

УДК 519.86(075.8)

В. В. Колодний¹, Д. С. Кудрявцев¹

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЗУАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ТЕРНАРНИХ ГЕШТАЛЬТ-РАНЖУВАНЬ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розроблено нову інформаційну технологію, засновану на візуалізації тернарних гештальт-ранжувань та їхній подальшій комп'ютерній обробці. Під гештальт-ранжуванням розуміється одночасне пред'явлення особі, що приймає рішення (ОПР), декількох альтернатив для їхнього наочного порівняння з активізацією швидкої системи інтуїтивного мислення. Було зроблено висновок, що ОПР досить впевнено та надійно можуть одночасно оперувати трьома альтернативами і порівнювати їх на трьох рівнях, тобто здійснювати тернарні трірівневі гештальт-ранжування. Описано основні етапи та проаналізовано прикладні аспекти застосування даної інформаційної технології. Розроблена інформаційна технологія візуального моделювання та обробки тернарних гештальт-ранжувань не передбачає ніяких запитань до ОПР і не потребує від неї ніякої інформації в числовій або вербальній формі. Під час проведення кожного тернарного гештальт-ранжування візуалізується трійка альтернатив, які ОПР має розмістити на крузі переваг за принципом: чим вище якість альтернативи, тим ближче до центру круга переваг потрібно її розташувати. Це збільшує ефективність використання швидкого інтуїтивного мислення ОПР із залученням візуальної інформації та зорової пам'яті. Продемонстровано роботу комп'ютерної програми та наочно представлено основні та додаткові можливості даної інформаційної технології візуального моделювання на прикладі вибору мови програмування для реалізації програмного продукту. Створену комп'ютерну програму можна використовувати як ефективний інструмент виявлення переважань для розв'язання багатьох практичних задач прийняття рішень з цільовою та критеріальною невизначеністю.

Ключові слова: інформаційна технологія, тернарне гештальт-ранжування, візуальне моделювання, виявлення переважань, критеріальна невизначеність.

Аннотация. Разработана новая информационная технология, основанная на визуализации тернарных гештальт-ранжирований и их дальнейшей компьютерной обработке. Под гештальт-ранжированием понимается одновременное предъявление лицу, принимающему решение (ЛПР), нескольких альтернатив для их наглядного сравнения с активизацией быстрой системы интуитивного мышления. Был сделан вывод, что ЛПР достаточно уверенно и надежно могут одновременно оперировать тремя альтернативами и сравнивать их на трёх уровнях, то есть осуществляют тернарные трёхуровневые гештальт-ранжирования. Описаны основные этапы и проанализированы прикладные аспекты применения данной информационной технологии. Разработанная информационная технология визуального моделирования и обработки тернарных гештальт-ранжирований не предусматривает никаких вопросов к ЛПР и не требует от нее никакой информации в числовой или вербальной форме. Во время проведения каждого тернарного гештальт-ранжирования визуализируется тройка альтернатив, которые ЛПР должно разместить на круге предпочтений по принципу: чем выше качество альтернативы, тем ближе к центру круга предпочтений нужно ее располагать. Это увеличивает эффективность использования быстрого интуитивного мышления ЛПР с привлечением визуальной информации и зрительной памяти. Продемонстрирована работа компьютерной программы и наглядно представлены основные и дополнительные возможности данной информационной технологии визуального моделирования на примере выбора языка программирования для реализации программного продукта. Созданную компьютерную программу можно использовать как эффективный инструмент выявления предпочтений для решения многих практических задач принятия решений с целевой и критерильной неопределённостью.

Ключевые слова: информационная технология, тернарное гештальт-ранжирование, визуальное моделирование, выявление предпочтений, критерильная неопределённость.

Abstract. The new information technology based on the visualization of ternary gestalt-ranking and their subsequent computer processing has been developed. Under Gestalt-ranking means the simultaneous presentation for decision-maker of several alternatives for their visual comparison with the activation of the rapid system of intuitive thinking. It was concluded that decision-makers can confident and reliably operate at the same time with three alternatives and compare them at three levels, that is, to carry out ternary three-level gestalt rankings. The main stages are described and applied aspects of application of this information technology are analyzed. The information technology of visual modeling and processing of ternary gestalt-rankings is not designed to provide any questions to the decision-maker and does not require any information from him in numerical or verbal form. During each ternary-gestalt ranking, three alternatives are visualized, which decision-maker must place on the circle of advantages: the higher the quality of the alternative, the closer to the center of the circle of advantages it is necessary to position it. This increases the efficiency of using fast intuitive thinking of decision-maker with the use of visual information and visual memory. The work of the computer program is demonstrated and the basic and additional features of this information visual modeling technology are presented on an example of the choice of the programming language for the implementation of software product. The created computer program can be used as an effective detection of preferences tool for solving many practical tasks of decision making with target and criteria uncertainty.

