

УДК 519.81

В. В. Циганок

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Методика досліджень стійкості рішень, отримуваних цільовим методом

Описано методику досліджень стійкості рішень (незалежності їх від помилок експертів) у системах підтримки прийняття рішень цільового типу. Розглянуто стійкість рішень при ранжируванні — збереження порядку ранжирування альтернатив за наявності природних помилок у процесі експертного оцінювання та стійкість при оцінюванні альтернатив — утримання оцінок у рамках заданої максимальної відносної похибки. Запропоновано спосіб вирішення задачі вибору методу експертного оцінювання для забезпечення стійких рішень при застосуванні конкретної бази знань цільового типу.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, цільовий метод, стійкість рішень.

При використанні цільового методу в системах підтримки прийняття рішень (СППР) [1] для отримання варіантів рішень актуальним постає питання: на скільки отримане рішення є стійким? Іншими словами, на скільки воно є незалежним від невідворотних помилок експертів, що виникають при побудові баз знань (БЗ) тієї, чи іншої СППР? До теперішнього часу стійкість рішень досліджувалась відносно аналітичних ієрархічних процесів (АНР — Analytic Hierarchy Process) [2], стосовно ж цільового методу — це питання раніше не розглядалось.

Очевидно, що стійкість рішень залежить як від структури БЗ, на основі якої генерується рішення, так і від числових значень показників, що містяться в даній БЗ.

Що стосується структури БЗ, то постає питання: на скільки залежить стійкість рішень від складності БЗ? Проаналізувавши сутність цільового методу, можна припустити, що складність мережевої структури БЗ (у цільовому методі — ієрархії цілей), а тим самим і стійкість рішень, які приймаються на її основі, залежить від довжин шляхів, що існують в ієрархії цілей від будь-якої цілі нижнього рівня в ієрархії до головної цілі. Це припущення виникає при аналізі алгоритму цільового методу, і є сенс його перевірити. Відносно ж числових значень показників, що знаходяться в БЗ, то важливо оцінити вплив помилок експертів при оцінюванні ступенів впливу одних цілей на інші, тобто при визначенні часткових коефіцієнтів

© В. В. Циганок

впливу (ЧКВ). І, оскільки, при визначенні ЧКВ застосовуються методи експертної оцінки, — оцінити вимоги по точності, що висуваються до цих методів, для забезпечення бажаної достовірності отримуваних рішень.

Для кращого розуміння нагадаємо сутність цільового методу, який застосовується в СППР «Солон-2», «Солон-3». У СППР такого типу рішення приймається, базуючись на даних БЗ, що формується наступним чином. Експертами (можливо, менеджерами найвищої ланки) формулюється головна ціль, яка поступово підлягає декомпозиції на більш прості цілі. При чому в цьому процесі формулювань цілей на кожному етапі приймають участь групи експертів, що найбільш компетентні саме в питанні, що розглядається на даний момент.

Для наочності, БЗ можна зобразити у вигляді орієнтованого графу загального виду, де вершинам відповідають цілі, а наявність дуги, що виходить з деякої вершини A і входить в іншу вершину B , свідчить про наявність безпосереднього впливу цілі A на ціль B . Наголосимо, що в такому графі можуть бути зворотні зв'язки, і впливи можуть бути як позитивними, так і негативними. Прикладом такої БЗ може служити побудована в середовищі СППР «Солон-3» ієрархія цілей, що зображена на рис. 1.

