519.87

А.А. Адаменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ В КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЯХ ВІЙСЬКОВИХ ОПЕРАЦІЙ НА БАЗІ ЛОГІКИ АНТОНІМІВ

На основі порівняльного аналізу з методами теорії нечітких множин доведена доцільність використання методів логіки антонімів при моделюванні імпульсних процесів в когнітивних моделях слабо структурованих систем та ситуацій в умовах нестохастичної невизначеності. Запропоновано підхід щодо розрахунку величин непрямого та сумарного впливу факторів один на одного в окремих видах когнітивних моделей, що побудовані на базі логіки антонімів.

Ключові слова: *імпульсний процес, когнітивне моделювання, логіка антонімів, нечіткі множини.*

Вступ

Постановка проблеми. Одним із підходів дослідження військових операцій в умовах слабкої структурованості та нестохастичної невизначеності обстановки є статичний та динамічний аналіз ситуацій на базі їх когнітивних моделей [1].

В основу когнітивного моделювання покладено поняття когнітивної карти, що представляє собою зважений орієнтований граф, елементами якого є: множина вершин – фактори $X = \{X_i\}$, $i = \overline{1,n}$, та множина ребер $D \subseteq X \times X$ - причино-наслідні зв'язки між ними. Найбільшу практичну цінність здобули нечіткі когнітивні карти (далі – НКК) Коско [2], де змінні, що характеризують якісний стан факторів та зв'язки між ними, приймають нечіткі значення.

Задав імпульс (змінив якісний стан деякої множини факторів) в деяких вершинах системи, можливо провести аналіз результатів розповсюдження цього імпульсу по когнітивній карті (далі – імпульсний процес).

Методи аналізу НКК базуються на операціях над нечіткими множинами, основними з яких є операції S-норми, що відповідає операції диз'юнкції, та T-норми, що відповідає операції кон'юнкції.

На практиці можна зустріти багато формул, за якими здійснюють операції S- та T-норми над нечіткими множинами.

Але, не зважаючи на різноманітність подібних формул в теорії нечітких множин, вона не володіє властивістю булевості, тобто не забезпечує виконання усіх законів класичної двозначної логіки. У зв'язку з цим, окремі результати застосування операцій над нечіткими множинами є парадоксальними, про що йдеться, наприклад, в [3]. Цей факт породжує проблему адекватності НКК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одною із альтернатив НКК, що дозволяє досліджувати слабо структуровані системи та ситуації в умовах нестохастичної невизначеності, є нечіткі когнітивні моделі, що керуються нечіткими правилами (RBFCM – Rule Based FCM) [4]. Подібні моделі передбачають формування кінцевої множини нечітких правил переходу факторів із одного стану в інший. Але використання даного підходу, особливо в складних динамічних системах (якими зокрема є військові операції), пов'язано зі складністю розробки повного набору нечітких правил, що повинні описувати усі можливі умови переходу кожного фактору із одного свого стану в інший; перевірки їх на сумісність (не конфліктність) та їх корегування.

Іншим підходом щодо формалізації елементів слабо структурованих систем та ситуацій в умовах нестохастичної невизначеності є методи логіки антонімів [5], що вмістила в собі усі позитивні властивості неперервнозначних логік й, разом з тим, має ряд додаткових позитивних властивостей, найголовніша з яких це – булевість.

Мета статті. Стаття має на меті провести порівняльний аналіз результатів застосування методів теорії нечітких множин та логіки антонімів в задачах моделювання імпульсних процесів в когнітивних моделях військових операцій й визначити доцільність використання методів логіки антонімів в подібних задачах.

Розділ основного матеріалу

В основу логіки антонімів (далі – ЛА) покладено поняття антонімічної пари A та αA, що розглядаються як пара протилежних властивостей об'єкту, що досліджується, наприклад: " багато – мало", "сильно – слабо" тощо. В якості прикладу будемо розглядати антонімічну пару A ="велике", αA ="мале".