Key words: information technology, ternary gestalt-ranking, visual modeling, detection of preferences, criteria uncertainty. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-42-2-26-34>.

Вступ

Кожна людина щоденно приймає багато різноманітних рішень, але більшість таких рішень відбувається інтуїтивно, на основі досвіду та здорового глузду. Існуючі системи підтримки прийняття рішень вимагають від ОПР навчання та певної фахової підготовки і спираються на запитання щодо переважань ОПР. Ці запитання потребують відповідей ОПР у вигляді значень числових або лінгвістичних змінних, що часто викликає труднощі. Оскільки переважна більшість практичних задач прийняття рішень є неструктурованими або слабо структурованими, коректність застосування для них багатьох існуючих строгих математичних методів викликає сумнів.

В. В. Колодний, Д. С. Кудрявцев, 2018

Актуальність

Слабо структуровані задачі прийняття рішень з цільовою та критеріальною невизначеністю зустрічаються на кожному кроці: це задачі конкурсного відбору, різноманітного рейтингування, експертного оцінювання, призначення на посаду тощо. Виявилося, що існуючі методи та інформаційні технології або взагалі не підходять для розв'язання таких задач прийняття рішень, або вони є занадто складними, трудомісткими та не наочними для ОПР. Тому завдання розробки нових надійних, наочних та простих в користуванні інформаційних технологій є актуальним.

Мета та задачі дослідження

Основною метою створення даної інформаційної технології було спрощення виконання ранжування у порівнянні з іншими методами та мінімізація когнітивних зусиль ОПР для підвищення надійності отримання результуючого ранжування альтернатив.

Ключовою задачею було створення принципіально нового інструменту визначення результуючого ранжування, базуючись на інтуїтивному сприйнятті та відносній простоті використання тернарних гештальт-ранжувань, що дає змогу значно збільшити цільову аудиторію та сфери застосування даної інформаційної технології. Додатковими задачами є адаптація під оптимальну для ОПР точність виявлення переваг, швидке виявлення можливих суперечливостей ОПР в реальному часі, демонстрація проміжних результатів, можливість збереження результатів для подальшої обробки, а також перегляд відносних переваг між альтернативами у візуальній формі.

Теоретичне підґрунтя застосування тернарних трирівневих гештальт-ранжувань для виявлення переваг ОПР

Опишемо теоретичні основи розробленої інформаційної технології візуального моделювання тернарних гештальт-ранжувань, що ґрунтуються на роботах [1-3].

Досить розповсюдженим є клас практичних задач прийняття рішень, що мають такі властивості:

- критерії для оцінювання та порівняння альтернатив частково або повністю невідомі (як самі критерії, так і їхні значення на певних шкалах);
- всі наявні альтернативи відомі і їхня загальна кількість є невеликою.

Такі задачі прийняття рішень будемо називати задачами для декількох альтернатив з критеріальною невизначеністю і в подальшому будемо розглядати саме цей клас задач, який, очевидно, є підкласом слабо структурованих задач прийняття рішень.

Інтуїтивно зрозуміло, що єдиним можливим способом структурувати множину альтернатив, тобто визначити переваги ОПР на цій множині, є пред'явлення ОПР для порівняння деяких з множини альтернатив. В найпростішому і тому найрозповсюдженішому випадку альтернативи пред'являються двійками і здійснюється попарне порівняння всіх альтернатив. Якщо ОПР фіксує лише факт переваги однієї альтернативи над іншою, достатньо двох відношень та двох рівнів порівняння (рис. 1).

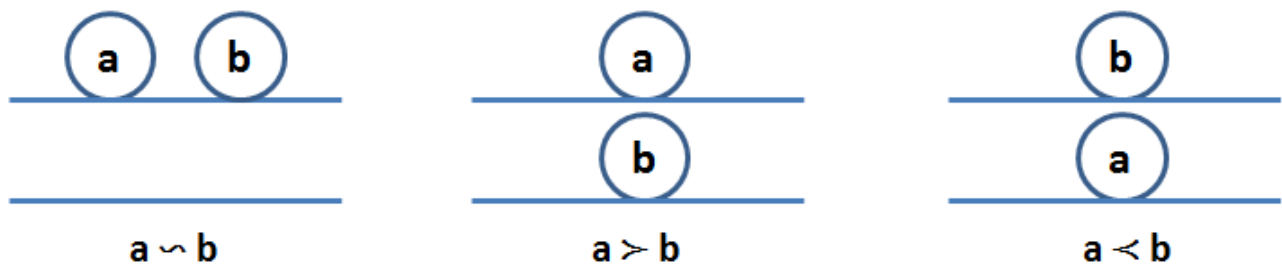


Рисунок 1 – бінарні ранжування на двох рівнях (попарні порівняння)

Якщо ОПР може визначити не лише факт, але і ступінь переваги однієї альтернативи над іншою, застосовується більша кількість рівнів бінарних порівнянь. Наприклад, в шкалі Сааті попарні порівняння відбуваються на дев'яти рівнях [4].