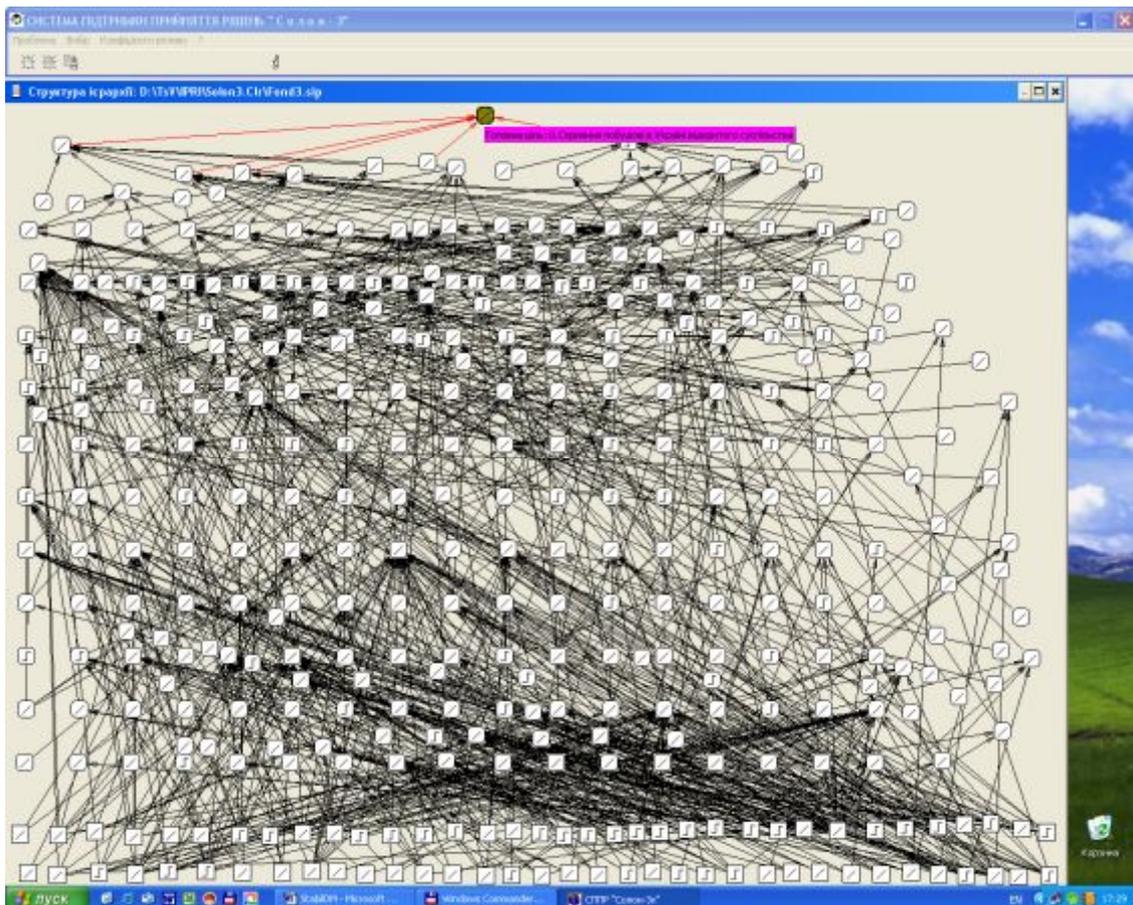


Рис. 1. Приклад зображення БЗ (ієрархії цілей), сформованої за допомогою СППР «Солон-3»

Ці ж самі групи експертів, що приймали участь у розкритті (декомпозиції) деякої цілі, на подальших етапах формування БЗ, визначають ЧКВ сформульованих цілей на цілі, що ними розкривалась. На сьогоднішній день розроблено досить велику кількість методів експертного оцінювання, за допомогою яких можна визначати ЧКВ. У рамках відділу аналітичних методів інформаційних технологій Інституту проблем реєстрації інформації НАН України із залученням студентів декількох київських ВУЗів було проведено експериментальне дослідження відомих методів експертного оцінювання [3–4].

