

Технічні науки

УДК 51.74

Маняк Юрій Вікторович

студент

Навчально-науковий комплекс «Інститут Прикладного
Системного Аналізу» НТУУ «КПІ»

Роговий Андрій Владиславович

студент

Навчально-науковий комплекс «Інститут Прикладного
Системного Аналізу» НТУУ «КПІ»

Маняк Юрий Викторович

студент

Учебно-научный комплекс «Институт Прикладного
Системного Анализа» НТУУ «КПИ»

Роговой Андрей Владиславович

студент

Учебно-научный комплекс «Институт Прикладного
Системного Анализа» НТУУ «КПИ»

Manyak Y.

student

ESC «Institute for applied systems analysis»

NTUU «KPI»

Rohovyi A.

student

ESC «Institute for applied systems analysis»

NTUU «KPI»

НЕЧІТКІ МЕТОДИ В ЗАДАЧІ КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
НЕЧЁТКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧЕ КОГНИТИВНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
FUZZY METHODS IN COGNITIVE MODELING

Анотація: В роботі запропоновано альтернативні підходи до якісного аналізу в задачах технологічного передбачення та подальшого когнітивного моделювання об'єкта дослідження; вдосконалено процедуру досягнення структурної стійкості когнітивних карт із застосуванням теорії нечітких множин.

Ключові слова: технологічне передбачення, когнітивне моделювання, когнітивна карта, структурна стійкість.

Аннотация: В работе предложены альтернативные подходы к качественному анализу в задачах технологического предвидения и дальнейшего когнитивного моделирования объекта исследования; усовершенствована процедура достижения структурной устойчивости когнитивных карт с использованием теории нечётких множеств.

Ключевые слова: технологическое предвидение, когнитивное моделирование, когнитивная карта, структурная устойчивость.

Summary: Alternative approaches to qualitative analysis in technological prediction and subsequent cognitive modeling of research object were suggested in the article; cognitive map structural stabilization procedure was improved by applying fuzzy set theory.

Key words: technological prediction, cognitive modeling, cognitive map, structural stability.

Вступ

Застосування традиційних математичних підходів та методів до аналізу процесів значно ускладнюється у випадку слабкоструктурованих систем [2].

Тому при моделюванні складних систем, що не піддаються формалізації, розроблено когнітивний підхід. Дана методологія враховує такі аспекти як людське пізнання, мислення, розуміння та сприйняття. При цьому вводять поняття когнітивної карти, що відображає спрощений опис досліджуваної ситуації.

При когнітивному моделюванні основним завданням є ідентифікація найбільш раціональних шляхів управління системою на основі когнітивних моделей, що має на меті перехід від негативних до позитивних станів даної системи. Такий підхід дозволяє будувати загальну картину описуваної предметної області, поєднуючи аналітичні методи з експертними знаннями.

Основні кроки когнітивного моделювання передбачають використання когнітивної карти об'єкта. Когнітивна карта являє собою структурну схему системи, що відображає причинно-наслідкові зв'язки шляхом інтерпретації поглядів та оцінок ОПР. Мета побудови когнітивної карти — проаналізувати поведінку досліджуваної системи.

Постановка задачі

1. Визначити фактори зовнішнього та внутрішнього середовища для заданої предметної області на прикладі металургійної галузі України.
2. Провести якісний аналіз, запропонувавши модифікацію методу SWOT-аналізу із застосуванням теорії нечітких множин.
3. Використовуючи результати якісного аналізу, побудувати вихідну множину факторів.
4. Здійснити когнітивне моделювання об'єкту дослідження, побудувавши когнітивну карту.
5. Перевірити когнітивну карту на структурну стійкість.
6. Сформулювати та застосувати запропонований метод досягнення структурної стійкості системи у разі її відсутності на попередньому етапі.