Багаторічне практичне застосування цієї шкали продемонструвало, що 9 рівнів буває забагато для надійного оцінювання ступеня переваги альтернатив ОПР, що не є професійними системними аналітиками. З іншого боку, досвідчені фахівці-професіонали, що мають розвинене числове мислення, іноді вважають, що 9 рівнів шкали недостатньо для адекватного вимірювання ступеня переваг. Саме тому постає задача «підлаштовування» під ОПР і надання їй можливості працювати з найбільш прийнятною кількістю рівнів порівнянь альтернатив в кожній конкретній ситуації прийняття рішень. Навіть Сааті визнає певну штучність своєї шкали і можливість отримання ненадійних оцінок від ОПР [4]. Розглянемо, наприклад, вербальну інтерпретацію оцінки «6» за дев'ятибальною шкалою Сааті: «краще, ніж істотно краще,

але гірше, ніж значно краще». Зрозуміло, що така словесна конструкція є громіздкою і навряд чи може зустрітися в природній мові.

Практика показує, що в більшості випадків двох рівнів порівняння (відношень $>$ і \sim) виявляється явно замало. ОПР досить часто намагається не обмежуватися лише констатацією факту переваги однієї альтернативи над іншою, але й спробувати хоч якось оцінити ступінь цієї переваги (причому, як правило, вербально, а не кількісно!).

Прикладами таких розповсюджених вербальних оцінок ОПР є словесні конструкції:

- (1) «альтернатива **A** значно переважає альтернативу **B**»;
- (2) «альтернатива **B** безумовно краща ніж **A**, але трохи гірша, ніж **C**»;
- (3) «альтернатива **A** набагато краща за **B**, але приблизно однакова за якістю з **C**».

В результаті проведених досліджень було зроблено висновок, що в більшості випадків ОПР можуть і бажають визначити ступінь переваги між альтернативами, але впевнено розрізняють лише два ступеня переваг: звичайну строгу перевагу $>$ та сильну (безумовну, беззаперечну) перевагу $>>$ [2, 3]. З урахуванням відношення еквівалентності (\sim) маємо три відношення та три рівні порівняння для двох альтернатив (рис. 2).

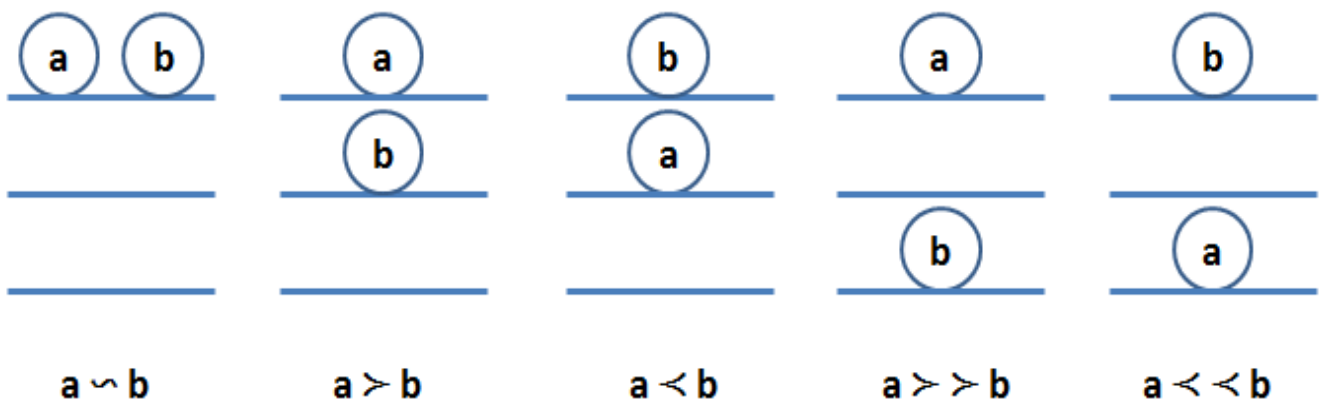


Рисунок 2 – бінарні тривірневі ранжування

Також виявилось, що ОПР досить часто розширюють контекст порівнянь, намагаючись додати до попарного порівняння третю альтернативу, як в словесних конструкціях (2), (3). Зрозуміло, що попарних порівнянь в таких випадках для адекватного відображення думки ОПР виявляється недостатньо.

З урахуванням введення символу сильної переваги можна досить легко та наочно записати в символічній формі словесні конструкції (1) – (3):

- (1) $\Leftrightarrow A >> B$;
- (2) $\Leftrightarrow C > B >> A$;
- (3) $\Leftrightarrow A \sim C >> B$.

