

## **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ТЕРНАРНИХ ПОРІВНЯНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОЛЕКТИВНИХ РІШЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ VisTerComp**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Проаналізовано реальний датасет, отриманий з допомогою розробленого авторами вебзастосунок VisTerComp, і виявлено два прояви непрофесійності та експертної недоброчесності: пасивність експертів та рандомність оцінок (Н-прояви). Для дослідження та зменшення негативного впливу ненадійних результатів окремих експертів на загальні колективні результати ранжування альтернатив розроблено підходи до імітаційного моделювання та спроектовано і реалізовано відповідний модуль симуляції в середовищі VisTerComp. Сплановано і проведено серії імітаційних експериментів з нульовими та випадковими візуальними тернарними порівняннями в різних співвідношеннях. На основі аналізу результатів симуляції для різної кількості альтернатив визначено області толерантності в просторі параметрів пасивності і суперечливості думок. З метою підвищення надійності колективних експертних результатів та захисту від Н-проявів в інформаційній технології VisTerComp запропоновано порівняння обчислених значень показників некомпетентності, суперечливості думок і пасивності експертів із заданими максимально допустимими значеннями. Розроблено рекомендації щодо вибору значень параметрів із областей толерантності, які дозволяють з імовірністю до 99 % відфільтрувати ненадійні індивідуальні результати експертів з Н-проявами. Запропоновано і впроваджено у вебзастосунок VisTerComp нову опцію виключення ненадійних індивідуальних результатів, що дає змогу порівняти відповідні надійніші колективні результати експертизи із загальними результатами для всіх експертів. Заплановано подальше впровадження вебзастосунку VisTerComp на практиці та в навчальному процесі з метою поглибленого дослідження впливу нових опцій та налаштувань на надійність колективних експертних рішень у разі застосування інформаційної технології ранжування альтернатив на основі візуальних тернарних порівнянь.*

**Ключові слова:** візуальні тернарні порівняння, ранжування альтернатив, інформаційна технологія, вебзастосунок VisTerComp, імітаційне моделювання, пасивність експертів, рандомність оцінок, колективні рішення, надійність результатів.

### **Вступ**

Застосування інформаційних технологій класу VisTerComp для ранжування альтернатив на основі візуальних тернарних порівнянь (ВТП) [1]—[5] під час розв'язання практичних задач прийняття колективних рішень [1], [2], [6], [7] та в навчальному процесі [1], [2], [8], [9] продемонструвало їх успішність та перспективність. Цікавим матеріалом (датасетом) для аналізу є масив індивідуальних електронних звітів понад 140 студентів-експертів з шести академічних груп ВНТУ.

Оскільки інформаційні технології класу VisTerComp дозволяють не лише обчислювати підсумкові центровані і нормовані кардинальні ранжування альтернатив, а і кількісно характеризувати суперечливість думок і некомпетентність експертів [2], [10], то автори передбачили в функціоналі однопольового вебзастосунку опцію виведення на екран переліку всіх експертів з їхніми індивідуальними характеристиками.

Науково обґрунтованих критеріїв розділення індивідуальних результатів колективних експертиз на надійні та ненадійні не було, тому доводилось задовольнятися суб'єктивними інтуїтивними оцінками. Тому автори поставили перед собою задачу провести імітаційне моделювання колективних рішень на основі візуальних тернарних порівнянь в середовищі VisTerComp з метою дослідження впливу різних факторів на надійність результатів експертиз.

*Метою роботи є імітаційне моделювання індивідуальних експертиз на основі візуальних*

тернарних порівнянь для дослідження впливу проявів непрофесійності та експертної недоброчесності окремих експертів на загальні результати та розробка рекомендацій для зменшення таких негативних впливів і підвищення надійності колективних експертних рішень.

### Результати дослідження

Після проведеного детального аналізу індивідуальних і колективних результатів в середовищі VisTerComp виявлено, що більшість студентів сумлінно виконували завдання, про що свідчила близькість результатів, отриманих ними в різних інформаційних технологіях класу VisTerComp, але деякі студенти виконували завдання формально, намагалися провести експертизу пошвидше та як-небудь. Про це свідчили дуже малий час на кожне ВТП (1—3 секунди) та великі значення показників суперечливості думок і некомпетентності. Переважна більшість таких студентів потрапила в перелік «червоних» експертів [8].