Характеристики методів, що досліджувались, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристики відомих методів експертного оцінювання

Ознака методу	Номери методів																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Зворотний зв'язок з експертом															+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Безпосередня оцінка	+																							
Трикутник		+	+												+	+						+	+	+
Квадрат				+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+				
Попереднє упорядкування		+	+												+	+								
Фундаментальна шкала		+	+	+	+						+	+	+	+					+	+				
Довільна шкала	+					+	+	+	+						+	+	+	+			+	+	+	
Адитивний						+	+								+	+					+		+	
Мультиплікативний		+	+	+	+				+	+	+	+	+	+			+	+	+	+		+	+	
Паралельна обробка				+	+																			
Послідовна обробка по рядках		+	+			+		+		+		+	+	+		+		+						
Послідовна обробка по стовпцях							+		+		+				+		+		+					
Комбінаторна обробка (КО)																					+	+	+	
Перевірка узгодженості для КО																						+	+	
Словесне введення		+		+						+	+	+							+	+				
Числове введення	+					+	+	+	+						+	+	+	+			+	+	+	
Графічне введення			+	+									+	+										
Дискретні значення		+		+						+	+	+							+	+				
Квазібезперервні значення	+		+		+	+	+	+	+				+	+	+	+	+				+	+	+	
Номер спареного метода		12	13	5	4	14	15	16	17	18	19	2	3	6	7	8	9	10	11	22	23	20	21	

Основні результати дослідження представлені в табл. 2.

Колонки табл. 2 позначені наступним чином: K_s — коефіцієнт узгодженості; $E(K_s)$ — відносна оцінка по коефіцієнту узгодженості; $R(K_s)$ — ранжирування по коефіцієнту узгодженості; M_δ — математичне очікування (МО) відносної похибки визначення експертних оцінок; $E(M_\delta)$ — відносна оцінка по МО відносної похибки; $R(M_\delta)$ — ранжирування по МО відносної похибки; M_τ — МО тривалості визначення експертних оцінок; $E(M_\tau)$ — відносна оцінка по МО тривалості визначення; $R(M_\tau)$ — ранжирування по МО тривалості визначення; N_e — кількість експертів, що приймали участь у тестуванні методів.

У подальшому, при розгляді питань, що стосуються методу оцінки стійкості генерованих рішень, будемо використовувати інформацію з колонки, позначеної в табл. 2, як M_δ — математичне очікування відносної похибки. Саме ця колонка відображає характеристику методів по точності.

Таблиця 2. Результати експериментального дослідження відомих методів експертного оцінювання

#	K_s	$E(K_s)$	$R(K_s)$	M_δ	$E(M_\delta)$	$R(M_\delta)$	M_τ	$E(M_\tau)$	$R(M_\tau)$	N_e
1	0.93807	0.04563	3	0.08748	0.02235	14	133.81	0.16677	1	157
2	0.90513	0.04403	10	0.23541	0.00831	21	295.81	0.07544	2	145
3	0.90894	0.04421	8	0.18579	0.01052	20	617.41	0.03615	12	148
4	0.96171	0.04678	1	0.50873	0.00384	23	326.29	0.06839	3	177
5	0.94984	0.04620	2	0.45695	0.00428	22	668.78	0.03337	14	142
6	0.87017	0.04232	19	0.11498	0.01701	15	733.18	0.03044	16	61
7	0.89217	0.04339	14	0.07739	0.02527	11	825.57	0.02703	19	54
8	0.90786	0.04416	9	0.0665	0.02940	8	728.52	0.03063	15	118
9	0.91057	0.04429	7	0.08473	0.02308	13	741.39	0.03010	18	116
10	0.89331	0.04345	13	0.02644	0.07395	4	474.97	0.04698	5	119
11	0.89487	0.04353	11	0.02849	0.06863	5	479.42	0.04655	6	118
12	0.91350	0.04443	5	0.14993	0.01304	18	342.61	0.06514	4	154
13	0.91326	0.04442	6	0.12245	0.01597	16	653.99	0.03412	13	154
14	0.88639	0.04311	15	0.08386	0.02332	12	1379.90	0.01617	23	72
15	0.87412	0.04252	16	0.06753	0.02895	9	1359.19	0.01642	22	68
16	0.86867	0.04225	20	0.06753	0.02895	10	1036.55	0.02153	20	54
17	0.87408	0.04251	17	0.12763	0.01532	17	1183.89	0.01885	21	89
18	0.83731	0.04073	22	0.01533	0.12755	2	599.04	0.03725	11	70
19	0.83523	0.04063	23	0.18563	0.01053	19	737.93	0.03024	17	74
20	0.87113	0.04237	18	0.06485	0.03015	7	540.09	0.04132	8	60
21	0.84530	0.04111	21	0.01685	0.11604	3	480.90	0.04641	7	40
22	0.91400	0.04446	4	0.00794	0.24626	1	555.63	0.04016	10	106
23	0.89386	0.04348	12	0.03414	0.05727	6	550.69	0.04052	9	81