Подальше розширення контексту порівнянь ОПР, як правило, не відбувається, тому що згадування в одному реченні чотирьох і більшої кількості альтернатив з описом ступеня переваг між ними робить відповідну словесну конструкцію дуже громіздкою та мало зрозумілою. Тому було зроблено такий висновок: **ОПР досить впевнено та надійно можуть одночасно оперувати трьома альтернативами і порівнювати їх на трьох рівнях, тобто здійснювати тернарні тривірневі гештальт-ранжування.**

Поняття гештальт-ранжування введено в роботі [3] і означає одночасне пред'явлення ОПР декількох альтернатив для їхнього наочного порівняння з активізацією швидкої системи інтуїтивного мислення ОПР [5].

З усіх гештальт-ранжувань найбільш природними, надійними та ефективними є саме тернарні тривірневі гештальт-ранжування [3]. Кожне тернарне тривірневе гештальт-ранжування породжує трійку бінарних тривірневих ранжувань.

Очевидно, що тернарні тривірневі гештальт-ранжування, зображені на рисунку 3, надають ОПР набагато більші можливості різноманітно, надійно та точно виразити свої переваги між різними альтернативами, ніж бінарні порівняння на двох (рис. 1) та трьох (рис. 2) рівнях. Зрозуміло, що роздільна здатність тернарних тривірневих ранжувань є набагато більшою.