При цьому, можливе значення об'єкту дослідження оцінюється шляхом оцінки міри наявності в ньому однієї з протилежних властивостей A або αA, тобто, оцінюється на скільки "велике" або на скільки "мале" значення того чи іншого об'єкту до-

© А.А. Адаменко

слідження. Для цього вводяться такі позначення:

$H[A]$ - кількісна оцінка міри наявності у об'єкта дослідження властивості A;

$H[\alpha A]$ - кількісна оцінка міри наявності у об'єкта дослідження властивості αA.

Оцінки $H[A]$ та $H[\alpha A]$ зв'язані між собою виразом

$$H[\alpha A] = -\log_2\left(1 - 2^{-H[A]}\right)$$

й називаються антонімічними оцінками.

При цьому, стан об'єкту дослідження відповідає його максимальній якості (абсолютна якість) при $H[A] = \infty$ та $H[\alpha A] = 0$. І навпаки, стан об'єкту дослідження відповідає його мінімальній якості (абсолютна неякість) при $H[A] = 0$ та $H[\alpha A] = \infty$.

Для характеристики взаємозв'язків в когнітивній карті (між системами вершин та ребер) будемо використовувати оператори ЛА, що задають два види зв'язків: γ-зв'язок (сильний зв'язок), що відповідає операції кон'юнкції і визначає абсолютну втрату якості всієї системи в разі абсолютної втрати якості хоча б одним з її елементів; β-зв'язок (слабкий зв'язок), що відповідає операції диз'юнкції та визначає абсолютну втрату якості всієї системи в разі абсолютної втрати якості усіх її елементів.

При цьому, міра наближення системи S до свого стану абсолютної якості з урахуванням характеру взаємозв'язків між її елементами буде розраховуватися за формулами:

$$H\left[S = \mathop{\beta}_{i=1}^{n} A_i\right] = \sum_{i=1}^{n} \mu_i \cdot H[A_i]; \qquad (1)$$

$$H\left[S = \mathop{\gamma}_{i=1}^{n} A_i\right] = -\log_2\left[1 - 2^{-\sum\limits_{i=1}^{n} \mu_i \cdot H[\alpha A_i]}\right], \qquad (2)$$

де β – оператор, що визначає слабкий зв'язок; γ – оператор, що визначає сильний зв'язок; $H[A_i]$ – міра наближення стану елементу A_i до стану абсолютної якості; $H[\alpha A_i]$ – міра наближення стану елементу A_i до стану абсолютної неякості; μ_i – ваговий коефіцієнт елементу A_i, такий, що $\sum\limits_{i=1}^{n} \mu_i = 1$.

Для порівняння результатів операцій диз'юнкції та кон'юнкції, що здійснюються за різними формулами в теорії нечітких множин та формулами логіки антонімів розглянемо дві системи S_1 та S_2. Обидві системи складаються з двох елементів A та B, якість яких оцінюється числами a та b відповідно. Причому система S_1 така, що (рис. 1, а):

1. Якість системи тим вище, чим вище якість її елементів.

2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно якісні усі її елементи.

3. Система абсолютно неякісна, коли хоча б один її елемент абсолютно неякісний.

Система S_2 така, що (рис. 1, б):

1. Якість системи тим вище, чим вище якість її елементів.

2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно якісний хоча б один її елемент.

3. Система абсолютно неякісна, коли абсолютно неякісні усі її елементи.

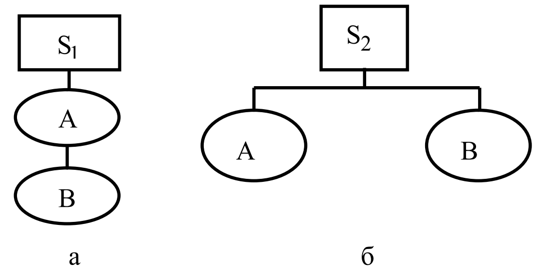

Рис. 1. Логічні моделі взаємозв'язків між елементами систем

Виходячи з вище наведених умов функціонування систем, можна зробити наступні висновки:

1. Якість систем залежить від якості усіх її елементів, а не від одного, чи декількох елементів системи, що відокремлені по деякому признаку від інших елементів.