Спираючись на [3, 4] та методологічні принципи, описані в [7] було визначено наступні групи факторів внутрішнього та зовнішнього середовища:

Сильні сторони:

S1: Вигідне географічне положення підприємств та високий транспортний потенціал (географічний центр Європи).

S2: Достатньо високий рівень підготовки фахівців у галузі, наявність наукових центрів.

S3: Членство України в СОТ, співпраця з Євросоюзом.

S4: Поява нових технологій та матеріалів в області металургії

S5: Значні поклади залізних, марганцевих і титанових руд, наявності розвіданих запасів золота, урану, за величезного потенціалу видобутку рідкісних металів, таких як цирконій та ніобій.

S6: Висока прибутковість чорної металургії порівняно з іншими галузями.

S7: Наявність достатньої кількості металургійних потужностей.

S8: Давня сталеливарна традиція: чимала кількість спеціалістів з досвідом.

S9: Порівняно висока забезпеченість електроенергією.

S10: Україна є відомим та визнаним у світі виробником труб різного призначення.

S11: Вдала локалізація більшості ресурсів, що використовуються у чорній металургії.

S12: Наявність розроблених проектів будівництва нових кар'єрів та ГКЗ

Слабкі сторони:

W1: Суттєвий вплив олігархічних формацій на металургійну галузь

W2: Залежність від енергоносіїв інших країн

W3: Слабкість механізмів захисту прездатного населення в сфері трудового права

W4: Продаж технологій будівництва металургійних комплексів і шахт за кордон у перші роки незалежності.

W5: Висока корумпованість органів влади та керівництва підприємств галузі

W6: Зношеність транспортної, добувної та промислової інфраструктури (особливо в державному секторі)

W7: Слабка захищеність як внутрішніх, так й іноземних інвесторів

W8: Низька купівельна здатність внутрішніх споживачів

W9: Напружене соціальне та економічне становище в районах проведення бойових дій.

W10: Високий пенсійний вік

W11: Відсутність гарантій територіальної цілісності країни

W12: Переспрямування інвестицій з металургією Донбасу та Придніпров'я в центральні райони РСФСР за часів СРСР

W13: Недостатні темпи реструктуризації.

W14: Значні втрати металу при виплавлянні через недосконалий техпроцес.

W15: Імпорт сировини для виробництва сплавів рідкісних металів з Росії, Казахстану й Узбекистану.

W16: Недостатня престижність роботи металурга.

W17: Низька оплата праці в галузі.

W18: Штучно роздуті тарифи на супровід сертифікатів якості продукції.

Можливості:

O1: Співпраця з Євросоюзом та НАТО в сфері обміну технологіями добування та переробки сировини

O2: Поява нових ринків збуту серед підприємств машинобудування та будівельної галузі.

O3: Зростання прибутковості чорної металургії. Утвердження її ролі як основної статті валютних надходжень в бюджет.

O4: Поява держзамовлень для підтримки виробництва та реконструкції військової техніки.

O5: Еволюційна заміна олігархічної формації суспільних відносин і усунення незаконних схем приватизації

O6: Участь у світових проектах зі зменшення шкідливих викидів металургійної промисловості

O7: Розвиток внутрішнього ринку споживання продукції галузі

O8: Ріст потоку іноземних інвестицій в наявні виробничі потужності

O9: Ріст довіри кредиторів після успішного завершення амбіційних проектів.

O10: Зниження залежності від іноземних енергоресурсів

O11: Зростання інтересу інвесторів до проектів будівництва нового кар'єру на Полтавському ГЗК, спорудження Приазовського ГЗК у Запорізькій області та Федорівського у Житомирській.

O12: Розробка власних родовищ рідкісних металів.

O13: Розробка складних родовищ в комплексі і зниження собівартості сировини.

O14: Будівництво високих труб, встановлення фільтрів, утилізація уловлених речовин за рахунок інвесторів.

O15: Переорієнтація виробництва на найефективніші високоекономічні види металів.

