

УДК 004.827:519.722

Ігор КОВАЛЕНКО

igor.kovalenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2655-6667

Альона ШВЕД

helenashv@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4372-7472

м. Миколаїв

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РІВНЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В УМОВАХ РІЗНОЇ СТРУКТУРИ ЕКСПЕРТНИХ СВДОЦТВ

У роботі розглянуті міри, що дозволяють кількісно оцінити рівень невизначеності та конфлікту для групи експертних оцінок, сформованих в рамках нотації математичної теорії свідочств. Розглянуті міри, використовують ентропію як міру невизначеності, та функції довіри, правдоподібності та пігністичної ймовірності. Такі міри дозволяють виявляти різних види конфлікту, що виникають при взаємодії фокальних елементів всередині групи свідочств і дозволяють оцінити якість одержуваних свідочств. В роботі досліджено зв'язок між значеннями розглянутих мір і структурою експертних свідочств.

Ключові слова: невизначеність, конфлікт, міра протиріччя, теорія свідочств.

Постановка проблеми. Прийняття рішень являє собою творчий інтелектуальний процес, важливе місце в якому займає досвід і знання фахівців (експертів), і базується на системному використанні сучасних математичних методів аналізу експертних оцінок. При аналізі групових експертних оцінок ефективні результати можуть бути отримані при правильному виборі та застосуванні методів аналізу експертної інформації, що в свою чергу, дає можливість отримувати ефективні результати при моделюванні відповідних предметних і проблемних галузей знань. Такий вибір повинен враховувати різні форми незнання, під якими розуміють ситуації, коли необхідна інформація або відсутня, або недостатня, або представлена у невідповідній формі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки з'явився ряд публікацій [1-3], де автори виділяють наступні форми незнання: неповнота – ситуації, при яких деякі дані невідомі, але вся доступна інформація повна і коректна; нечіткість – ситуації, при яких достовірність інформації не викликає сумнівів, проте ця інформація не точна; невизначеність – ситуації, при яких вся доступна інформація може бути істинною або хибною, і може бути оцінена з використанням ймовірнісних оцінок.

До теперішнього часу аналіз зазначених форм незнання виконувався методами теорії ймовірностей та теорії нечітких множин. Однак теорія ймовірностей призначена для моделювання та оцінки елітерної (*aleatory*) або об'єктивної невизначеності, тобто невизначеності, безпосередньо пов'язаної із самою аналізованою випадковою величиною, в той час як існує і інший вид невизначеності – епістемічна (*epistemic*) чи суб'єктивна, тобто невизначеність, пов'язана з обсягом та достовірністю інформації, на підставі якої визначають ймовірнісні оцінки таких подій. До того ж на практиці можуть бути ситуації, в яких одночасно присутні різні форми незнання, наприклад, комбінація невизначеності та неточності. Наприклад, при проведенні експертизи не обґрунтовано були обрані методи виявлення та (або) аналізу експертної інформації (фактор породжує ситуацію неточності одержуваних даних); при проведенні аналізу експертної інформації не була врахована (не була надана) інформація про компетентність експертів (фактор породжує ситуацію невизначеності щодо отриманих даних). Такі комбінації форм незнання можуть бути промодельовані методами теорії свідочств Демпстера–Шейфера (ТДШ) [5, 12].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження підходів, які використовуються для опису та числового вимірювання невизначеності в теорії свідочств, і аналіз залежності рівня конфлікту і міри протиріччя свідочств від їх структури.

Виклад основного матеріалу. Припустимо задана основа аналізу $\Omega = \{\omega_i \mid i = \overline{1, n}\}$, що являє собою множину вихідних даних (вичерпних та взаємовиключних) [5, 12].