2. Якість s_1 системи S_1 визначається бінарною операцією кон'юнкції над операндами (a, b), тобто $s_1 = a \wedge b$.

3. Якість s_2 системи S_2 визначається бінарною операцією диз'юнкції над операндами (a, b), тобто $s_2 = a \vee b$.

Для порівняння результатів операцій диз'юнкції та кон'юнкції, що здійснюються за методами теорії нечітких множин та методами ЛА розглянемо формули Заде, Лукасевича та ймовірнісні формули, що здобули найбільш широке втілення в НКК (див. табл.1).

Таблиця 1

Формули операцій S- та T-норми

	Заде	Лукасевича	Ймовірнісна
$S(a,b)=$	$\max(a,b)$	$\min(a+b,\ 1)$	$a+b-ab$
$T(a,b)=$	$\min(a,b)$	$\max(a+b-\ 1,\ 0)$	ab

В табл.. 2 та 3 наведені приклади результатів операції кон'юнкції та диз'юнкції, що здійснюється за основними формулами T - та S -норми теорії нечітких множин (див. табл. 1) та за формулами γ - та β -зв'язку (вирази (2) та (1) відповідно), що використовується в ЛА.

Таблиця 2

Приклади результатів операції кон'юнкції - $a \wedge b$

№	a	b	Заде	Лукасевич	Ймовір.	ЛА
1.	0,1	0,1	0,1	0	0,01	0,1
2.	0,1	0,5	0,1	0	0,05	0,22
3.	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0,5
4.	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,29
5.	0,9	0,5	0,5	0,4	0,45	0,66
6.	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,7
7.	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,95
8.	1	1	1	1	1	1

Примітка: результати за формулами ЛА отримані при рівних значеннях вагових коефіцієнтів операндів.

Таблиця 3

Приклади результатів операції диз'юнкції - $a \vee b$

№	a	b	Заде	Лукасевич	Ймовір.	ЛА
1.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,19	0,1
2.	0,1	0,5	0,5	0,6	0,55	0,3
3.	0,5	0,5	0,5	1	0,75	0,5
4.	0,1	1	1	1	1	0,55
5.	0,9	0,5	0,9	1	0,95	0,7
6.	0,5	1	1	1	1	0,7
7.	0,9	1	1	1	1	0,95
8.	1	1	1	1	1	1

Примітка: результати за формулами ЛА отримані при рівних значеннях вагових коефіцієнтів операндів.

З наведених прикладів видно, що для усіх формул вірна нерівність: $(a \wedge b) \le (a \vee b)$, що підтверджує їх дієвість.

Разом з тим, можна спостерігати деякі слабкі сторони використання формул теорії нечітких множин.

По-перше, це слабка чутливість до зміни якості усієї множини елементів системи, що доводить незалежність якості системи від якості усіх її елементів.

Так, наприклад, відповідно до формул Заде, при фіксованому значенні одного з операндів отримуються однакові результати операцій з різними значеннями іншого операнду (див. табл.. 2 приклади 1, 2, 4 та приклади 3, 5, 6; табл. 3 приклади 3, 6 – 8 та приклади 2, 4). Подібні ситуації можна спостерігати й при використанні формул Лукасевича (табл. 2 приклади 1 – 3 й табл. 3 приклади 3 – 8).

Результати логічних операцій за формулами ЛА навпаки доводять той факт, що чим більше якість кожного з елементів системи, тим більше якість усієї системи, тобто: якщо $a_1 > a_2$, то $(a_1 \wedge b) > (a_2 \wedge b)$ та $(a_1 \vee b) > (a_2 \vee b)$.

По-друге, це викривлення інтегральних оцінок якості систем: заниження для операції кон'юнкції та завищення для операції диз'юнкції, що найбільш характерно для формул Лукасевича та ймовірнісних формул.