Цільовий метод дає можливість на основі попередньо сформованої БЗ розраховувати ефективність проектів/цілей, відносні ваги альтернатив, ранжирування альтернатив та ін., що є складовими при прийнятті рішень.

Розробка методу оцінки стійкості рішень, отримуваних цільовим методом

Основними класами задач, що вирішуються цільовим методом, є ранжирування альтернатив та їхнє оцінювання. Під *стійкістю* отримуваних рішень при ранжируванні будемо розуміти властивість збереження порядку ранжирування альтернатив за наявності природних помилок у процесі експертного оцінювання, показником стійкості може служити ймовірність збереження порядку ранжирування. Коли мова йде про оцінювання альтернатив, то для забезпечення стійкості рішень важливо, щоб отримані оцінки завжди знаходилися в діапазоні, обмеженому наперед заданою відносною похибкою; показником стійкості може бути ймовірність, що оцінка не вийде за межі допустимого відхилення. Характерно, що сам процес вирішення задач, що стосуються стійкості отримуваних рішень, є одним, і тим самим, незалежно від того, до першого чи до другого класу відноситься задача.

Отже, сформулюємо постановку задачі.

Дано: сформована БЗ (ієрархія цілей).

Знайти: точність методу експертного оцінювання (математичне очікування відносної похибки — M_δ), необхідну для того, щоб виконувалась умова перебування в заданих межах показника стійкості рішень, отримуваних цільовим методом.

Процес вирішення. Помилки експертів, що виникають при визначенні ЧКВ k_i , $i \in \{1 \dots n\}$, будемо моделювати задаванням для БЗ *девіації* ЧКВ. У цьому випадку,

девіація — це межа випадкового відхилення кожного з ЧКВ у відсотках від їхніх поточних значень. БЗ вважається підданою впливу девіації, коли кожен із її ЧКВ змінено за законом: $k_i^* = k_i + R_i \cdot k_i \cdot \Delta / 100$, де R_i — випадкова величина, рівномірно розподілена в діапазоні $[-1;1]$.

Очевидно, що для того, щоб отримати необхідну точність для методів експертного оцінювання, що застосовуються при визначенні ЧКВ, в ієрархії цілей потрібно знайти таку *максимальну* девіацію ЧКВ — Δ , при якій результат роботи цільового методу залишається стійким (тобто не виникає порушення ранжирування, або, для іншого класу задач, відхилення отриманих оцінок не перевищує задану похибку).

Максимальну девіацію ЧКВ для заданої БЗ будемо шукати *методом половинного ділення*, як відносну величину, що вимірюється відсотками. Для цього задаємо деяке, довільне вихідне значення девіації ЧКВ у діапазоні пошуку від 0 % до 100 % і піддаємо БЗ впливу цієї девіації. Для цього вихідного значення девіації перевіряємо, чи залишається сталим результат роботи цільового методу в порівнянні з результатом при девіації 0 %? Якщо результат — сталий, то пошук максимальної девіації продовжуємо в діапазоні, обмеженому значенням, що використовувалося при попередньому розрахунку й верхньою межею діапазону (а точніше, розглядаємо середину цього діапазону). У протилежному випадку — коли результат не є сталим — беремо для перевірки середину іншого діапазону, зліва від значення, що використовувалося у попередньому розрахунку. З кожною такою ітерацією діапазон пошуку звужується. Цей ітеративний процес закінчується при досягненні бажаної точності визначення девіації ЧКВ. Тобто, процес зупиняється, якщо значення середини діапазону пошуку відрізняється від значення одної з меж цього діапазону на величину, що не перевищує задану точність.