Основу теорії свідочств складають три базові функції ($\forall X \subseteq \Omega$) [12, 4]:

– основна маса ймовірності (*basic belief assignment*) $m: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$:

$$\sum_{X \subseteq \Omega} m(X) = 1; \quad m(\emptyset) = 0; \quad (1)$$

– функція довіри (*belief function*) $Bel: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$:

$$Bel(X) = \sum_{B \subseteq X} m(B); \quad (2)$$

– функція правдоподібності (*plausibility function*) $Pl: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$:

$$Pl(X) = \sum_{B \cap X \neq \emptyset} m(B), \quad (3)$$

де 2^Ω – показникова множина, що є сукупністю всіх підмножин Ω , включаючи порожню множину \emptyset .

В роботі [9] авторами було виділено дві форми невизначеності в теорії свідочств: не специфічність (*non-specificity*) та конфлікт (*conflict*).

Перший вид невизначеності – не специфічність (*non-specificity*), залежить від кардинальності сформованих фокальних елементів, та дозволяє визначити наскільки основні маси ймовірності фокальних елементів є неточними.

В [6] запропонована міра, в основу якої покладена ентропія Хартлі [7], що дозволяє кількісно визначити міру не специфічності:

$$N(m) = \sum_{X \subseteq \Omega, X \neq \emptyset} m(X) \log_2(|X|), \quad 0 \leq N(m) \leq \log_2(|\Omega|). \quad (4)$$

Міра $N(m)$ отримала назву зважена ентропія Хартлі (*Weighted Hartley entropy*). Міра $N(m)$ приймає мінімальне значення для одноелементних фокальних елементів (синглетонів), та досягає максимуму при $X = \Omega$, $m(X) = m(\Omega) = 1$.

В свою чергу в [14] Ягер запропонував міру, що дозволяє кількісно оцінити якість свідочств:

$$S(m) = \sum_{X \subseteq \Omega, X \neq \emptyset} \frac{m(X)}{|X|}, \quad \frac{1}{|\Omega|} \leq S(m) \leq 1. \quad (5)$$

Міра (5) отримала назву міра специфічності.

Другий вид невизначеності, що отримав назву конфлікт, диссонанс, виникає, коли дві (чи більше) гіпотези (свідочства) суперечать одна одній. У [10], під конфліктом розуміється протиріччя, що виникає між двома (або більше) функціями основної маси ймовірності m_1 та m_2 .

В даний час існує значна кількість мір, що дозволяють оцінити значення конфлікту всередині групи свідочств, більшість з яких є розширенням ентропії Шеннона [13]:

– міра конфлікту, в основі якої лежить функція довіри [14]

$$Ds(m) = - \sum_{X \in 2^\Omega} m(X) \log_2(Pl(X)); \quad (6)$$

– міра конфлікту, в основі якої лежить функція правдоподібності [8]

$$C(m) = - \sum_{X \in 2^\Omega} m(X) \log_2(Bel(X)); \quad (7)$$

– міра конфлікту, в основі якої лежить функція пігністичної ймовірності [10]

$$E(m) = - \sum_{X \in 2^\Omega} m(X) \log_2(betP(X)), \quad (8)$$

де $betP(X) = \sum_{B \in 2^\Omega, B \neq \emptyset} \frac{|X \cap B|}{|B|} m(B)$, $\forall X: |X| > 1$; при $|X| = 1$ маємо $betP(X) = \sum_{B \in 2^\Omega, X \subseteq B} \frac{1}{|B|} m(B)$ [11].

В [10] визначено поняття протиріччя (*contradiction*). Міра протиріччя є числовим еквівалентом того, наскільки значення основної маси ймовірності фокальних елементів суперечать один одному, в рамках виділеної групи свідочств, і дозволяє охарактеризувати величину конфлікту всередині групи свідочств.