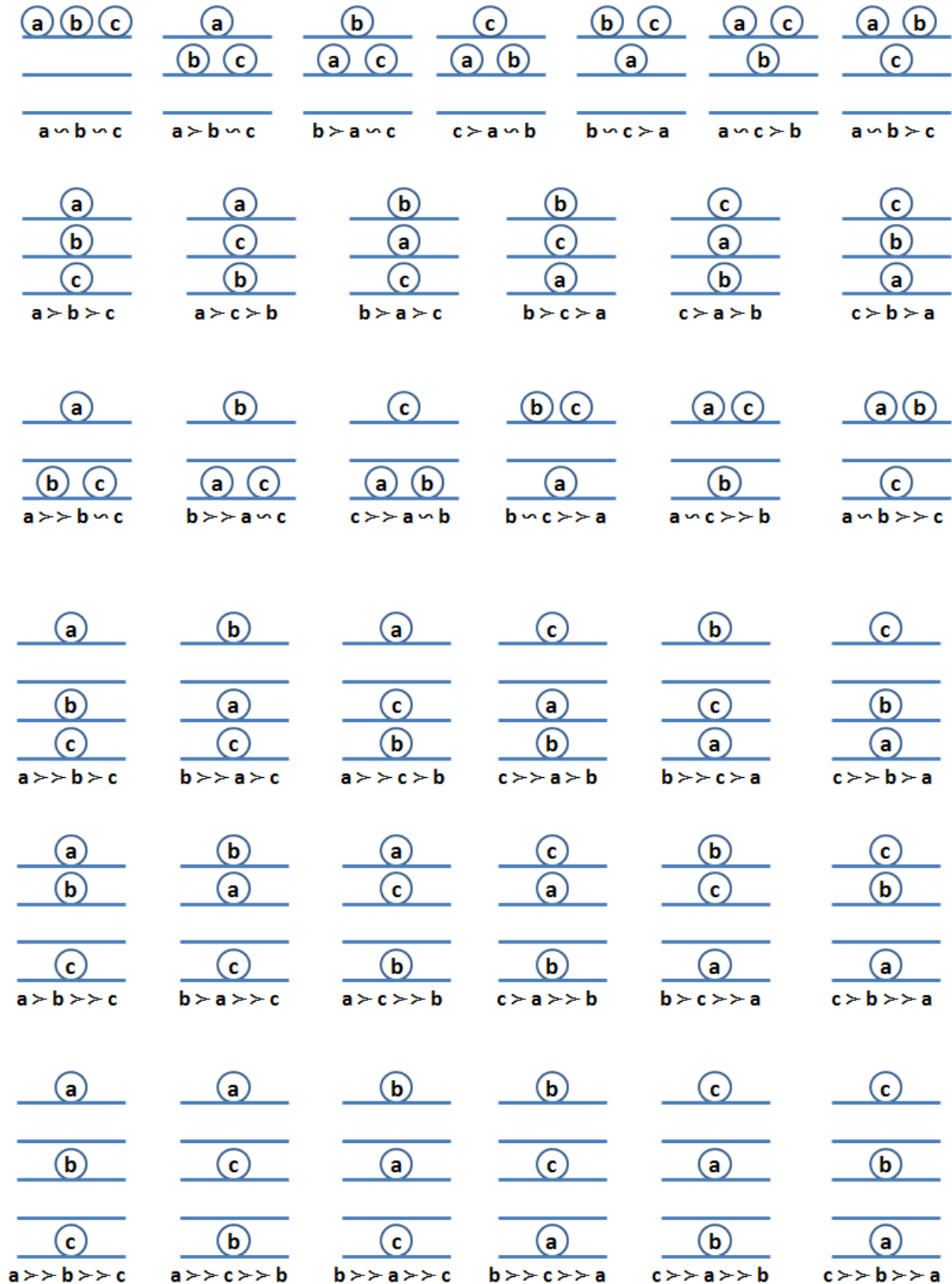


Рисунок 3 – тернарні тривірневі гештальт-ранжування

Візуальні та відповідні символічні моделі тернарних тривірневих ранжувань на рисунку 3 є досить наочними та зрозумілими для системного аналітика, але, на жаль, вони виявилися незручними для ОІПР, які не є фахівцями в галузі теорії прийняття рішень. Тому було поставлено завдання створити нову зруч-

ну та інтуїтивно зрозумілу інформаційну технологію для візуалізації та подальшої комп'ютерної обробки інформації у вигляді тернарних гештальт-ранжувань.

Опис розробленої інформаційної технології

Розроблена інформаційна технологія візуального моделювання та обробки тернарних гештальт-ранжувань не передбачає ніяких запитань до ОНР і не потребує ніякої інформації від ОНР в числовій або вербальній формі. Потрібно лише перетягнути зображення трійки кружечків-альтернатив на круг переваг згідно з вподобаннями ОНР. Це збільшує ефективність використання швидкого інтуїтивного мислення [5] із залученням візуальної інформації та зорової пам'яті ОНР. Таким чином, під час проведення кожного тернарного гештальт-ранжування візуалізується трійка альтернатив, які ОНР має розмістити на крузі переваг за принципом: чим вище для ОНР якість альтернативи, тим ближче до центру круга переваг потрібно її розташовувати.

Розроблена інформаційна технологія складається з таких етапів:

1. Введення бажаних для ОНР кількості і назв альтернатив та кількості градацій (рівнів) порівняння. Кількість градацій ОНР може змінювати за своїм бажанням в процесі роботи з програмою.
2. Проведення тернарних гештальт-ранжувань з візуальним моделюванням на крузі переваг.
3. Числове вимірювання якості альтернатив з урахуванням їхнього розташування на крузі переваг та автоматична генерація (отримання) трійки бінарних трирівневих ранжувань, що відповідають поточному тернарному гештальт-ранжуванню.
4. Аналіз кожного отриманого поточного бінарного трирівневого ранжування на суперечливість з раніше отриманими бінарними трирівневими ранжуваннями.
5. Призупинення гештальт-ранжувань з можливістю пошуку та виправлення виявлених помилок ОНР.
6. Візуалізація всіх проведених тернарних гештальт-ранжувань, в які входить задана альтернатива.
7. Повернення до попередніх гештальт-ранжувань з метою виправлення виявлених помилок.
8. Обчислення результуючих нормованого та центрованого кардинальних ранжувань всієї множини альтернатив.
9. Візуалізація спектру переваг усіх альтернатив та обчислених результуючих ранжувань у вигляді кольорових діаграм.

Інформаційна технологія візуального моделювання тернарних гештальт-ранжувань на крузі переваг реалізована у вигляді комп'ютерної програми, користувачами якої можуть бути як системні аналітики та фахівці з теорії прийняття рішень, так і ОНР-непрофесіонали. Для зручності використання даної технології розроблено наочний навігаційний інтерфейс із наявністю інтерактивної системи підказок та повідомлень при некоректних діях користувача.

На рисунку 4 зображено схему переходів між основними вікнами програми.