Слід відмітити, що, оскільки, процес моделювання помилок експертів є стохастичним, то існує ймовірність не виявити можливе порушення стійкості при заданій девіації ЧКВ. При застосуванні вищеприписаного методу дуже важливим є зведення до мінімуму цієї ймовірності, тому що, на відміну від послідовного пошуку, при методі половинного ділення, хоча процес пошуку й протікає значно швидше, проте будь-який пропуск порушення стійкості переводить пошук у невірний діапазон, що в результаті часто приводить до невірних висновків. Ось, наприклад, нехай достовірно відомо, що порушення ранжирування в деякій ієрархії цілей починає відбуватися при девіації 3 %, а на деякому кроці пошуку при перевірці, коли значення девіації, наприклад, становило 5 %, не було виявлено порушення ранжирування. Тоді, навіть у випадку, що при перевірках решти значень девіації порушення ранжирування буде виявленим, знайдене значення девіації методом половинного ділення буде більшим за 5 %.

Одним із очевидних способів ліквідувати невиявлення (пропуск) порушення стійкості є повний перебір варіантів значень ЧКВ у рамках заданої девіації. Виходячи з очевидного припущення, що функція залежності ймовірності виникнення порушення стійкості від значення девіації ЧКВ є монотонно зростаючою, можна зробити висновок, що порушення стійкості починають виникати насамперед при максимальних відхиленнях ЧКВ. Тоді, для суттєвого звуження області пошуку та найбільш швидкого виявлення можливого порушення, будемо задавати при переборі тільки крайні значення ЧКВ:

$$k_i^* = k_i \pm k_i \cdot \Delta/100.$$

У цьому випадку, кількість варіантів значень ЧКВ, що мають розглядатися при повному переборі буде 2^n , де n — кількість ЧКВ в ієрархії цілей. Ймовірно, щоб уникнути можливих пропусків порушення стійкості, також слід розглядати й варіанти, коли деякі ЧКВ не піддані впливу девіації ($\Delta = 0 \Rightarrow k_i^* = k_i$). У такому випадку, кількість варіантів значень ЧКВ буде порядку 3^n (три варіанти значень для кожного ЧКВ). Застосування такого типу переборів має сенс тільки при малих значеннях n , коли n не перевищує 15–20. У реальних ієрархіяx цілей для визначення, чи відбуваються порушення стійкості результатів роботи цільового методу при заданій девіації ЧКВ, пропонується застосування генетичного алгоритму, поняття якого вперше ввів у 1975 р. Холланд [5].

Розглянемо вищезгадану задачу, яка на думку автора, що як найкраще підпадає під класичну реалізацію генетичного алгоритму. Цю задачу можна сформулювати наступним чином.

Задано: сформовану ієрархію цілей, яка містить n ЧКВ; девіацію ЧКВ — δ .

Знайти: таку множину значень ЧКВ, при якій спостерігається максимальне порушення стійкості результатів роботи цільового методу під впливом девіації δ .

Саме при виконанні цієї, останнє сформульованої умови, виявлення порушення стійкості прийняття рішень може бути гарантованим. Виходячи з цієї умови, в генетичному алгоритмі буде реалізовано функцію корисності. Тобто, функція корисності має приймати тим більше значення, чим більше порушення стійкості спостерігається. В нашому випадку ця функція буде задана алгоритмічно у вигляді реалізації цільового методу з подальшим визначенням максимального відхилення значень результатів від стабільних значень (обчислених за відсутності девіації ЧКВ — при $\delta = 0$).