Дослідження студентського експертного датасету, проведене авторами, дозволило виявити два різних види непрофесійної та недоброчесної поведінки окремих студентів як експертів (назвемо їх *Н-проявами*):

– *пасивність експертів* (уникання оцінювання альтернатив), відповідає *нульовим ВТП*

$$S(i) = S(j) = S(k) = 0;$$

– *рандомність оцінок* (оцінювання альтернатив з випадковими значеннями висоти слайдерів), відповідає *рандомним ВТП*

$$S(i) = \text{random}(100); \quad S(j) = \text{random}(100); \quad S(k) = \text{random}(100),$$

де  $S(i)$ ,  $S(j)$ ,  $S(k)$  — значення висоти слайдерів в окремому ВТП.

Пасивність експерта проявляється в тому, що під час проведення ВТП він взагалі не користується ліфтами-слайдерами для визначення власних переважань щодо заданих альтернатив, а залишає їх на початкових нульових позначках.

Рандомність оцінок експерта під час проведення ВТП проявляється в переміщенні трійки слайдерів на випадкову висоту.

Очевидно, що обидва *Н-прояви* дозволяють зменшити когнітивне навантаження на експерта та час, витрачений на проведення експертизи, але можуть спотворювати загальні колективні рішення.

Звісно, можливе (і на практиці відбувалося) комбінування різних *Н-проявів*, коли певними експертами частина ВТП взагалі ігнорується, а інші ВТП виконуються рандомно.

Оскільки у вебзастосунку VisTerComp передбачена діагностична опція (обчислення показників суперечливості думок і некомпетентності експертів), постає питання: з якою ймовірністю розроблена авторами інформаційна технологія може виявляти різні комбінації *Н-проявів* шляхом віднесення відповідних експертів до «червоних»? Для дослідження цього питання авторами розроблено та інтегровано у вебзастосунок VisTerComp новий модуль симуляції колективних експертиз.

### Опис модуля та принципів симуляції колективних експертиз

Модуль симуляції колективних експертиз у вебзастосунку VisTerComp має інтерфейс для введення значень вхідних параметрів імітаційної моделі (*Simulation parameters*) та блок виведення результатів експертиз (*Collective results*) у вигляді числових значень та гістограм частот відповідних випадкових величин.

Вхідними варіативними параметрами імітаційної моделі (факторами), які є постійними впродовж одного прогону моделі, і задають умови симуляції, є:

- кількість альтернатив  $n$ ;
- кількість індивідуальних експертиз (експертів)  $N$ ;
- дискретність ліфтів-слайдерів для проведення ВТП  $\Delta S$ ;
- задана пасивність експертів  $PASS$ ;
- максимально допустима суперечливість думок  $CONTR_{\max}$ ;
- максимально допустима некомпетентність експертів  $INCOMP_{\max}$ .

Під час імітаційного моделювання відбувається генерування  $N$  індивідуальних експертиз в заданих умовах (для фіксованих значень  $n$ ,  $\Delta S$ ,  $PASS$ ). Для симуляції обох *Н-проявів* реалізується комбінування певної кількості нульових і рандомних ВТП.

Показник пасивності експерта  $PASS$  визначає відсоток нульових ВТП в експертизі, а всі інші

ВТП генеруються рандомно (висота слайдерів — випадкові числа, розподілені за рівномірним законом в межах від 0 до 100 з кроком  $\Delta S$ ).

Для всіх індивідуальних експертиз відбувається обчислення значень показників суперечливості думок і некомпетентності експертів.

Показник *суперечливості думок* експерта *CONTR* розраховується як відсоток породжених бінарних тривірневих порівнянь (БТП) [2], для яких відстань між відношеннями  $DIST = 2$ . Окремо розглядаються два випадки і відповідні показники  $CONTR(>>\sim)$  та  $CONTR(>\<)$ :

$$(a_i >> a_j) \wedge (a_i \sim a_j); \quad (a_i > a_j) \wedge (a_i < a_j),$$

де  $a_i, a_j$  — порівнювані альтернативи.