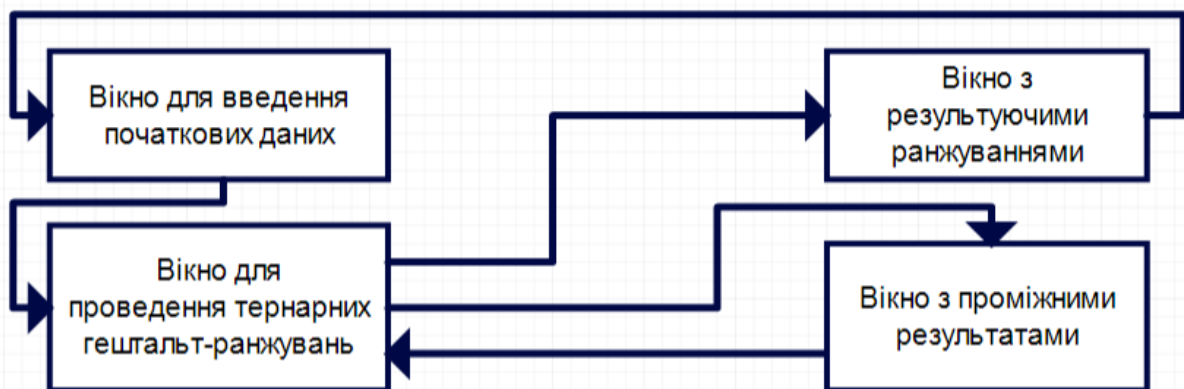


Рисунок 4 – схема переходів між основними вікнами програми

Користувач має змогу обрати кількість альтернатив (від 4 до 9 включно) та ввести їхні назви. Кількість рівнів для порівняння альтернатив (градацій) може обиратися користувачем та варіюється від 5 до 500. Вибір кількості градацій вперше здійснюється у вікні для введення початкових даних, а її зміна може здійснюватись на будь-якому кроці проведення тернарних гештальт-ранжувань.

Розглянемо застосування розробленої інформаційної технології для розв'язання задачі прийняття рішень в умовах критеріальної невизначеності на прикладі вибору мови програмування для реалізації програмного продукту із залученням кваліфікованого експерта. Спочатку необхідно виконати налашту-

вання (рис. 5), тобто обрати кількість альтернатив (шість) та кількість градацій якості для їхнього порівняння (десять). Після цього можна ввести назви альтернатив (мов програмування, що порівнюються).

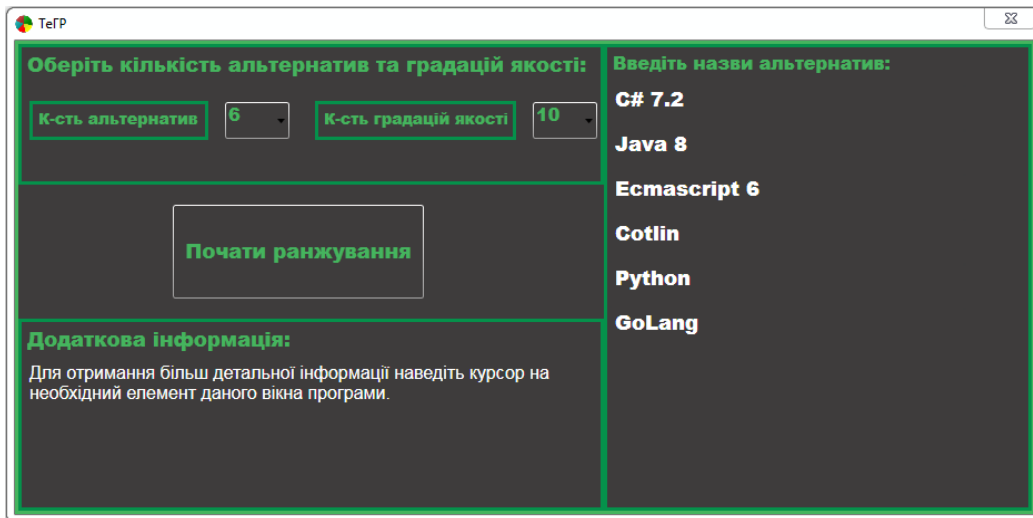


Рисунок 5 – вікно для введення початкових даних

На рисунку 6 зображено вікно програми для проведення тернарних гештальт-ранжувань.



Рисунок 6 – вікно програми для проведення тернарних гештальт-ранжувань

Якщо під час проведення поточного гештальт-ранжування виникає суперечливість з раніше проведеними, вона буде негайно виявлена (рис. 7).