Дійсно мають місце такі нерівності.

1. Якщо $s = a \wedge b$, то:

- для формули Заде – $s = \min(a, b)$;

- для формул Лукасевича та ймовірнісної - $s \le \min(a, b)$.

Але для формули ЛА - $a \le s \le b$.

2. Якщо $s = a \vee b$, то:

- для формули Заде – $s = \max(a, b)$;

- для формул Лукасевича та ймовірнісної - $s \ge \max(a, b)$.

Але для формули ЛА - $a \le s \le b$.

З наведеного можна зробити висновок, що формули логічних операцій, що використовуються в ЛА, є більш чутливими до змін значень операндів, а результати цих операцій є фізично зрозумілими.

Для порівняння результатів застосування методів теорії нечітких множин та методів ЛА до когнітивного моделювання складних систем та ситуацій, в якості прикладу розглянемо когнітивну карту (див. рис. 2), що запропонована в [6] й дозволяє досліджувати процес управління соціально-економічною системою (регіоном, областю тощо).

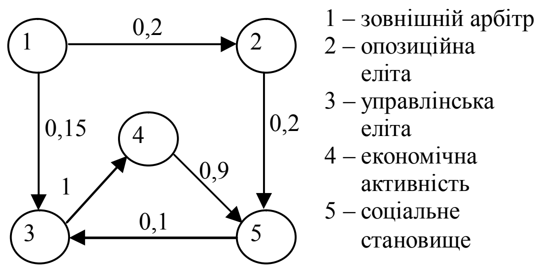

Рис. 2. Приклад когнітивної карти соціально-економічної системи

При цьому приймемо, що вершина X_i стає джерелом імпульсу для суміжних вершин у випадку, коли вона отримує імпульс ззовні - від інших вершин або як керуючий вплив. У цьому випадку вершина X_i вважається активною вершиною. При цьому, характер зміни (напрямок та кількісна характеристика) фактором X_i свого якісного стану залишається поза увагою. Величина імпульсу, що передається від активної вершини X_i до вершини X_j визначається лише силою w_{ij} впливу фактору X_i на фактор X_j без врахування його позитивності чи негативності.

Задача полягає у визначенні величини сумарного впливу, наприклад, фактору "зовнішній арбітр" на фактор "соціальне становище", а також визначенні шляху між цими факторами, що є найбільш впливовим.

В НКК величина $H\left[I_\lambda^{ij}\right]$ непрямого впливу I_λ^{ij} фактору X_i на фактор X_j через шлях $P_\lambda^{ij}, \lambda=\overline{1,m}$, що веде з вершини X_i до вершини X_j і містить множину D_λ^{ij} ребер $d_{k\ell}$ з вагою $w_{k\ell}$, розраховується згідно з виразом:

$$H\left[I_\lambda^{ij}\right] = \underset{d_{k\ell}\in D_\lambda^{ij}}{\mathrm{T}} w_{k\ell}, \qquad (3)$$

де T оператор T-норми.

Величину сумарного впливу $H\left[V^{ij}\right]$ фактору X_i на фактор X_j визначають за виразом:

$$H\left[V^{ij}\right] = \underset{P_\lambda^{ij}\in P^{ij}}{\mathrm{S}} H\left[I_\lambda^{ij}\right], \qquad (4)$$

де S оператор S-норми; $P^{ij}=\left\{P_\lambda^{ij}\right\}$ множина шляхів P_λ^{ij}, що ведуть з вершини X_i до вершини X_j.

Для випадку, коли когнітивна модель будується на базі ЛА приймемо, що сила w_{ij} впливу фактору X_i на фактор X_j оцінюється за допомогою антонімічної пари B_{ij} та αB_{ij} як $H\left[B_{ij}\right]$ та $H\left[\alpha B_{ij}\right]$ відповідно.