Показник *некомпетентності* експерта *INCOMP* розраховується як відсоток породжених БТП, для яких  $DIST > 2$ , тобто розглядаються інші два випадки:

$$(a_i >> a_j) \wedge (a_i < a_j); \quad (a_i > a_j) \wedge (a_i << a_j).$$

Зрозуміло, що виконуються умови

$$CONTR = (CONTR >> \sim) + (CONTR > \<);$$

$$0 \leq CONTR \leq 100; \quad 0 \leq (CONTR >> \sim) \leq 100; \quad 0 \leq (CONTR > \<) \leq 100;$$

$$0 \leq INCOMP \leq 100; \quad 0 \leq CONTR + INCOMP \leq 100.$$

Кожна з  $N$  згенерованих індивідуальних експертиз перевіряється на одночасне виконання умов

$$CONTR \leq CONTR_{\max}; \quad (1)$$

$$INCOMP \leq INCOMP_{\max} \quad (2)$$

та підраховуються кількість  $N^*$  індивідуальних експертиз, які задовольняють цим умовам.

Після симуляції колективної експертизи на екран виводяться:

- кількість експертів  $N^*$  ( $0 \leq N^* \leq N$ );
- гістограма випадкової величини *Sliders Val* (згенеровані значення висоти слайдерів);
- гістограма випадкової величини *Difference* (обчислені значення модуля різниць висоти слайдерів);
- гістограми випадкових величин *Contradiction >>\sim*; *Contradiction >\<*; *Incompetence*; *Contr + Incomp* (кількість експертів, що мають відповідні значення показників).

### Опис комп'ютерних імітаційних експериментів

Умови імітаційних експериментів задаються значеннями факторів  $n, N, \Delta S, PASS, CONTR_{\max}, INCOMP_{\max}$ .

Функція відгуку — це кількість експертів  $N^* \leq N$ , для яких виконуються задані умови.

Спочатку проведемо симуляцію та дослідження для великої вибірки індивідуальних експертиз з нульовою пасивністю експертів і такими значеннями вхідних параметрів, які забезпечують виконання умов (1), (2) для всіх експертиз  $N^* = N = 10000$ :

$$n = 5; \quad N = 10000; \quad \Delta S = 1; \quad PASS = 0; \quad CONTR_{\max} = 100; \quad INCOMP_{\max} = 100.$$

На рис. 1 можна побачити, що гістограма *Sliders Val* досить близька до щільності рівномірного розподілу (в першому інтервалі групування є лише одне значення, а в усіх інших — по п'ять).

Для дослідження впливу пасивності експертів змінимо значення фактора *PASS*, а інші параметри залишимо тими самими:

$$n = 5; \quad N = 10000; \quad \Delta S = 1; \quad PASS = 50; \quad CONTR_{\max} = 100; \quad INCOMP_{\max} = 100.$$

Очевидно (рис. 2), що пасивність експертів в половині ВТП призвела до різкого зростання висоти крайнього лівого стовпчика гістограми *Sliders Val* та значного зменшення висоти крайнього лівого стовпчика гістограми *Contradiction >>\sim*.

Суттєво змінилися не лише форми гістограм, а і значення показників суперечливості думок різних видів та співвідношення між ними: якщо  $PASS = 0$  (рис. 1), то

$$\frac{N\{CONTR(>> \sim) = 0\}}{N\{CONTR(> \<) = 0\}} = \frac{6613}{1087} \approx 6,08; \quad \frac{N\{CONTR(>> \sim) > 0\}}{N\{CONTR(> \<) > 0\}} = \frac{3387}{8913} \approx 0,38,$$

якщо  $PASS = 50$  (рис. 2), то

$$\frac{N\{CONTR(>>\ \sim) = 0\}}{N\{CONTR(>\ \leftarrow) = 0\}} = \frac{219}{4175} \approx 0,052; \quad \frac{N\{CONTR(>>\ \sim) > 0\}}{N\{CONTR(>\ \leftarrow) > 0\}} = \frac{9781}{5825} \approx 1,68.$$