Міра протиріччя фокального елементу X визначається як відстань між вектором $m(\cdot)$ фокальних елементів групи свідочств та значенням m_X

$$\text{Contr}_m(X) = d(m, m_X), \quad (9)$$

де $\forall X_i, X_j \subseteq \Omega$

$$m_{X_j}(X_i) = \begin{cases} 1, & i = j, i = \overline{1, s}; \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$$

Міра протиріччя групи експертних свідочств може бути розрахована як зважене значення міри (9) для всіх фокальних елементів групи, $\text{Contr}_m \in [0, 1]$:

$$\text{Contr}_m = \sum_{X \in 2^\Omega} m(X) d(m, m_X). \quad (10)$$

Проаналізуємо на числових прикладах залежність визначених мір невизначеності від структури експертних свідочств.

Припустимо, що задана основа аналізу $A = \{A_j \mid j = \overline{1, 4}\}$. Множина $X = \{B_i \mid i = \overline{1, s}\}$, $s = 2^{|A|}$, являє собою сукупність фокальних елементів $B_i \subseteq A$, що виділені на основі однієї групи свідочств. Розглянемо докладніше ситуації, при яких свідочства, утворюють різні види структур.

1. Експертні свідочства із роздільною структурою:

$$\forall B_i, B_j \subseteq X: B_i \cap B_j = \emptyset, \quad (11)$$

$$B_1 = \{A_1\}, B_2 = \{A_2\}, B_3 = \{A_3\}, B_4 = \{A_4\}.$$

Група свідочств 1: $m_1(B_1) = 0,5$; $m_1(B_2) = 0$; $m_1(B_3) = 0,5$; $m_1(B_4) = 0$.

$$\text{Contr}_{m_1}(B_1) = 0,5; \quad \text{Contr}_{m_1}(B_3) = 0,5;$$

Група свідочств 2: $m_2(B_1) = 0,1$; $m_2(B_2) = 0$; $m_2(B_3) = 0,9$; $m_2(B_4) = 0$.

$$\text{Contr}_{m_2}(B_1) = 0,9; \quad \text{Contr}_{m_2}(B_3) = 0,1;$$

Група свідочств 3: $m_3(B_1) = 0,1$; $m_3(B_2) = 0,1$; $m_3(B_3) = 0,8$; $m_3(B_4) = 0$.

$$\text{Contr}_{m_3}(B_1) = 0,85; \quad \text{Contr}_{m_3}(B_2) = 0,85; \quad \text{Contr}_{m_3}(B_3) = 0,17;$$

Група свідочств 4: $m_4(B_1) = 1/3$; $m_4(B_2) = 1/3$; $m_4(B_3) = 1/3$; $m_4(B_4) = 0$.

$$\text{Contr}_{m_4}(B_1) = 0,58; \quad \text{Contr}_{m_4}(B_2) = 0,58; \quad \text{Contr}_{m_4}(B_3) = 0,58;$$

Група свідочств 5: $m_5(B_1) = 0,2$; $m_5(B_2) = 0,3$; $m_5(B_3) = 0,1$; $m_5(B_4) = 0,4$.

$$\text{Contr}_{m_5}(B_1) = 0,67; \quad \text{Contr}_{m_5}(B_2) = 0,59; \quad \text{Contr}_{m_5}(B_3) = 0,74; \quad \text{Contr}_{m_5}(B_4) = 0,5;$$

Група свідочств 6: $m_6(B_1) = 0,25$; $m_6(B_2) = 0,25$; $m_6(B_3) = 0,25$; $m_6(B_4) = 0,25$.

$$\text{Contr}_{m_6}(B_1) = 0,61; \quad \text{Contr}_{m_6}(B_2) = 0,61; \quad \text{Contr}_{m_6}(B_3) = 0,61; \quad \text{Contr}_{m_6}(B_4) = 0,61.$$

Фокальні елементи групи свідочств, що мають однакові значення функції основної маси ймовірності $m(\cdot)$, мають рівні значення міри протиріччя (9). Значення міри (9) збільшується по мірі зменшення значення основної маси ймовірності $B_i \subseteq A$.