O16: Розвиток напрямків переробки металобрухту.

Загрози:

T1: Терористичні атаки на транспортних магістралях, трубопроводах та інших об'єктах, від яких залежить функціонування металургійних потужностей.

T2: Техногенні катастрофи на застарілих підприємствах галузі зі зношеними агрегатами.

T3: Переманювання фахівців-геологів радянської школи за кордон — у Росію, Австралію, США, або втрата ними навичок, перехід в інший бізнес.

T4: Падіння довіри інвесторів через провал відомих проектів.

T5: Знищення інфраструктури внаслідок посилення військових дій.

T6: Захоплення нових ринків збуту конкуруючими підприємствами інших держав.

T7: Падіння інтересу вітчизняних фінансово-промислових груп до видобувної галузі.

T8: Припинення поставок сировини з Росії та простій виробництва.

T9: Відмова зовнішніх покупців від партій товару з великим процентом браку.

T10: Виснаження розроблених родовищ металургійної сировини.

T11: Відновлення практики незаконного захоплення підприємств.

T12: Простой виробничого процесу внаслідок страйків.

T13: Різке падіння кількості та якості робочої сили.

Авторами запропоновано наступну модифікацію SWOT-аналізу. Нехай D_i – коефіцієнт впливу внутрішніх характеристик на реалізацію загроз, H_m – коефіцієнт впливу внутрішніх характеристик на реалізацію можливостей, F_j – коефіцієнт впливу на загрози та можливості сильних характеристик, G_k – коефіцієнт впливу на загрози та можливості слабких характеристик.

$$D_i = \sum_j K_{S_j T_i} - \sum_k K_{W_k T_i}$$

$$H_m = \sum_j K_{S_j O_m} - \sum_k K_{W_k O_m}$$

$$G_k = \sum_i K_{W_k T_i} + \sum_m K_{W_k O_m}$$

$$F_j = \sum_i K_{S_j T_i} + \sum_m K_{S_j O_m}$$

Тоді введемо ці значення, представивши ступені впливу K нечіткими множинами, обравши об'єднання відповідних нечітких множин у якості суми показників та застосувавши процедуру дефаззифікації для отримання скалярного значення.

Наприклад, результат нечітко-множинних операцій для D_i :

$$\mu_{D_i}(x) = \max\{\max_j\{\mu_{K_{S_j T_i}}(x)\} - \max_k\{\mu_{K_{W_k T_i}}(x)\}; 0\}$$

Після дефаззифікації:

$$D_i^* = \frac{\sum_t x^t \cdot \mu_{D_i}(x^t)}{\sum_t \mu_{D_i}(x^t)}$$

Для побудови нечітких множин використовуються оцінки експертів в дискретних точках для функцій належності $\mu_{W_k T_i}(x^t)$. Після цього крива будується у вигляді сплайна за допомогою Curve Fitting Toolbox пакету MatLab. Приклад побудованої кривої по n=5 експертних оцінках для $W_1 T_1$ показано на рис. 1. Криві інших ФН будуються аналогічно.