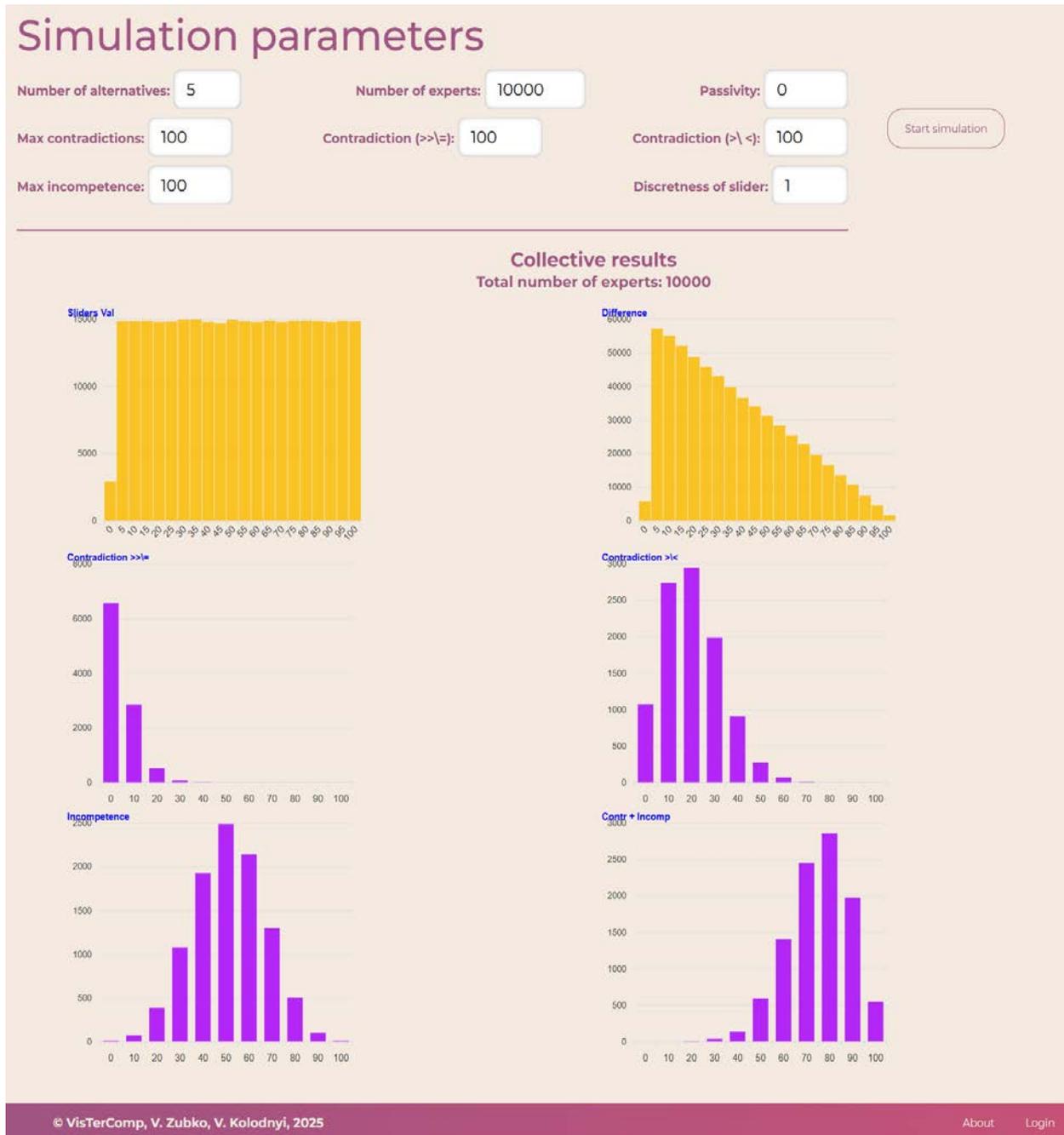


Рис. 1. Результати симуляції, коли  $PASS = 0$

Крім цього, коли  $PASS = 50$  помітний зсув гістограми *Incompetence* ліворуч (мода розподілу зменшилась на 30 одиниць).

Проаналізувавши результати симуляції з  $PASS = 50$  і порівнявши їх з результатами симуляції з  $PASS = 0$ , можна дійти висновку, що в цілому пасивність експертів знижує діагностичну здатність показника  $CONTR(>\ \leftarrow)$ , але підвищує діагностичну здатність показника  $CONTR(>>\ \sim)$ . Для детальнішого дослідження впливу різноманітних комбінацій Н-проявів (тобто значень параметрів  $PASS$  і  $CONTR$ ) сплановано і реалізовано відповідні серії імітаційних експериментів.