В умовах рівномірного розподілу значень функції основної маси ймовірності $\forall B_i \subseteq A$, значення міри (10) збільшується по мірі збільшення кількості сформованих фокальних елементів (групи свідочств 1, 4, 6).

При однакової кількості фокальних елементів, значення міри (10) завжди більше при умові рівномірного розподілу значень функції m .

Значення мір (4) – (10) для роздільної структури експертних свідочств наведені у таблиці 1.

Міра (4) безпосередньо пов'язана із кардинальністю фокальних елементів, і досягає мінімального значення $N(m) = 0$, якщо всі фокальні елементи $B_i \subseteq A$ є синглетонами ($\forall B_i: |B_i| = 1$). Для наведеного прикладу максимальне значення міри може сягнути $\max(N(m)) = \log_2(|A|) = \log_2(4) = 2$.

Значення мір невизначеності для свідочств із роздільною структурою

	$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$	$m_6(\cdot)$		$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$	$m_6(\cdot)$
N	0	0	0	0	0	0	E	1	0,47	0,92	1,58	1,85	2
S	1	1	1	1	1	1	C	1	0,47	0,92	1,58	1,85	2
Ds	1	0,47	0,92	1,58	1,85	2	$Contr_m$	0,5	0,18	0,31	0,58	0,59	0,61

Дані таблиці 1 свідчать про те, що міра $S(m)$ досягає максимального значення ($\forall B_i : S(m) = 1$), це обумовлено тим, що всі фокальні елементи є синглетонами.

Що стосується мір (6)-(8), то для кожної групи свідочств виконується умова $E(m) = Ds(m) = C(m)$. Міри (6)–(8), є чутливими до кількості виділених фокальних елементів $B_i \subseteq A$, і до відповідних значень $m(B_i)$. При однакової кількості виділених фокальних елементів для різних груп експертних свідочств, значення мір (6)–(8) будуть більше при виконанні умови $\forall i, j : m(B_i) = m(B_j)$ (групи свідочств 1 та 2). Значення мір (6)-(8) буде зростати по мірі збільшення кількості фокальних елементів у групі, що мають однакові значення функції m (груп свідочств 1, 4, 6), і досягнуть максимуму, за умови рівномірного вибору всіх альтернатив (група свідочств 6). Таким чином, рівень невизначеності, що пов'язана із множиною A буде максимальним, якщо: $\forall (B_i, B_j \subset A) : m(B_i) = m(B_j), |B_i| = |B_j| = 1$.

2. Експертні свідочства із сумісною структурою

$$B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_i \cap \dots \cap B_s \neq \emptyset. \quad (12)$$

2.а Різна кардинальність фокальних елементів:

$$B_1 = \{A_1\}, \quad B_2 = \{A_1, A_2\}, \quad B_3 = \{A_1, A_3, A_4\}.$$

Група свідочств 1: $m_1(B_1) = 1/3$; $m_1(B_2) = 1/3$; $m_1(B_3) = 1/3$;

$$Contr_{m_1}(B_1) = 0,42; \quad Contr_{m_1}(B_2) = 0,45; \quad Contr_{m_1}(B_3) = 0,51;$$

Група свідочств 2: $m_2(B_1) = 0,5$; $m_2(B_2) = 0$; $m_2(B_3) = 0,5$;

$$Contr_{m_2}(B_1) = 0,41; \quad Contr_{m_2}(B_3) = 0,58;$$

Група свідочств 3: $m_3(B_1) = 0$; $m_3(B_2) = 0,5$; $m_3(B_3) = 0,5$;

$$Contr_{m_3}(B_2) = 0,43; \quad Contr_{m_3}(B_3) = 0,56;$$

Група свідочств 4: $m_4(B_1) = 0,1$; $m_4(B_2) = 0$; $m_4(B_3) = 0,9$;

$$Contr_{m_4}(B_1) = 0,73; \quad Contr_{m_4}(B_3) = 0,66;$$

Група свідочств 5: $m_5(B_1) = 0,9$; $m_5(B_2) = 0$; $m_5(B_3) = 0,1$;

$$Contr_{m_5}(B_1) = 0,08; \quad Contr_{m_5}(B_3) = 0,66.$$

Наведені розрахунки демонструють, що при рівномірному розподілі значень функції m та різної кардинальності фокальних елементів однієї групи свідочств, значення міри (9) збільшується із збільшенням кардинальності фокального елемента (групи свідочств 1, 2).