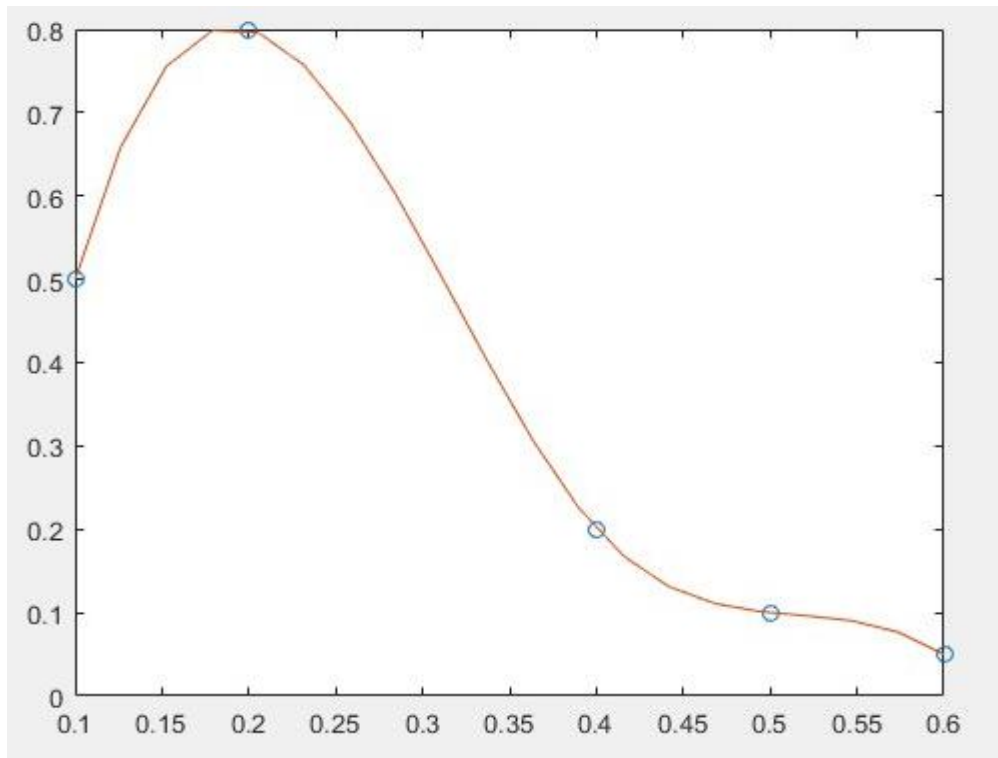


Рисунок 1 – побудова кривої $\mu_{W_1 T_1}$ за експертними оцінками

За результатами чисельних експериментів найбільш значущими виявились наступні фактори:

$T_1 \sim 0,8$: Терористичні атаки на транспортних магістралях, трубопроводах та інших об'єктах, від яких залежить функціонування металургійних потужностей.

$T_2 \sim 1,3$: Техногенні катастрофи на застарілих підприємствах галузі зі зношеними агрегатами.

$T_5 \sim 0,9$: Знищення інфраструктури внаслідок посилення військових дій.

$O_2 \sim 0,7$: Поява нових ринків збуту серед підприємств машинобудування та будівельної галузі.

$O_{10} \sim 1,2$: Зниження залежності від іноземних енергоресурсів

$O_4 \sim 1,5$: Поява держзамовлень для підтримки виробництва та реконструкції військової техніки.

$T_8 \sim 1,3$: Припинення поставок сировини з Росії та простій виробництва.

$O_3 \sim 1,2$: Зростання прибутковості чорної металургії. Утвердження її ролі як основної статті валютних надходжень в бюджет.

$W_{16} \sim 0,9$: Недостатня престижність роботи металурга.

$W_{17} \sim 1,2$: Низька оплата праці в галузі.

$T_{12} \sim 1,2$: Простой виробничого процесу внаслідок страйків.

$T_{13} \sim 0,9$: Різне падіння кількості та якості робочої сили.

$O_7 \sim 0,8$: Розвиток внутрішнього ринку споживання продукції галузі

$O_8 \sim 0,9$: Ріст потоку іноземних інвестицій в наявні виробничі потужності

На їх основі сформульовано фактори когнітивної моделі:

- X1: Небезпека терористичних атак
- X2: Ймовірність техногенних аварій
- X3: Посилення військових дій
- X4: Контроль ринків збуту
- X5: Постачання ресурсів з РФ
- X6: Інтерес вітчизняних фінансово-промислових груп до видобувної галузі
- X7: Зростання проценту браку продукції
- X8: Розгортання страйків
- X9: Падіння якості робочої сили
- X10: Оплата праці
- X11: Високий пенсійний вік
- X12: Високі темпи реструктуризації
- X13: Зростання прибутковості чорної металургії
- X14: Зниження залежності від іноземних енергоресурсів