На рис. 3 показано результати дослідження залежності середнього значення функції відгуку  $N^*$  (10 експериментів) від зміни значень фактора  $PASS$  в межах від 0 до 100 з кроком 10 за фіксації значень всіх інших факторів на таких рівнях:

$$N = 10000; \quad \Delta S = 10; \quad CONTR_{\max} = 50; \quad INCOMP_{\max} = 0.$$



Рис. 2. Результати симуляції з  $PASS = 50$

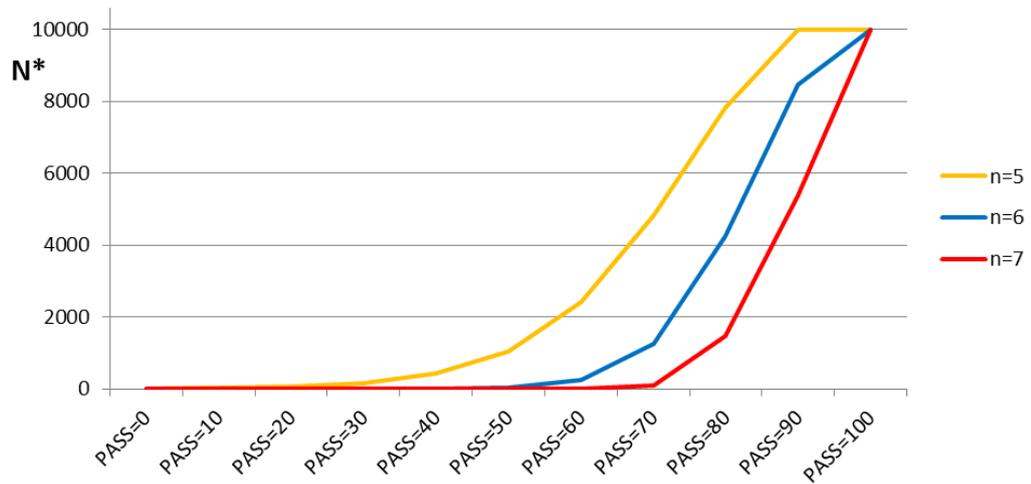
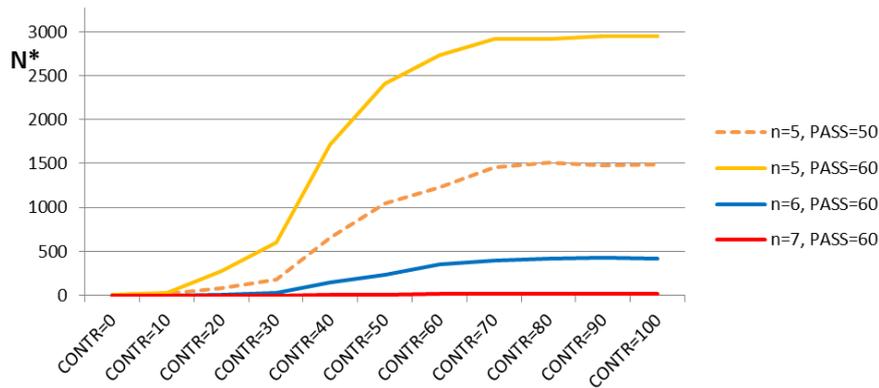


Рис. 3. Залежність функції відгуку від фактора  $PASS$

На рис. 4 подано результати дослідження залежності середнього значення функції відгуку  $N^*$  від зміни значень фактора  $CONTR_{\max}$  в межах від 0 до 100 з кроком 10 при фіксації значень всіх інших факторів на таких рівнях:

$$N = 10000; \quad \Delta S = 10; \quad PASS = 60; \quad INCOMP_{\max} = 0.$$

Рис. 4. Залежність функції відгуку від фактора  $CONTR_{max}$ 

Очевидно, що для  $n = 5$  значення функції відгуку  $N^*$  істотно зростають зі збільшенням значення фактора  $PASS$  з 50 до 60.

### Рекомендації для підвищення надійності колективних рішень в середовищі VisTerComp

Під надійністю колективних експертних рішень в середовищі VisTerComp розумітимемо здатність розробленої інформаційної технології виявляти та відфільтровувати індивідуальні експертизи з Н-проявами.