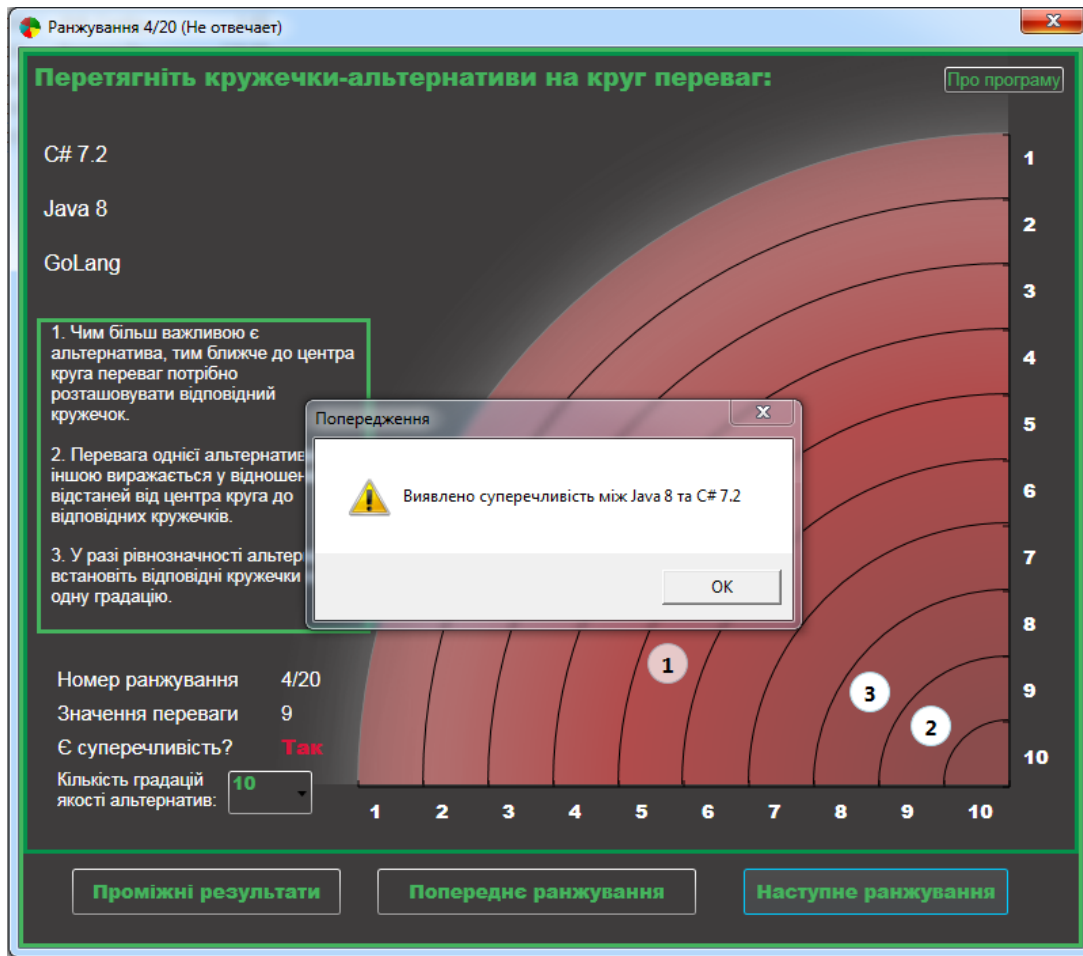


Рисунок 7 – повідомлення про виявлену суперечливість

Користувач має змогу не лише отримувати повідомлення щодо виявлених програмою суперечливостей, але й наочно бачити суперечливість, використовуючи кругові діаграми в проміжних результатах (рис. 8).

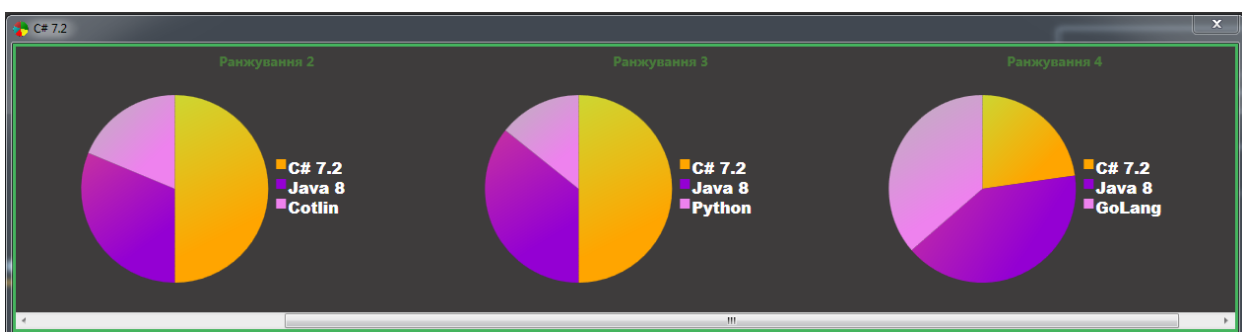


Рисунок 8 – Графічне представлення суперечливості між альтернативами Java 8 та C# 7.2

Результати виконання програми (рис. 9) містять нормоване та центроване результуючі кардинальні ранжування усієї множини альтернатив, а також графічні моделі (спектри переваг) альтернатив, представлені стовпчиковими діаграмами, що показують кількість породжених бінарних тривірневих ранжувань, які були отримані під час проведення тернарних гештальт-ранжувань. Графічні моделі альтернатив є інтуїтивно зрозумілими для користувача та виділяються різними кольорами, що відповідають відношенням між альтернативами.