На наступному етапі дослідження на основі повторного експертного оцінювання для виділених факторів будується когнітивна модель для металургійної галузі України. Опишемо класичний підхід до формального визначення когнітивної карти як знакового орієнтованого графа $G = \langle V, E \rangle$ [1]. Тут V – множина вершин. $V_i \in V, i = \overline{1..k}$ представляють елементи системи. E – множина дуг $E_{ij} \in E; i, j = \overline{1..N}$ відповідають зв'язкам між вершинами V_i та V_j . Вплив V_i на V_j може бути позитивним (знак «+» над дугою), коли збільшення (зменшення) одного фактору приводить до збільшення (зменшення) іншого, від'ємним (знак «-» над дугою), коли збільшення (зменшення) одного фактору веде до зменшення (збільшення) другого, чи бути відсутнім (0).

Когнітивна карта G , окрім графічного зображення, може бути представлена матрицею відношень AG .

Матриця AG – це квадратна матриця, рядки й стовпчики якої помічені вершинами графа G , а на перетині i – го рядка, j – го стовпчика стоять (або ні) одиниці, якщо існує (не існує) відношення між елементами V_i та V_j , тобто

$$A_G = [a_{ij}]$$

$$a_{ij} = f(v_i, v_j)$$

$$i, j = \overrightarrow{1..n}$$

де $f(v_i, v_j)$ – вагова функція, яка приймає значення $[-1;1]$. Вона дорівнює 0, якщо між вершинами V_i та V_j немає зв'язку.

На даному етапі отримано когнітивну карту, представлену матрицею, як показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – когнітивна карта металургійної галузі України

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X1	0	0,1	0	0	-0,2	-0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	-0,2	-0,1	-0,5	0	0,3	0	0	0	0	0	0
X3	0,3	0,1	0	-0,3	0	0	0	0	0	-0,3	0	0	0,2	0
X4	0	0	0	0	-0,1	0	0	0,4	0	0	0,1	-0,1	0	0
X5	0	0,1	0	0	0	0	0	-0,3	0	0	0,4	0	0	0,5
X6	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,5	0	0	-0,2
X7	0	0,4	-0,1	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
X8	-0,1	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	-0,2	0	0	0
X9	0	0	-0,5	0	-0,2	0,1	0	0	0	0	0	0,7	0	0,1
X10	-0,1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
X11	0	0	0,4	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0,2
X12	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0,3	-0,4	0	0	0	-0,1
X13	0,1	-0,1	0	0	0	0	0	-0,1	0	0	0	0	0	0,1
X14	0	0	0	0	-0,1	0	0,1	-0,3	0	0	0	-0,1	-0,1	0