За наявності конфлікуючих значень функції m (групи свідочств 4, 5), значення міри (9) збільшується із збільшенням основної маси ймовірності фокального елемента. Якщо $|B_i| \leq |B_j|$, $m(B_i) > m(B_j)$ і $m(B_i) + m(B_j) = 1$, то значення $Contr_m(B_i)$ і $Contr_m(B_j)$ розрізняються у значній мірі (група свідочств 5), якщо $|B_i| < |B_j|$, $m(B_i) < m(B_j)$ і $m(B_i) + m(B_j) = 1$, то значення $Contr_m(B_i)$ і $Contr_m(B_j)$ розрізняються у не значній мірі (група свідочств 4).

Значення мір (4) – (10) для сумісних експертних свідочств, які мають різну кардинальність, наведені у таблиці 2.

Міра $Ds(m)$ приймає значення 0 для всіх груп свідочств через те, що $\forall (B_i \subset A) : Pl(B_i) = 1$. Міра $C(m)$ дозволяє ідентифікувати конфлікт між $m(B_i)$ та $m(B_j)$, при умові $B_i \not\subset B_j$. Найбільшого

значення міра $C(m)$ досягає для групи свідочів 3, оскільки $m_3(B_2) = m_3(B_3)$, і $m_3(B_2)$ знаходяться у конфлікті із $m_3(B_3)$ ($|B_2| < |B_3|$, $B_2 \subset B_3$). Достатньо високе значення міра $C(m)$ приймає для 1 групи свідочів через те, що існує конфлікт між $m_1(B_2)$ та $m_1(B_3)$, але $C(m_1) < C(m_3)$ за рахунок фокального елемента B_1 ($(B_1 \subset B_2) \vee (B_1 \subset B_3)$, $m_1(B_1) = m_1(B_2) = m_1(B_3)$).

Таблиця 2

Значення мір невизначеності для свідочів із сумісною структурою (ситуація 2.а)

	$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$		$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$
N	0,862	0,79	1,292	1,43	0,16	E	0,737	0,5	0,5	0,33	0,14
S	0,611	0,67	0,417	0,4	0,93	C	0,918	0,5	1	0,33	0,14
Ds	0	0	0	0	0	$Contr_m$	0,46	0,49	0,5	0,67	0,14

Міра $E(m)$ дозволяє врахувати всі індивідуальні конфлікти, що виникають усередині групи свідочів, приймаючи до уваги кардинальність фокальних елементів, залучених у конфлікт. Міра $E(m)$ досягає найбільшого значення для групи свідочів 1 (існує три індивідуальних конфлікти між $m_1(B_1)$ та $m_1(B_2)$ зі ступенем $|B_2 - B_1|/|B_2| = 1/2$; $m_1(B_1)$ і $m_1(B_3)$ зі ступенем $|B_3 - B_1|/|B_3| = 2/3$; $m_1(B_2)$ і $m_1(B_3)$ зі ступенем $|B_3 - B_2|/|B_3| = 1/3$).

Найменшого значення міри $C(m)$ та $E(m)$ досягають для групи свідочів 5, оскільки виділено 2 фокальних елемента B_1 і B_3 , $B_1 \subset B_3$, найбільше значення основної маси ймовірності має фокальний елемент B_1 .

Для груп експертних свідочів 2, 4, 5 значення мір $C(m)$ та $E(m)$ однакові, оскільки $\forall(B_i \subset A) : Bel(B_i) = bet(B_i)$.

