

DOI: 10.35681/1560-9189.2020.22.3.218974

УДК [515.142.33:004.81]:004.056

**О. В. Салієва, Ю. Є. Яремчук**

Вінницький національний технічний університет  
Хмельницьке шосе, 95, 21021 Вінниця, Україна

## **Симпліціальний аналіз структури когнітивної моделі для дослідження захищеності об'єкта критичної інфраструктури**

*Проведено симпліціальний аналіз структури когнітивної моделі для дослідження захищеності об'єкта критичної інфраструктури. Побудовано симпліціальний комплекс, що являє собою послідовність симплексів, які впорядковані за правилом спадання їхньої розмірності. Визначено перший структурний вектор даного комплексу. Результат виконаної структуризації дозволив сформулювати множини управляючих для всієї системи концептів і встановити зв'язні концепти нечіткої когнітивної моделі. Вплив на взаємозв'язані всередині кожного блоку концепти даного симпліціального комплексу дозволить за найменших зусиль підвищити рівень захищеності об'єкта критичної інфраструктури.*

**Ключові слова:** інформаційна безпека, когнітивна модель, об'єкт критичної інфраструктури, симпліціальний аналіз.

### **Вступ**

Посилення негативних процесів природного та техногенного характеру, зростання кількості кібератак і терористичних загроз актуалізували питання захисту об'єктів критичної інфраструктури (КІ), які є життєво важливими для безпеки людини, суспільства та держави в цілому. Порушення функціонування даних об'єктів може призвести до погіршення [1]:

- економічної безпеки;
- безпеки життєдіяльності та здоров'я населення;
- внутрішньополітичної і державної безпеки;
- обороноздатності держави;
- екологічної безпеки.

Враховуючи масштаб імовірних наслідків, наукова спільнота приділяє значну увагу питанням, що пов'язані із забезпеченням захищеності об'єктів КІ. Так, зокрема, у роботі [2] визначено найбільш актуальні типи загроз природного та техногенного походження для безпеки КІ в умовах України, проведено оцінювання ризику економічних збитків унаслідок надзвичайних ситуацій. Автори праці [3]

© О. В. Салієва, Ю. Є. Яремчук

проаналізували функціональну структуру електроенергетичних систем і енергетичних об'єднань з метою виявлення найввірогідніших місць несанкціонованого впливу кіберзагроз на об'єкти КІ. У роботі [4] наведено можливі шляхи удосконалення захисту КІ України на основі проведеного аналізу досвіду захисту КІ в провідних країнах світу, а також вивчення і узагальнення надбань вітчизняних фахівців предметної галузі. Автори роботи [5] розробили концепцію та принципи методології оцінювання та забезпечення безпеки (захисту) критичних інформаційних інфраструктур, визначили робочі гіпотези, методи та моделі, що необхідні для їхньої реалізації.

Оскільки вищезазначені дослідження мають суб'єктивний характер, пов'язані з високим ступенем невизначеності та складністю строгої формалізації, то у роботі [6] автори запропонували модель для дослідження захищеності об'єкта КІ на основі когнітивного підходу, що надає можливість збільшити швидкість обробки вхідної інформації і зменшити час на її опрацювання за рахунок використання доступної експертної інформації без збору і обробки статистичних даних. Використовуючи дану модель, було проведено динамічний часовий аналіз впливу факторів загроз на захищеність КІ [7]. Крім того, за допомогою теорії нечітких відношень визначено допустиму інтенсивність зниження рівня захищеності об'єкта КІ [8]. Проведений структурний аналіз розробленої когнітивної моделі [6] надав змогу визначити найвагоміші її концепти. Актуальними залишаються питання дослідження достовірності отриманих результатів, а також виявлення зв'язних концептів системи та суттєвих зв'язків між ними. Тому, слід звернути увагу на симпліціальний аналіз [9], який дозволяє вирішити вказані актуальні питання.

## **Мета роботи**

Провести симпліціальний аналіз структури когнітивної моделі для дослідження захищеності об'єкта КІ, що дозволить визначити управляючі та зв'язні концепти системи, вплив на які сприятиме підвищенню рівня захищеності.