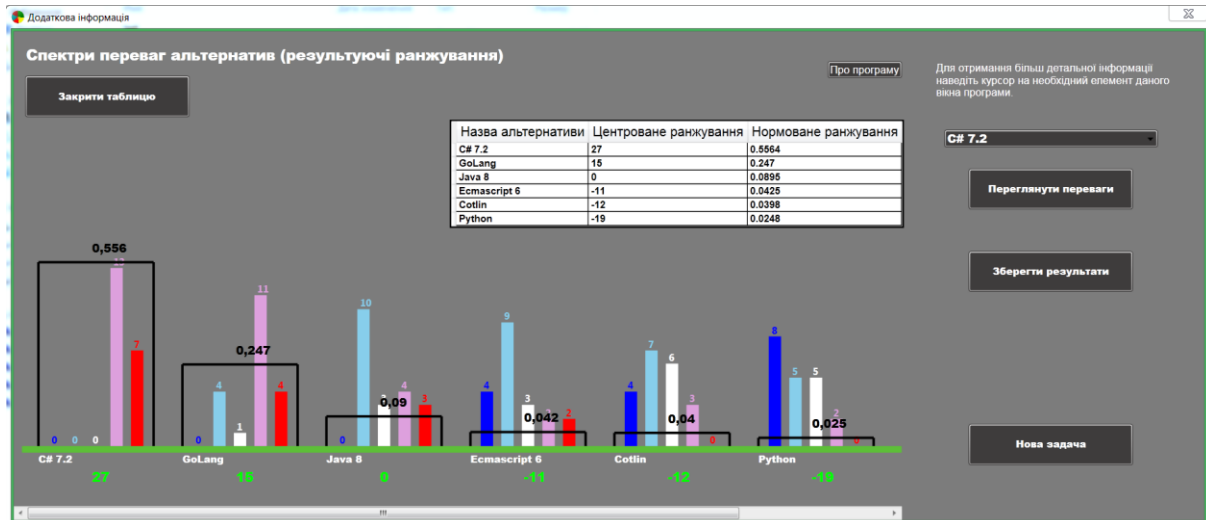


Рисунок 9 – вікно з результуючими ранжуваннями

Аналізуючи отримані результати для нашого прикладу (рис. 9), можна зробити висновок, що експерт вважає найбільш підходящою мовою програмування C# 7.2. Мова GoLang також є підходящою, а мови EcmaScript 6, Cotlin, Python зовсім не підходять для створення даного програмного продукту.

Користувачеві надана можливість збереження результатів у вигляді фото графічних моделей альтернатив та текстового файлу із значеннями абсолютних переваг альтернатив для кожного проведеного тернарного гештальт-ранжування.

Розроблену інформаційну технологію було реалізовано у вигляді комп'ютерної програми «Інформаційна технологія візуального моделювання тернарних гештальт-ранжувань на крузі переваг (ТеГР)» у середовищі програмування Visual Studio 2015 на мові C# із використанням технології WPF та пакету бібліотек платформи .NET Framework 4.6 [6].

Висновки

1. Розроблена інформаційна технологія виявлення переваг є зручною для ОПР, наочною, надійною та не складною у використанні.
2. Альтернативи і переваги між ними представлено у вигляді простих візуальних моделей, що потребує від ОПР значно менших когнітивних зусиль порівняно з традиційними методами, заснованими на отриманні значень числових або лінгвістичних змінних.
3. Створену на основі цієї інформаційної технології комп'ютерну програму можна використовувати як ефективний інструмент виявлення переважань для розв'язання багатьох практичних задач прийняття рішень з цільовою та критеріальною невизначеністю.

Список літератури

- [1] В. В. Колодний, «Трирівневі ранжування та їх застосування для виявлення переважань», на *Контроль і управління в складних системах*, Вінниця, 2003, с. 238.
- [2] В. В. Колодний, та В. В. Зубко, «Метод некрітеріального структурування множини альтернатив за допомогою аналізу тернарних трирівневих ранжувань», на *ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2014*: Вінниця, 2014, с. 13-14.
- [3] В. В. Колодний, та В. В. Зубко, «Застосування гештальт-ранжувань для виявлення переваг ОПР», на *ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2016*, Вінниця, 2016, с. 43-44.
- [4] Т. Л. Саати, *Принятие решений. Метод анализа иерархий* Москва: Радио и связь, 1989.
- [5] Д. Канеман, *Думай медленно... решай быстро* Москва: АСТ, 2014.
- [6] Д. С. Кудрявцев, та В. В. Колодний, «Комп'ютерна програма "Інформаційна технологія візуального моделювання тернарних гештальт-ранжувань на крузі переваг" (ТеГР)» *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №78345*. Дата реєстрації 17.04.2018.

Стаття надійшла: 28.08.18.

Відомості про авторів

Колодний Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук.

Кудрявцев Дмитро Станіславович – студент кафедри комп'ютерних наук, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

V. V. Kolodnyi¹, D. S. Kudryavtsev¹

**INFORMATION TECHNOLOGY OF VISUAL MODELING
AND PROCESSING TERNARY GESCHTALT-RANKINGS**

¹Vinnitsia National Technical University