Відповідна карта у вигляді графа представлена на рис. 2

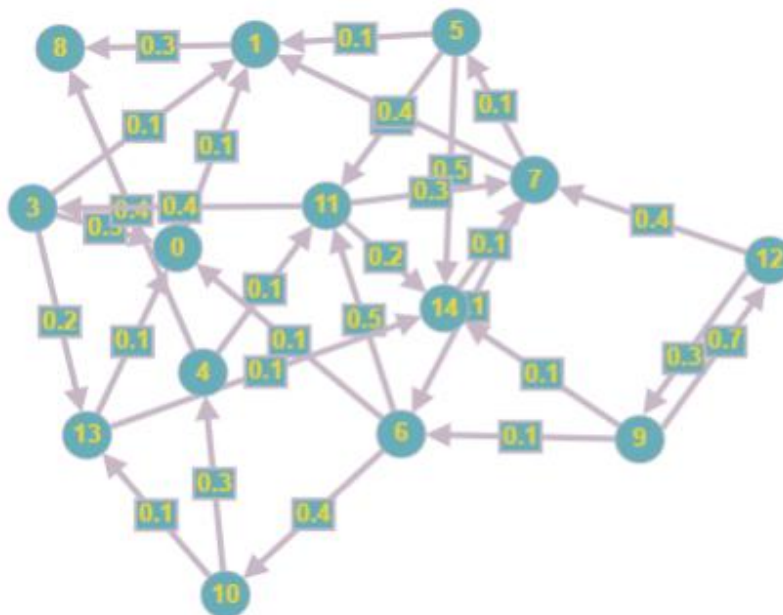


Рисунок 2 – граф вихідної когнітивної карти

Наступним кроком є встановлення структурної стійкості системи за когнітивною картою.

Систему називають *структурно стійкою*, якщо топологічний характер траєкторій всіх близьких до неї систем такий же, як у стандартної [5].

Таким чином, властивість структурної стійкості полягає в тому, що розглянута система веде себе майже так само, як і близькі до неї, у протилежному випадку - система структурно нестійка.

Структурна стійкість системи може бути встановлена шляхом аналізу циклів когнітивної карти. Парний цикл є найпростішою моделлю структурної нестійкості, так як будь-яка початкова зміна параметру в будь-якій його вершині призводить до необмеженого росту модуля параметрів вершин циклу. Будь-яка зміна параметра будь-якої вершини непарного циклу призводить лише до осциляції параметрів вершин [2].

Для системи, представленої когнітивною картою з табл. 2, вимога стійкості не виконується, оскільки є принаймні один парний цикл $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_8 \rightarrow X_6 \rightarrow X_1$.

Для отримання структурно стійкої когнітивної карти, запропонуємо наступний підхід.

1. На першому етапі знаходимо усі парні цикли

$$v_{11} \rightarrow \dots \rightarrow v_{1i_1} \rightarrow \dots \rightarrow v_{1n_1}$$

...

$$v_{i1} \rightarrow \dots \rightarrow v_{ii} \rightarrow \dots \rightarrow v_{in_i}$$

...

$$v_{11} \rightarrow \dots \rightarrow v_{li} \rightarrow \dots \rightarrow v_{ln_l}$$

2. Знаходимо фактор у циклах, що підлягає розбиттю

Найпростіший підхід: $v_m: \max(\text{count}(v_m \in \{v_{i1} \rightarrow \dots v_{in_i}\}))$

Більш оптимальним є вибір фактора, що потенційно є елементом найбільшої кількості циклів з урахуванням циклів, що утворюються після розбиття. Для цього запропонуємо модифікацію алгоритму Гірвана-Ньюмана

[8]. Для цього розглядаємо ребро, що є частиною найбільшої кількості найкоротших шляхів у графі (ступінь опосередкованості):

- 1) Обчислюємо ступінь опосередкованості для всіх існуючих ребер у графі.
- 2) Обираємо вершину, інцидентну ребру з максимальним ступенем опосередкованості та розбиваємо її за зразком наступного пункту.
- 3) Повторно обчислюємо ступінь опосередкованості для всіх ребер графа.
- 4) Повторюємо кроки 2-3, поки граф містить парні цикли.

3. Далі розбиваємо знайдений фактор на два некорельовані підфактори, як показано на рис. 3

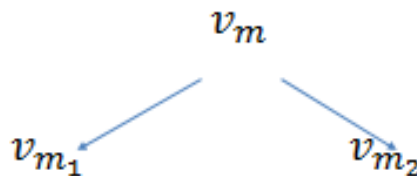


Рисунок 3 – Розбиття вихідного фактора на підфактори

Розбиття відбувається на основі експертних оцінок. Повертаємося на 1-й етап.

Для досліджуваної предметної області застосування підходу призвело до наступної декомпозиції:

Представимо фактор X5 (Постачання ресурсів з РФ) як сукупність складових:

X51: Імпорт високотехнологічних товарів.

X52: Імпорт продуктів гірничо-збагачувальної промисловості.