## **Постановка задачі**

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- здійснити перехід від нечітких значень матриці суміжності між концептами досліджуваної когнітивної моделі до значень «-1», «0», «1»;
- визначити розмірність симплексів комплексу  $K_x(Y; \lambda)$ ;
- здійснити перетворення матриці, впорядкувавши її рядки відповідно до визначених розмірностей;
- побудувати симпліціальний комплекс  $K_x(Y; \lambda)$ ;
- визначити перший структурний вектор комплексу  $K_x(Y; \lambda)$ ;
- визначити управляючі та зв'язні концепти системи.

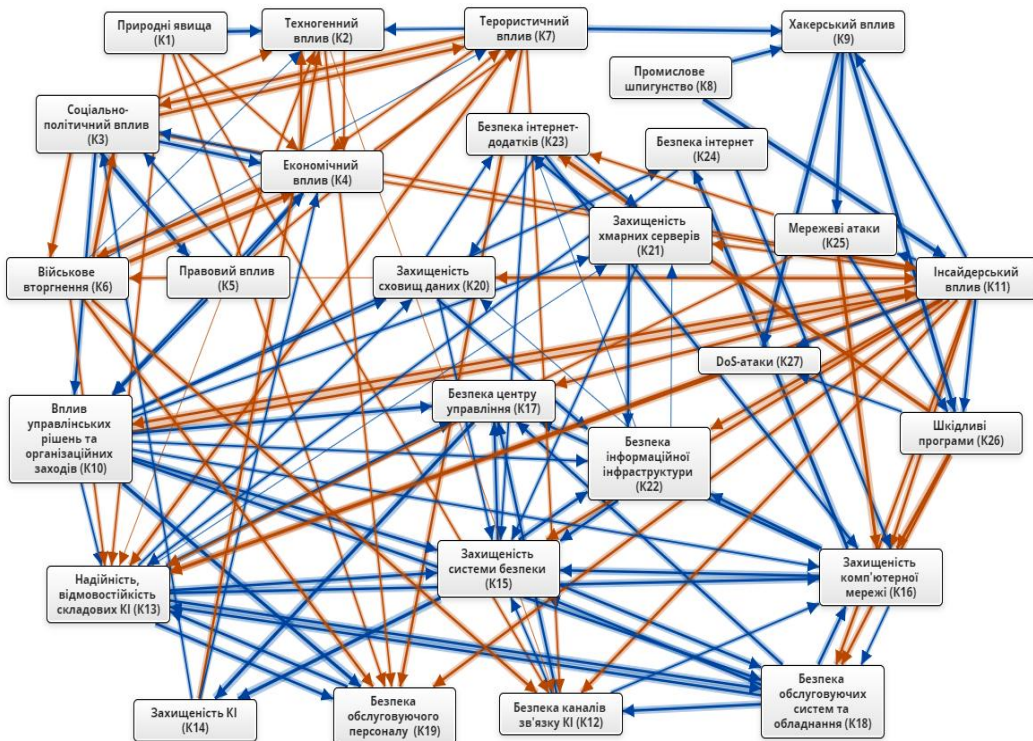
## **Побудова та аналіз симпліціального комплексу нечіткої когнітивної моделі для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ**

Здійснимо симпліціальний аналіз [9] структури розробленої нечіткої когнітивної моделі для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ.

У загальному випадку нечітку когнітивну карту (НКК) можна представити у вигляді множини пар вершин, які пов'язані деяким відношенням  $\lambda$ , що породжує множину багатовимірних зв'язків між вершинами.

Під симплексом  $\sigma_q^{v_i}$  розуміють множину елементів, яка співвідносить конкретному елементу  $v_i$  відношення  $\lambda$  розмірності  $q$ , а їхня сукупність утворює симпліціальний комплекс  $K_y(X; \lambda)$  за рядками (вершини кодуються як  $X$ ) або  $K_x(Y; \lambda^*)$  за стовпцями (вершини кодуються як  $Y$ ). При цьому задача вивчення структури зв'язності комплексу  $K$  зводиться до побудови  $q$ -еквівалентності. Для кожного значення розмірності  $q = 0, 1, 2, \dots, \dim K$  ( $\dim K$  — максимальна розмірність комплексу) можна визначити кількість різних класів еквівалентності  $Q_q$ . Дана операція називається  $q$ -аналізом симпліціального комплексу  $K$ , а вектор  $Q = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$  — першим структурним вектором комплексу, що дозволяє встановити зв'язність комплексів на усіх рівнях  $q$  [10].