Як показник, що характеризує надійність колективних рішень в середовищі VisTerComp, розглядатимемо ймовірність  $P$  розпізнання Н-проявів і віднесення відповідних результатів до ненадійних. Тоді ймовірність пропуску (нерозпізнання) Н-проявів

$$P^* = 1 - P.$$

Будемо оцінювати цю ймовірність як долю експертів, для яких виконуються умови (1), (2)

$$P^* = \frac{\overline{N^*}}{N}.$$

Очевидно, що для забезпечення значення  $P > 0,99$  потрібно виконання умови  $P^* < 0,01$ , яка для  $N = 10000$  виконується за умови  $\max\{N^*\} < 100$ , де  $\max\{N^*\}$  — максимальне значення функції відгуку в серії імітаційних експериментів. Отже, аналізуючи значення функції відгуку  $N^*$  у разі зміни факторів  $PASS$  та  $CONTR_{max}$ , можна виділити області толерантності в просторі цих параметрів, що відповідає умові  $P > 0,99$ .

Аналіз результатів симуляції індивідуальних експертиз з Н-проявами (за різних співвідношень пасивності і рандомності) в середовищі VisTerComp показав, що області толерантності суттєво залежать від кількості оцінюваних альтернатив  $n$ .

Виявилося, що коли  $n = 3$  та  $n = 4$ , області толерантності для  $P > 0,99$  взагалі не існують, тобто не гарантують такої ж високої надійності результатів, як у разі  $n = 5$ ,  $n = 6$ ,  $n = 7$ . Наприклад, за  $n = 4$  максимальне значення  $P = 0,97$  досягається лише для нульових значень показників некомпетентності, суперечливості думок і пасивності експертів, а з їх зростанням значення ймовірності розпізнання Н-проявів швидко спадає.

Результати проведених імітаційних експериментів відображені в таблиці.

#### Рекомендації щодо вибору значень параметрів $PASS_{max}$ і $CONTR_{max}$ з областей толерантності

Кількість альтернатив $n$	Кількість ВТП	Значення $PASS_{max}$	Значення $CONTR_{max}$	Ймовірність розпізнання Н-проявів $P$
4	4	0	0	>0,97
5	10	0...50	0...20	>0,99
		0...70	0...10	
6	20	0...60	0...30	>0,99
		0...70	0...20	
7	35	0...50	0...50	>0,99
		0...60	0...40	
		0...70	0...30	

Отже, для підвищення надійності колективних рішень в середовищі VisTerComp пропонується перевірка одночасного виконання таких умов для індивідуальних експертиз:

$$INCOMP_{\max} = 0; \quad PASS < PASS_{\max}; \quad CONTR < CONTR_{\max},$$

тобто некомпетентність експертів взагалі не допускається, а суперечливість думок і пасивність допускаються в межах областей толерантності для відповідної кількості альтернатив.

Проведені дослідження підтверджують, що вибір значень параметрів  $PASS_{\max}$  та  $CONTR_{\max}$  із зон толерантності забезпечує розпізнання комбінацій Н-проявів з імовірністю до 99 % і віднесення відповідних індивідуальних результатів до ненадійних з подальшою можливістю їх видалення із загальних результатів колективних експертиз.

## Висновки

Виявлено два Н-прояви непрофесійності та експертної недоброчесності у разі застосування інформаційної технології VisTerComp: пасивність експертів та випадковість оцінок.

Розроблено та інтегровано в середовище VisTerComp новий модуль симуляції індивідуальних експертиз з Н-проявами. Проведено серії імітаційних експериментів з нульовими та випадковими візуальними тернарними порівняннями в різних співвідношеннях для дослідження залежностей функції відгуку від керованих факторів. Визначено області толерантності в просторі параметрів пасивності і суперечливості думок для різної кількості альтернатив.

Для підвищення надійності колективних експертних рішень в середовищі VisTerComp розроблено рекомендації, які дозволяють відфільтрувати ненадійні індивідуальні результати експертів з імовірністю до 99 %. Запропоновано і впроваджено нову опцію виключення ненадійних індивідуальних результатів, що дає змогу порівняти надійніші колективні результати експертизи із загальними результатами для всіх експертів.