X53: Трудова міграція з РФ.

Представимо фактор X12 (Високі темпи реструктуризації) як сукупність складових:

X121: Технологічне переоснащення існуючих промислових потужностей.

X122: Зміна стратегічних напрямків розвитку металургії.

X123: Підвищення темпів перенавчання робочої сили.

Результуюча когнітивна карта показана в таблиці 2.

Таблиця 2 – когнітивна карта після декомпозиції

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x52	x53	x12	x12
X1	0	0,1	0	0	-0,2	-0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
X2	0	0	0	-0,2	-0,1	-0,5	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0,5
X3	0,3	0,1	0	-0,3	0	0	0	0	0	-0,3	0	0	0,2	0	0	0	0,1	0
X4	0	0	0	0,2	-0,1	0	0	0,4	0	0	0,1	-0,1	0	0	0	0	0	0
X51	0	0,1	0	0	0	0	0	-0,2	0	0	0,4	0	0	0,2	0	0	0	0
X6	0,1	0	0	0	0	-0,6	0	0	0	0,4	0,5	0	0	-0,2	0,1	-0,1	0	0
X7	0	0,4	-0,1	0	0,1	0,1	-0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X8	-0,1	0	0	0	0	-0,4	0	0	0	0	-0,2	0	0	0	0,1	0	0	0
X9	0	0	-0,5	0	-0,2	0,1	0	0	-0,3	0	0	0,7	0	0,1	0	-0,1	0	0
X10	-0,1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0
X11	0	0	0,4	0	0	0	0,3	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	-0,1	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,1	-0,1	0	0	0	-0,1	0,1	0	0	0
X13	0,1	-0,1	0	0	0	0	0	-0,1	0	0	0	0	-0,1	0,1	0	0	0	0
X14	0	0	0	0	-0,1	0	0,1	-0,3	0	0	0	-0,1	-0,1	0	0	0	0	0
X52	0	0,1	0	0	0	0	0	-0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0
X53	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	-0,1	0	0	0	-0,1	0,1	0	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	-0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0

Нескладно переконатися, що дана когнітивна карта не містить парних циклів, тобто є структурно стійкою.

Висновки

В статті проведено дослідження металургійної галузі України. Для цього проведено якісний аналіз запропонованою модифікацією методу SWOT-аналізу із застосуванням теорії нечітких множин, за результатами якого побудовано вихідну множину факторів для когнітивного аналізу. Виконано когнітивне моделювання об'єкту з перевіркою когнітивної карти на структурну стійкість. Запропоновано та застосовано метод досягнення структурної стійкості системи.

Список використаної літератури

1. Згуровский М.З., Панкратов В.А. К оцениванию устойчивости когнитивных карт для сложных систем // Международная научно-практическая мульти- конференция «Управление большими системами»: «Когнитивное моделирование – 2011», Москва, 14–16 ноября 2011 г. — 5 с.
2. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. — К.: Политехника, 2005. — 165 с.
3. Интернет-портал компанії «Державна служба статистики України» [Електронний ресурс]: Публікації: Виробництво основних видів промислової продукції за 2005-2011 рр. — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
4. Интернет-портал компанії «УкрРудПром» [Електронний ресурс]: Публікації: Сергій Куваєв. Євро не допомогло. — Режим доступу: http://www.ukrrudprom.ua/analytics/Evro_ne_pomoglo.html
5. Раевнева Е.В., Берест Н.М. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Бизнесинформ №5 (2), 2010.
6. Целых Л.А. SWOT-анализ: использование нечетких множеств для оценки стратегических альтернатив / Л.А. Целых // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. — 2012. — № 2 (9)
7. Nadine Pahl. SWOT Analysis. Idea, Methodology And A Practical Approach - Research paper, 2007, 42 Pages
8. Girvan M. and Newman M. E. J., Community structure in social and biological networks, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99, 7821–7826 (2002)