Визначення максимального відхилення результатів роботи цільового методу від стабільних значень розглянемо окремо для кожного з двох класів задач, що згадувалися раніше. При розгляді першого класу задач, пов'язаних з ранжируванням альтернатив, на перший погляд, здавалося логічним взяти за показник відхилення результатів цільового методу від стабільних значень, наприклад, відстань Кемені [6], що визначається між двома відношеннями A і B , де A характеризує ранжирування α — за відсутності девіації ЧКВ, B — ранжирування β при заданій множині значень ЧКВ, що були піддані впливу девіації δ :

$$D(A, B) = \sum_{i, j} |\alpha(i, j) - \beta(i, j)|. \quad (1)$$

Та при подальшому аналізі виявляється, що відстань Кемені не зовсім відповідає вимогам щодо функцій корисності генетичного алгоритму, оскільки є нечутливою до тих змін результатів роботи цільового методу, які не призводять до змін у ранжируванні. Тобто, для різних вхідних даних (різних множин значень ЧКВ) значення функції корисності буде одним і тим самим у випадку, коли не спостерігається порушення ранжирування, і в цьому випадку будуть відсутні критерії для цілеспрямованого пошуку, який закладено в основу генетичного алгоритму. Тому, для класу задач підтримки прийняття рішень, пов'язаних із ранжируванням аль-

тернатив, як функцію корисності в генетичному алгоритмі було запропоновано використати емпіричну функцію вигляду:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{a_{i+1} - a_i}{b_{i+1} - b_i}, \quad (2)$$

де a_i — кардинальна оцінка альтернативи з i -м рангом, що отримана за відсутності девіації ЧКВ; b_i — кардинальна оцінка альтернативи з i -м рангом, отримана при заданій множині значень ЧКВ, які були піддані впливу девіації δ ; k — кількість альтернатив — цілей нижнього рівня в ієрархії цілей.

Що стосується функції корисності для класу задач, в яких аналізуються ієрархії на предмет утримання результуючих оцінок альтернатив у рамках максимальної відносної похибки, то в даному випадку повністю задовольняє вимогам функція визначення цієї максимальної відносної похибки:

$$f_2 = \max_i \left(\frac{|a_i - b_i|}{a_i} \right), \quad (3)$$

де a_i ; b_i — кардинальні оцінки i -ї альтернативи, отримані без наявності та за умови наявності девіації ЧКВ відповідно.

Поняттю «популяція», що фігурує в генетичному алгоритмі, відповідає множина фіксованої потужності, що складається з множин значень ЧКВ ієрархії цілей — варіантів рішень (в генетичному алгоритмі, так званих, «особин» в популяції).

Відмінністю від класичної реалізації генетичного алгоритму є те, що в процесі пошуку проводиться перевірка на предмет наявності порушення стійкості рішення, і припинення пошуку, якщо таке порушення виявлено. У випадку, якщо робота генетичного алгоритму завершена, і за весь час пошуку порушення стійкості не виявлено, то робиться висновок про стійкість рішень при заданій девіації ЧКВ δ .

Ця особливість у реалізації генетичного алгоритму знімає можливе питання про область визначення функції (2), а саме про поводження її при $a_{i+1} \leq a_i$. При таких значеннях фіксується порушення стійкості рішень (у цьому випадку — порушення ранжирування) і на цьому кроці припиняється подальша робота генетичного алгоритму, а тому, відпадає необхідність в обчисленні функції корисності.

Отже, це застосування генетичного алгоритму є складовою (однією ітерацією) більш загальної задачі про знаходження необхідної точності методу експертного оцінювання.