Тоді величину $H\left[I_\lambda^{ij}\right]$ непрямого впливу I_λ^{ij} фактору X_i на фактор X_j через шлях P_λ^{ij}, $\lambda=\overline{1,m}$, що веде з вершини X_i до вершини X_j і об'єднує в систему деяку множину D_λ^{ij} ребер $d_{k\ell}$ з вагою $H\left[B_{k\ell}\right]$, будемо визначати як міру наближення цієї системи ребер до свого стану абсолютної якості з урахуванням якісного стану її елементів, між якими існує γ-зв'язок (вплив буде здійснено лише у випадку, коли імпульс пройде по усім ребрам цього шляху), тобто:

$$H\left[I_\lambda^{ij}\right] = H\left[\underset{d_{k\ell}\in D_\lambda^{ij}}{\gamma} d_{k\ell}\right] =$$

$$= -\log_2\left[1-2^{-\sum\limits_{d_{k\ell}\in D_\lambda^{ij}}\mu_{k\ell}\cdot H\left[\alpha B_{k\ell}\right]}\right], \qquad (5)$$

де $\mu_{k\ell}$ - ваговий коефіцієнт зв'язку між фактором X_k та фактором X_ℓ такий, що

$$\sum_{i=1}^{n}\mu_{k\ell}=1.$$

Величину сумарного впливу $H\left[V^{ij}\right]$ фактору X_i на фактор X_j визначається як міра наближення системи непрямих впливів I_λ^{ij}, $\lambda=\overline{1,m}$, фактору X_i на фактор X_j через шляхи P_λ^{ij}, що зв'язані між собою β-зв'язком (вплив буде здійснено у випадку, коли імпульс пройде хоча б по одному шляху), до свого стану абсолютної якості з урахуванням якісного стану її елементів, тобто:

$$H\left[V^{ij}\right] = H\left[\underset{\lambda=1}{\overset{m}{\beta}} I_\lambda^{ij}\right] = \sum_{\lambda=1}^{m}\gamma_\lambda^{ij}\cdot H\left[I_\lambda^{ij}\right], \qquad (6)$$

де γ_λ^{ij} - ваговий коефіцієнт непрямого впливу I_λ^{ij} фактору X_i на фактор X_j через шлях P_λ^{ij} такий, що

$$\sum_{\lambda=1}^{m}\gamma_\lambda^{ij}=1.$$

З рис. 2 видно, що з вершини 1 у вершину 5 ведуть два шляхи:

$$P_1^{15}=(d_{12},d_{25});$$

$$P_2^{15}=(d_{13},d_{34},d_{45}).$$

Ваги відповідних ребер задані, тому можна розрахувати величини непрямого та сумарного впливів фактору 1 на фактор 5 із застосуванням основних формул теорії нечітких множин (див. (3, 4)) та формул ЛА (див. (5, 6)).

В табл. 4 наведені результати цих розрахунків, аналіз яких дозволяє зробити наступні висновки.

1. Формули Заде визначили найвпливовішим шлях

$$P_1^{15}=(d_{12}=0,2; d_{25}=0,2),$$

хоча шлях

$$P_2^{15}=(d_{13}=0,15; d_{34}=1; d_{45}=0,9)$$

містить два ребра з набагато вищою вагою.

2. Формули Лукасевича та ймовірнісні визначили найвпливовішим шлях

$$P_2^{15}=(d_{13}=0,15; d_{34}=1; d_{45}=0,9),$$

але, при цьому, занизили оцінки величини непрямих та сумарних впливів.

3. Формули ЛА визначили найвпливовішим шлях

$$P_2^{15} = (d_{13} = 0{,}15; d_{34} = 1; d_{45} = 0{,}9),$$

й при цьому, надали найбільш адекватну оцінку величини сумарного впливу. Крім того, наявність у виразах, за якими розраховуються величини непрямого та сумарного впливів факторів один на одного, вагових коефіцієнтів надає додаткову свободу досліднику щодо моделювання імпульсних процесів в когнітивних моделях.