Побудуємо та проаналізуємо симпліціальний комплекс, який відповідає НКК для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ [6] (див. рис.).



НКК для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ

Здійснимо перехід від нечітких значень матриці суміжності між концептами досліджуваної когнітивної моделі до значень «-1», «0», «1» таким чином:

— якщо значення сили зв'язку між концептами належить інтервалу  $[-1; 0)$ , то присвоюємо значення «-1»;

— якщо значення сили зв'язку між концептами належить інтервалу  $[0; 0,5)$ , то присвоюємо значення «0»;

— якщо значення сили зв'язку між концептами належить інтервалу  $[0,5; 1]$ , то присвоюємо значення «1».

В отриманій матриці переходу підраховуємо одиниці у кожному  $i$ -му рядку для обчислення розмірності симплексів комплексу  $K_x(Y; \lambda)$ :  $q = q^{(v_i)} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} - 1$ .

Впорядкувавши  $i$ -ті рядки зверху вниз за правилом  $q_1^{(v_i)} \succ q_2^{(v_i)} \succ q_3^{(v_i)} \succ \dots \succ 0 \succ -1$ , отримуємо матрицю (табл. 1, 2).

Таблиця 1. Матриця переходу (зв'язок концептів  $K_i$  із концептами  $K_1 - K_{15}$ )

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$K_{15}$
$K_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	-1	-1	0	-1
$K_3$	0	-1	0	1	1	-1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0
$K_5$	0	-1	0	1	0	-1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0
$K_7$	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	-1	0	0
$K_1$	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
$K_6$	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
$K_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1
$K_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$K_2$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
$K_4$	0	-1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
$K_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$K_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
$K_{25}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
$K_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{26}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
$K_{21}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{14}$	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$K_{19}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$K_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження табл. 1

$K_{22}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$K_{23}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{24}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{27}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0

Таблиця 2. Матриця переходу (зв'язок концептів  $K_i$  із концептами  $K_{16} - K_{27}$ )

	$K_{16}$	$K_{17}$	$K_{18}$	$K_{19}$	$K_{20}$	$K_{21}$	$K_{22}$	$K_{23}$	$K_{24}$	$K_{25}$	$K_{26}$	$K_{27}$	$q^{(v_i)}$
$K_{11}$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	<b>11</b>
$K_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>6</b>
$K_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>5</b>
$K_7$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>5</b>
$K_1$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>
$K_6$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>
$K_{10}$	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>
$K_{13}$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>
$K_2$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>3</b>
$K_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>3</b>
$K_{15}$	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>3</b>
$K_{18}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>3</b>
$K_{25}$	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	<b>3</b>
$K_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	<b>2</b>
$K_{16}$	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	<b>2</b>
$K_{26}$	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	<b>2</b>
$K_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
$K_{21}$	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	<b>1</b>
$K_{12}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{14}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{19}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{20}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{22}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{23}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{24}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
$K_{27}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>

Побудуємо симпліціальний комплекс  $K_x(Y; \lambda) = \{\sigma_q^{(v_i)}\}$ , що являє собою послідовність симплексів, які впорядковані за правилом спадання їхньої розмірності:

$$K_x(Y; \lambda) = \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{11}^{(11)}; \sigma_6^{(3)}; \sigma_5^{(5)}; \sigma_5^{(7)}; \sigma_4^{(1)}; \sigma_4^{(6)}; \sigma_4^{(10)}; \sigma_4^{(13)}; \sigma_3^{(2)}; \sigma_3^{(4)}; \sigma_3^{(15)}; \sigma_3^{(18)}; \sigma_3^{(25)}; \sigma_2^{(9)}; \\ \sigma_2^{(16)}; \sigma_2^{(26)}; \sigma_1^{(8)}; \sigma_1^{(21)}; \sigma_0^{(12)}; \sigma_0^{(14)}; \sigma_0^{(17)}; \sigma_0^{(19)}; \sigma_0^{(20)}; \sigma_0^{(22)}; \sigma_0^{(23)}; \sigma_0^{(24)}; \sigma_0^{(27)} \end{array} \right\}.$$