2.6 Однакова кардинальність фокальних елементів:

$$B_1 = \{A_1, A_2\}, \quad B_2 = \{A_1, A_3\}, \quad B_3 = \{A_1, A_4\}.$$

Група свідочів 1: $m_1(B_1) = 0,5$; $m_1(B_2) = 0,5$; $m_1(B_3) = 0$;

$$Contr_{m_1}(B_1) = 0,41; \quad Contr_{m_1}(B_2) = 0,41;$$

Група свідочів 2: $m_2(B_1) = 1/3$; $m_2(B_2) = 1/3$; $m_2(B_3) = 1/3$;

$$Contr_{m_2}(B_1) = 0,47; \quad Contr_{m_2}(B_2) = 0,47; \quad Contr_{m_2}(B_3) = 0,47;$$

Група свідочів 3: $m_3(B_1) = 0,1$; $m_3(B_2) = 0,9$; $m_3(B_3) = 0$;

$$Contr_{m_3}(B_1) = 0,73; \quad Contr_{m_3}(B_2) = 0,08;$$

Група свідочів 4: $m_4(B_1) = 0,9$; $m_4(B_2) = 0,1$; $m_4(B_3) = 0$;

$$Contr_{m_4}(B_1) = 0,08; \quad Contr_{m_4}(B_2) = 0,73.$$

Група свідочів 5: $m_5(B_1) = 0,2$; $m_5(B_2) = 0,4$; $m_5(B_3) = 0,4$;

$$Contr_{m_5}(B_1) = 0,57; \quad Contr_{m_5}(B_2) = 0,43; \quad Contr_{m_5}(B_3) = 0,43.$$

Значення міри (9) для фокальних елементів груп свідочів, що задовольняють умові (12), менше, ніж для фокальних елементів груп свідочів, що задовольняють умові (11), за умови рівномірного розподілу значень функції $m()$.

Значення мір (4) – (10) для сумісних експертних свідочів, що мають однакову кардинальність, наведені у таблиці 3.

Для кожної групи експертних свідочів, значення мір (6) – (8) задовольняють умові $Ds(m) \leq E(m) \leq C(m)$, оскільки $Bel(B_i) \leq betP(B_i) \leq Pl(B_i)$. Міра $Ds(m)$ набуває значення 0 для всіх груп експертних свідочів оскільки $\forall(B_i \subset A) : Pl(B_i) = 1$. Міри $E(m)$ та $C(m)$ досягають найменшого значення для групи експертних свідочів 3.

Міра $E(m)$ досягає найбільшого значення для групи експертних свідочів 5, а міра $C(m)$ – для групи експертних свідочів 2.

Значення мір невизначеності для свідочств із сумісною структурою (ситуація 2.б)

	$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$		$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	$m_4(\cdot)$	$m_5(\cdot)$
N	1	1	1	1	1	E	0,42	0,86	0,15	0,153	0,87
S	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	C	1	1,59	0,47	0,469	1,52
Ds	0	0	0	0	0	$Contr_m$	0,41	0,47	0,15	0,15	0,47

Висновки і перспективи досліджень. В роботі розглянуті міри, що характеризують кількість невизначеності, пов'язаної із фокальними елементами, сформованими в межах однієї групи свідочств, та відповідними їм значеннями основних мас ймовірності. Розглянуті міри дозволяють чисельно оцінити конфлікт і ступінь суперечливості (протиріччя) окремих фокальних елементів і груп свідочств в цілому, що дозволяє говорити про якість отриманих свідочств. В роботі досліджено зв'язок між значеннями розглянутих мір і структурою експертних свідочств. Проаналізовано тенденції зміни рівня конфлікту і міри протиріччя свідочств в залежності від їх структури та кардинальності фокальних елементів всередині групи свідочств.