Таким чином, коли методом половинного ділення знайдено максимальне значення девіації ЧКВ, при якому зберігається стійкість роботи цільового методу, тоді це значення порівнюється з математичним очікуванням відносної похибки методів експертного оцінювання — M_δ , взятим з табл. 2 і помноженим на 100, щоб привести до єдиної одиниці вимірювання — відсотків. Усі методи експертного оцінювання, в яких математичні очікування відносної похибки не перевищу-

ють знайдене значення девіації ЧКВ, можуть бути використані в подальшому для визначення ЧКВ даної ієрархії цілей.

Тепер розглянемо випадок, коли для даної ієрархії жоден з методів експертного оцінювання не задовольняє по точності вимоги щодо стійкості рішень. У цьому випадку методика передбачає зробити деякі зміни в самій ієрархії цілей з метою підвищення стійкості генерованих на її основі рішень. За допомогою програмних інструментів, в основу яких покладено вищеописаний метод, проаналізуємо основні фактори, що впливають на стійкість рішень.

Програмні інструменти, які створені для аналізу стійкості рішень

Ці програмні інструменти створені у вигляді додатків до СППР «Солон-3» і розроблені в середовищі програмування «Delphi». У СППР «Солон-3» додано режим «Аналіз стійкості рішень» (рис. 2), в якому задаються вихідні дані для розрахунків.

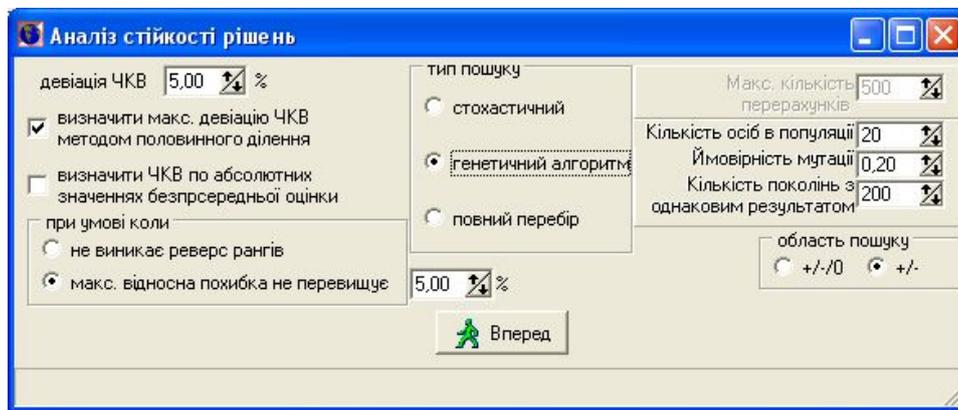


Рис. 2. Інтерфейс програмних інструментів, створених у СППР «Солон-3» для аналізу стійкості рішень

Серед вихідних даних наступні:

— девіація ЧКВ, при якій виконується розрахунок цільовим методом (можна задати число в діапазоні від 0 до 100 у відсотках з точністю до двох знаків після коми);

— галочкою можна відмітити пункт «визначити максимальну девіацію ЧКВ методом половинного ділення» для того, щоб після першого розрахунку цільовим методом процес не зупинявся, а продовжився би пошук межі стійкості рішень при різних девіаціях методом половинного ділення;

— галочкою можна відмітити пункт «визначити ЧКВ по абсолютних значеннях безпосередньої оцінки», щоб для розрахунків використовувалися ненормовані значення ЧКВ, які задавалися експертами методом безпосередньої оцінки;

— потрібно вибрати умову перевірки на стійкість рішень (один із двох типів задач): або не виникнення реверсу рангів, або умова, коли максимальна відносна похибка не перевищує задане значення у відсотках;

— вибирається тип пошуку з індивідуальними параметрами: а) стохастичний пошук із задаванням кількості повторних розрахунків; б) генетичний алгоритм із задаванням параметрів (кількість особин в популяції, ймовірність мутацій, кількість поколінь з однаковим результатом); в) повний перебір (може використовуватися тільки в ієрархіях з невеликою кількістю зв'язків, в основному для перевірки якості результатів, отриманих іншими методами пошуку);