З матриці переходу визначимо перший структурний вектор  $Q_x = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$  комплексу  $K_x(Y; \lambda)$  таким чином: для кожної розмірності  $q^{(v_i)}$  кількість симплексів у кожному класі еквівалентності  $Q_q$  визначається правилом: якщо хоча б одна вершина симплексу не входить у попередній симплекс більшої розмірності, то це окремий клас.

Значення зв'язності для  $K_x(Y; \lambda)$ :

$$\begin{aligned} q = 11, \quad Q_{11} &= 1, \quad \{K_{11}\}; \\ q = 6, \quad Q_6 &= 2, \quad \{K_{11}\}, \{K_3\}; \\ q = 5, \quad Q_5 &= 3, \quad \{K_{11}\}, \{K_3, K_5\}, \{K_7\}; \\ q = 4, \quad Q_4 &= 5, \quad \{K_{11}, K_{13}\}, \{K_3, K_5\}, \{K_7, K_6\}, \{K_1\}, \{K_{10}\}; \\ q = 3, \quad Q_3 &= 7, \quad \{K_{11}, K_{13}, K_{18}\}, \{K_3, K_5, K_4\}, \{K_7, K_6, K_2\}, \{K_1\}, \{K_{10}\}, \{K_{15}\}, \{K_{25}\}; \\ q = 2, \quad Q_2 &= 10, \quad \{K_{11}, K_{13}, K_{18}\}, \{K_3, K_5, K_4\}, \{K_7, K_6, K_2\}, \{K_1\}, \{K_{10}\}, \{K_{15}\}, \{K_{25}\}, \\ &\quad \{K_9\}, \{K_{16}\}, \{K_{26}\}; \\ q = 1, \quad Q_1 &= 12, \quad \{K_{11}, K_{13}, K_{18}\}, \{K_3, K_5, K_4\}, \{K_7, K_6, K_2\}, \{K_1\}, \{K_{10}\}, \{K_{15}\}, \{K_{25}\}, \\ &\quad \{K_9\}, \{K_{16}\}, \{K_{26}\}, \{K_8\}, \{K_{21}\}; \\ q = 0, \quad Q_0 &= 1, \quad \{y \text{ci } K_i \ (i = 1, \dots, 27)\}. \end{aligned}$$

Структурний вектор комплексу  $K_x(Y; \lambda)$  дорівнює:  $Q_x = \{1\ 2\ 3\ 5\ 7\ 10\ 12\ 1\}$ .

Відмітимо, що на рівні  $q = 3$  з'явилися зв'язні концепти  $\{K_{11}, K_{13}, K_{18}\}, \{K_3, K_5, K_4\}, \{K_7, K_6, K_2\}$  досліджуваної когнітивної моделі. Це означає, що:

— вносячи управлінський вплив у концепт  $K_{11}$  (інсайдерський вплив), концепти  $K_{13}$  (надійність, відмовостійкість складових КІ) та  $K_{18}$  (безпека обслуговуючих систем та обладнання) відреагують на даний вплив;

— вносячи управлінський вплив у концепт  $K_3$  (соціально-політичний вплив), спостерігатиметься реакція концептів  $K_5$  (правовий вплив) та  $K_4$  (економічний вплив);

— вносячи управлінський вплив у концепт  $K_7$  (терористичний вплив), концепти  $K_6$  (військове вторгнення) та  $K_2$  (техногенний вплив) відреагують на нього.

Концепти  $K_1$  (природні явища),  $K_9$  (хакерський вплив),  $K_{10}$  (вплив управлінських рішень та організаційних заходів),  $K_{15}$  (захищеність системи безпеки),

$K_{16}$  (захищеність комп'ютерної мережі),  $K_{25}$  (мережеві атаки) та  $K_{26}$  (шкідливі програми), яким відповідає симплекс найбільшої розмірності, можуть бути вибрані як управляючі концепти для всієї системи. Проте зазначимо, що концепт  $K_1$  (природні явища) потрібно виключити з даного переліку, оскільки людина не має жодного впливу на силу його дії, тобто не може керувати ним.

