2. Федулов, А.С., Борисов В.В. Обобщенные нечеткие когнитивные карты [Текст] / А.С. Федулов, В.В. Борисов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2004. – № 4. – С. 3–21.
3. Miao, Y. Transformation of cognitive maps [Text] / Miao, Y., Miao, Ch., Tao, X., Shen ,Zh., Liu, Zh. // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2010. –P.114-124.
4. Боженюк, А.В. Об использовании нечетких баз и антибаз при анализе нечетких когнитивных карт [Текст] / А.В. Боженюк, Л.А. Гинис // Наука і освіта. – 2004. – №4 – С. 276-285.
5. Заєць, Н.А. Інтелектуальна система визначення ефективних стратегій управління технологічними комплексами в умовах невизначеності [Текст]:

Матеріали XXIV Міжнародної конференції з автоматичного управління /Н.А. Заєць // Основи автоматики, 2017. – С. 70-72.

6. Лисенко, В.П. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм [Текст] / В.П.Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, Н.А. Заєць. – К: НУБІП України, 2014. – 336с.

References

1. Carvalho J.P. (1999) Rule-based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps - a comparative study. 1999 In Proceedings of the 18th international conference of the North American fuzzy information, 115 – 119.

2. Fedulov, A.S., Borisov V.V. (2004) Obobshchennyye nechetkiye kognitivnyye karty [Generalized fuzzy cognitive maps] Neyrokomп'yutery: razrabotka, primeneniye, 4, 3–21.

3. Miao, Y., Miao, Ch., Tao, X., Shen ,Zh., Liu, Zh. (2010). Transformation of cognitive maps 2010 IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 114-124.

4. Bozhenyuk, A.V. Ginis, L.A. (2004) Ob ispol'zovanii nechetkikh baz i antibaz pri analize nechetkikh kognitivnykh kart [On the use of fuzzy bases and antibases in the analysis of fuzzy cognitive maps]. Nauka i osvita, 4, 276-285.

5. Zaiets, N.A. (2017) Intelligent system for determining effective strategies for managing technological complexes in conditions of uncertainty. 2017 materials of the XXIV International Conference on Automatic Control Fundamentals of Automation, 70-72.

6. Lysenko, V.P, Reshetyuk V.M., Shtepa V.M., Zaiets N.A.. (2014). Systemy shtuchnoho intelektu: nechitka lohika, neyronni merezhi, nechitki neyronni merezhi, henetychnyy alhorytm [Systems of artificial intelligence: fuzzy logic, neural networks, fuzzy neural networks, genetic algorithm] /. Kiev, Ukraine: NUBIP Ukr.,336.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Н.А. Заец, В.М. Штепа

Аннотация. Обосновано использование нечетких когнитивных карт для сценарного управления биотехнологическими объектами пищевых производств.

Показано, что для использования когнитивных карт в качестве инструмента агрегирования знаний группы экспертов нужно установить точные значения нечетких переменных связей между факторами, что представляет трудности при создании когнитивной карты с большим количеством вершин. Был разработан алгоритм создания и практического использования нечеткой системы обобщения оценки экспертов в штатном режиме. В статье поставлена задача самоадаптации разрабатываемой нечеткой когнитивной карты при изменении экспертных оценок или параметров объекта, так как одним из главных недостатков систем на основе нечеткой логики является их неспособность самообучаться и для их подстройки необходимо повторное привлечение экспертов при полной функциональной остановке. Для решения поставленной задачи использовали аппарат нечетких нейронных сетей. Было создано нечеткую когнитивную карту, которая функционирует согласно упрощенного алгоритма нечеткого вывода и позволяет сценарно исследовать поведение системы при изменении величин концептов. Апробирована и построена в среде MatLAB нечеткая нейронная сеть для обобщения экспертных оценок с соответствующими функциями принадлежности.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, нейронная сеть, весовые коэффициенты, сценарии управления, множество концептов.

USE OF COGNITIVE SIMULATION AT THE MANAGEMENT OF BIOTECHNOLOGICAL OBJECTS OF FOOD PRODUCTION

N.A. Zaiets, V.M. Shtepa

Abstract. *The use of fuzzy cognitive maps for scenario management of biotechnological objects of food production is grounded. It is shown that to use cognitive maps as a tool for aggregating the knowledge of a group of experts, it is necessary to establish the exact value of fuzzy variable relationships between factors, which presents difficulties in creating a cognitive map with a large number of vertices. An algorithm was developed for the creation and practical use of a fuzzy system for generalizing the evaluation of experts in the regular mode. Since one of the main disadvantages of systems based on fuzzy logic is their inability to self-learn and for their adjustment, it is necessary to re-engage experts at full functional stop. The article sets the task of self-adaptation of the fuzzy cognitive map being developed when changing expert estimates or object parameters. To solve this problem, the apparatus of fuzzy neural networks was used. A fuzzy cognitive map was created that operates according to a simplified algorithm of fuzzy inference and allows you to scrutinize the behavior of the system when the values of concepts change. A fuzzy neural network was tested and constructed in MatLAB environment for generalization of expert estimations with corresponding membership functions.*

Keywords: *fuzzy cognitive maps, neural network, weights, control scenarios, many concepts.*