Список використаних джерел

1. Вагин В. Н. Знание в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин // Новости искусственного интеллекта. — 2002. — № 6. — С. 8—18.
2. Душкин Р. В. Об одном подходе к автоматизированному извлечению, представлению и обработке знаний с НЕ-факторами / Р. В. Душкин, Г. В. Рыбина // Изв. РАН. ТИСУ. — 1999. — № 5. — С. 84—96.
3. Рыбина Г. В. Модели, методы и программные средства для построения интегрированных экспертных систем: автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.13.11 / Г. В. Рыбина. — М., 2004. — 44 с.
4. Veynon M. J., Curry B., and Morgan P. [2000], «The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modelling». *Omega*, Vol. 28, No. 1, PP. 37—50.
5. Dempster A. P. [1968a], «A generalization of Bayesian inference». *Journal of the Royal Statistical Society*, Ser. B, 30, PP. 205—247.
6. Dubois D., and Prade H. [1985], «A note on measures of specificity for fuzzy sets», *International Journal of General Systems*, Vol. 10, No. 4, PP. 279—283.
7. Hartley R. V. L. [1928], «Transmission of information». *The Bell System Technical Journal*, 7 (3), PP. 535—563.
8. Hohle U. [1982], «Entropy with respect to plausibility measures». *Proceedings of 12th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic*, PP. 167—169.
9. Klir G. J. [1994], «Measures of uncertainty in the Dempster-Shafer theory of evidence», *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence*, John Wiley and Sons, New York, R. R. Yager and M. Fedrizzi and J. Kacprzyk edition, PP. 35—49.
10. Smarandache F., Martin A., and Osswald C. [2011], «Contradiction measures and specificity degrees of basic belief assignments». *Proc. of 14th International Conference on Information Fusion*, Chicago, USA, PP. 475—482.
11. Smets P. [1991], «Constructing the pignistic probability function in a context of uncertainty», *Uncertainty in Artificial Intelligence*, Vol. 5, PP. 29—39.
12. Shafer G. [1976a], *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
13. Shannon C. E. [1948], «The mathematical theory of communication». *The Bell System Technical Journal*, 27 (3&4), PP. 379—423, 623—656.
14. Yager R. R. [1983], «Entropy and specificity in a mathematical theory of evidence». *International Journal of General Systems*, Vol. 9, No. 4, PP. 249—260.

Igor KOVALENKO, Alyona SHVED

Mykolayiv

A STUDY OF THE DYNAMICS OF THE LEVEL OF UNCERTAINTY UNDER DIFFERENT STRUCTURES OF EXPERT EVIDENCES

This article considers several measures that allow to quantify the level of uncertainty and conflict appearing while confronting several experts. These measures are based on entropy approach by using basic belief assignment and belief, plausibility or pignistic probability function, and used to identify different types of conflict arising from the interaction of focal elements inside the group of evidence, and allow to estimate the quality of the evidence. The interrelation between the considered measures and structure of expert evidence are studied.

Keywords: uncertainty, conflict, non-specificity, Evidence theory.

Игорь КОВАЛЕНКО, Алена ШВЕД
г. Николаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УРОВНЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЕ ЭКСПЕРТНЫХ СВИДЕТЕЛЬСТВ

В работе рассмотрены меры, позволяющие количественно оценить уровень неопределенности и конфликта для группы экспертных оценок, сформированных в рамках нотации математической теории свидетельств. Рассмотренные меры, используют энтропию как меру неопределенности, и функции доверия, правдоподобности и пигнистической вероятности. Такие меры позволяют выявлять различные виды конфликта, которые возникают при взаимодействии фокальных элементов внутри группы свидетельств и позволяют оценить качество получаемых свидетельств. В работе исследована связь между значениями рассматриваемых мер и структурой экспертных свидетельств.

Ключевые слова: неопределенность, конфликт, мера противоречивости, теория свидетельств.

Стаття надійшла до редколегії 05.04.2017