Відмітимо, що у роботі [6] серед найвпливовіших концептів були  $K_{15}$  (захищеність системи безпеки) та  $K_{16}$  (захищеність комп'ютерної мережі), які у результаті проведення симпліціального аналізу увійшли до множини управляючих. Це підтверджує достовірність отриманих результатів. Таким чином, стан даних концептів найбільшою мірою відобразиться на рівні захищеності об'єкта КІ.

## Висновки

На основі проведеного симпліціального аналізу структури когнітивної моделі для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ здійснено побудову комплексу, що являє собою послідовність симплексів, які впорядковані за правилом спадання їхньої розмірності. Визначено перший структурний вектор даного комплексу, що дозволяє встановити зв'язність концептів на усіх рівнях  $q$ .

Встановлено, що на рівні  $q = 3$  з'явилися зв'язні компоненти досліджуваної системи:  $\{K_{11}, K_{13}, K_{18}\}$ ,  $\{K_3, K_5, K_4\}$ ,  $\{K_7, K_6, K_2\}$ . Вплив на взаємозв'язані всередині кожного блоку концепти даного симпліціального комплексу дозволить за найменших зусиль підвищити рівень захищеності об'єкта критичної інфраструктури.

Запропоновано перелік концептів когнітивної моделі, які можна обрати як управляючі для всієї системи:  $K_9$  (хакерський вплив),  $K_{10}$  (вплив управлінських рішень та організаційний захід),  $K_{15}$  (захищеність системи безпеки),  $K_{16}$  (захищеність комп'ютерної мережі),  $K_{25}$  (мережеві атаки) та  $K_{26}$  (шкідливі програми). До даної множини належать найвагомші концепти, визначені у роботі [6], що доводить достовірність отриманих результатів, які є корисними для прийняття управлінських рішень, що пов'язані зі зміцненням безпечного функціонування об'єкта КІ, швидкій адаптації до умов, що постійно змінюються, протистоянні впливу загроз, що враховуються в досліджуваній НКК.

1. Бірюков Д., Кондратов С., Суходоля О. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні. Київ, 2016. 176 с. URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2016\\_book/Syhadolya\\_o\\_st.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Syhadolya_o_st.pdf)

2. Іваненко О.І. Підхід до національної оцінки ризиків для критичної інфраструктури. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. № 2(73). С. 9–22.

3. Куцан Ю.Г., Гурєєв В.О., Лисенко Є.М., Аветісян О.В. Кіберзагрози в електроенергетичних системах України. *Електронне моделювання*. 2019. Т. 41. № 2. С. 63–80.

4. Євсєєв В.О. Можливі шляхи удосконалення захисту критичної інфраструктури України з урахуванням світового досвіду: *зб. наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2016. № 4(49). С. 168–172.

5. Брежнев Є.В., Фесенко Г.В., Харченко В.С. Методологічні засади оцінювання та забезпечення безпеки критичних інформаційних інфраструктур. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2018. № 4(88). С. 78–85.

6. Салієва О.В., Яремчук Ю.Є. Когнітивна модель для дослідження рівня захищеності об'єкта критичної інфраструктури. *Безпека інформації*. 2020. № 2. С. 63–74.
7. Салієва О.В., Яремчук Ю.Є. Динамічний часовий аналіз впливу факторів загроз на рівень захищеності об'єкта критичної інфраструктури. *Захист інформації*. 2020. Т. 22. № 3. С. 47–55.
8. Салієва О.В., Яремчук Ю.Є. Визначення допустимої інтенсивності зниження рівня захищеності об'єкта критичної інфраструктури ранжуванням загроз. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*, 2020. Т. 22. № 2. С. 63–76. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.22.2.211279>
9. Касти Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы. Москва: Мир, 1982. 216 с.
10. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход: монография/Ростов на Дону: РГУ, 2006. 332 с.

Надійшла до редакції 12.10.2020