Таблиця 4

Результати розрахунків впливів факторів

	Заде	Лукасевич	Ймовірн.	ЛА
$H\left[I_1^{15}\right]$	0,2	0,0	0,04	0,2
$H\left[I_2^{15}\right]$	0,15	0,05	0,135	0,24
$H\left[V^{15}\right]$	0,2	0,05	0,17	0,22

Примітка: результати за формулами ЛА отримані при рівних значеннях вагових коефіцієнтів операндів.

Отримані висновки дозволяють зробити висновок про доцільність використання методів логіки антонімів при моделюванні імпульсних процесів в когнітивних моделях військових операцій як слабо структурованих та нестохастично невизначених ситуацій.

Висновки

На основі порівняльного аналізу з методами теорії нечітких множин доведена доцільність використання методів логіки антонімів при когнітивному моделюванні слабо структурованих систем та ситуацій в умовах нестохастичної невизначеності.

При цьому, запропонований в статті підхід щодо розрахунку величин непрямого та сумарного впливу факторів один на одного в умовах, де імпульсний процес визначається лише силою зв'язків між факторами, підтвердив свою дієвість та адекватність отриманих результатів. Доцільними є дослідження більш складних імпульсних процесів в когнітивних моделях, побудованих на базі логіки антонімів.

Список літератури

1. *Адаменко А.А. Модель прийняття рішення щодо структури комплексного впливу на критичні об'єкти противника / А.А. Адаменко // Труди університету: збірник наукових праць. – К.: Національний університет оборони України. – 2010. – № 4 (97). – С. 146 – 154.*

2. *Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. – 24. – P. 65-75.*

3. *Аршинский Л.В. Парадоксы нечеткого оценивания / Л.В. Аршинский // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2007): труды VII Международной конференции / Под ред. З.К. Авдеевой, С.В. Ковриги. - М.: Институт проблем управления РАН, 2007. С. 20-23.*

4. *Carvahlo J.P. Rule Based Fuzzy Cognitive Maps – A Comparison with fuzzy Cognitive Maps / J.P. Carvahlo, J.A.B. Tom // Proceedings of the NAFIPS99, NY, USA 1999.*

5. *Голота Я.Я. О формализации логики неполных знаний (логики антонимов) / Я.Я. Голота // Логика и развитие научного знания : межвуз. сб.; [под. ред. И.Н. Бродского, Я.А. Слинина]. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1992. - С. 92-112.*

6. *Кульба В.В. и др. Сценарии управления государством (на примере Союза Сербии и Черногории) / В.В. Кульба и др. // Проблемы управления. 2005. – № 5. – С. 33-42.*

Надійшла до редколегії 23.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЯХ ВОЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ НА БАЗЕ ЛОГИКИ АНТОНИМОВ

А.А. Адаменко

На основе сравнительного анализа с методами теории нечетких множеств доказана целесообразность использования методов логики антонимов при моделировании импульсных процессов в когнитивных моделях слабоструктурированных систем и ситуаций в условиях нестохастической неопределенности. Предложен подход расчета величин непрямого и суммарного влияния факторов друг на друга в отдельных видах когнитивных моделей, которые построены на базе логики антонимов

Ключевые слова: *импульсный процесс, когнитивное моделирование, логика антонимов, нечеткие множества.*

A DESIGN OF IMPULSIVE PROCESSES IS IN COGNITIVE MODELS OF MILITARY OPERATIONS ON BASE OF LOGIC OF ANTONYMS

A.A. Adamenko

On the basis of comparative analysis with the methods of theory of fuzzy plurals expedience of the use of methods of logic of antonyms is well-proven at the design of impulsive processes in the cognitive models of the poorly structured systems and situations in the conditions of unstochastic vagueness. Offered approach in relation to the calculation of sizes of indirect and total influence of factors on each other in the separate types of cognitive models which are built on the base of logic of antonyms

Keywords: *impulsive process, cognitive design, logic of antonyms, fuzzy plurals.*