Заплановано подальше впровадження вебзастосунок VisTerComp на практиці і в навчальному процесі з метою поглибленого дослідження впливу нових опцій та налаштувань на надійність колективних експертних рішень на основі візуальних тернарних порівнянь.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] V. V. Kolodny, and V. V. Zubko, "Method and information technology for ranking alternatives based on visual ternary comparisons," *Information Technologies and Computer Engineering*, no. 59 (1), pp. 23-31, May. 2024. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>.
- [2] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Моделі і метрики для інформаційних технологій на основі візуальних тернарних порівнянь», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 113-120, 2025. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-178-1-113-120>.
- [3] В. В. Колодний, «Трирівневі ранжування та їх застосування для виявлення переважань», на *VII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2003)»*. Вінниця, Україна: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2003, с. 238.
- [4] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Метод некритеріального структурування множини альтернатив за допомогою аналізу тернарних трирівневих ранжувань», *Internet-Education-Science (IES-2014), Proceedings of the 9th International Scientific-Practical Conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014, с. 13-14.
- [5] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Застосування гештальт-ранжувань для виявлення переваг ОПП», *Internet-Education-Science (IES-2016), Proceedings of the tenth international scientific-practical conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, с. 43-44.
- [6] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Система підтримки колективних експертиз на основі візуальних тернарних порівнянь (вебзастосунок VisTerComp)», *Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації (2025)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/23670/19530>.
- [7] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Інформаційна технологія числової і логічної інтерпретації візуальних тернарних порівнянь», *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22224/18417>.
- [8] В. В. Зубко, і В. В. Колодний, «Аналіз впровадження вебзастосунок VisTerComp в навчальному процесі», *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/25363/20969>.
- [9] В. В. Зубко, «Інформаційна технологія для візуалізації та виявлення переважань», *Internet-Education-Science (IES-2016), Proceedings of the 10th International Scientific-Practical Conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, с. 58-59.
- [10] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Клас методів ранжування та некритеріального оцінювання об'єктів на основі візуальних тернарних порівнянь», *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/19021/15872>.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук ВНТУ

**Зубко Валентин Володимирович** — аспірант кафедри комп'ютерних наук, e-mail: valentyn.zubko@gmail.com ;  
**Колодний Володимир Володимирович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук,  
e-mail: kolodnyi@vntu.edu.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**V. V. Zubko<sup>1</sup>**  
**V. V. Kolodnyi<sup>1</sup>**

## **Simulation of Visual Ternary Comparisons to Increase the Reliability of Collective Decisions in the VisTerComp Environment**

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The analysis of a real dataset obtained using the VisTerComp web application developed by the authors was conducted, and two manifestations of unprofessionalism and expert dishonesty were identified: passivity of experts and randomness of the assessments (H-manifestations). To study and reduce the negative impact of unreliable results of individual experts on the overall collective results of ranking alternatives, approaches to simulation modeling were developed and the corresponding simulation module was designed and implemented in the VisTerComp environment. Series of simulation experiments with zero and random visual ternary comparisons in different ratios were planned and conducted. Based on the analysis of the simulation results, tolerance areas in the space of parameters of passivity and contradiction of opinions for a different number of alternatives were determined. In order to increase the reliability of collective expert results and protect against H-manifestations in the VisTerComp information technology, a comparison of the calculated values of the indicators of incompetence, contradiction of opinions and passivity of experts with the specified maximum permissible values was proposed. Recommendations have been developed for selecting parameter values from tolerance areas, which allow filtering out unreliable individual results of experts with H-manifestations with a probability of up to 99%. A new option for excluding unreliable individual results has been proposed and implemented in the VisTerComp web application, which allows comparing the corresponding more reliable collective results of the examination with the general results for all experts. Further implementation of the VisTerComp web application in practice and in the educational process is planned for the purpose of the in-depth study of the impact of new options and settings on the reliability of collective expert decisions when using the information technology of ranking alternatives based on visual ternary comparisons.*

**Keywords:** visual ternary comparisons, ranking of alternatives, information technology, VisTerComp web application, simulation, expert passivity, randomness of assessments, collective decisions, reliability of results.

**Zubko Valentyn V.** — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Science, e-mail: valentyn.zubko@gmail.com ;  
**Kolodnyi Volodymyr Volodymyrovych** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Computer Science, e-mail: kolodnyi@vntu.edu.ua