— вибирається варіант області пошуку: або «+/-/0» (це випадок, коли ЧКВ приймають три варіанти значень: $k_i^* = k_i + k_i \cdot \Delta/100$, $k_i^* = k_i - k_i \cdot \Delta/100$ і $k_i^* = k_i$), або «+/-» (це випадок, коли ЧКВ приймають тільки два варіанти значень: $k_i^* = k_i + k_i \cdot \Delta/100$ та $k_i^* = k_i - k_i \cdot \Delta/100$).

Під час розрахунків, підсистема дозволяє виявити порушення стійкості рішень того чи іншого типу, а також методом половинного ділення знайти граничне значення девіації ЧКВ, при якому зберігається стійкість у прийнятті рішень на основі БЗ, що розглядається.

Вплив числових значень показників, що зберігаються в БЗ

Одним із очевидних чинників, що впливають на стійкість рішень, які приймаються на основі інформації БЗ, є значення ЧКВ. Адже безсумнівно, що у випадку, коли деякі впливи на одну й ту ж саму ціль у БЗ мало відрізняються один від одного, то в такій БЗ не слід очікувати стійкого ранжирування проектів, оскільки досить незначні зміни у величині одного з цих впливів можуть приводити до зміни порядку в ранжируванні.

Це припущення можна перевірити, скориставшись вищеописаним програмним інструментом. Для цього візьмемо деяку ієрархію цілей і, наприклад, для цілей, на які впливають проекти (цілі найнижчого рівня) задамо спочатку ЧКВ однаковими. Потім, для тих самих впливів задамо ЧКВ, що відрізняються один від одного не менше ніж на 5 %. І, нарешті, не менше ніж на 10 %. Знайдені за допомогою вищеописаного програмного інструменту значення допустимої девіації ЧКВ наступні: для однакових ЧКВ — 0,02 %, для тих, що відрізняються не менше ніж на 5 % — 3,12 %, і для тих ЧКВ, що відрізняються не менше ніж на 10 % — 4,32 %.

На основі цих результатів можна зробити висновок, що чим більше відрізняються один від одного значення ЧКВ, тим більшою є стійкість рішень, що приймаються, ґрунтуючись на знаннях цієї БЗ. Отже, у випадку, коли жодний з відомих методів експертного оцінювання не задовольняє вимоги по точності для деякої ієрархії, то одним із способів підвищити стійкість рішень, що приймаються на основі даної БЗ, є досягнення того, щоб значення ступенів впливу підцілей на кожну з цілей більше розрізнялися між собою.

Вплив структури БЗ

Спочатку перерахуємо основні чинники, які відносяться до поняття «структура БЗ». Напевне, до них слід віднести: загальну кількість цілей, кількість зв'язків у БЗ, кількість цілей нижнього рівня, довжини шляхів у мережевій структурі БЗ тощо. При застосуванні цільового методу основними факторами, що можуть вплинути на стійкість рішень, є: довжини шляхів, кількість цілей в

ієрархії (а точніше, кількість зв'язків між цілями). Крім того, слід відзначити, що чим більше проектів (цілей найнижчого рівня ієрархії), які приймають участь у генерації рішень, тим більша ймовірність порушення умови стійкості отримуваних рішень.

Автором була проведена спроба експериментально проаналізувати вплив структури БЗ на стійкість рішень, що приймаються на основі цієї БЗ, а саме вплив довжин шляхів до головної цілі ієрархії. При цьому було прагнення ліквідувати вплив інших факторів. Тому, було зафіксовано кількість проектів у ієрархії цілей, за якими проводяться розрахунки цільовим методом. І, виходячи з цих міркувань, для проведення експериментального дослідження було згенеровано ієрархії цілей наступним чином. Кількість цілей зафіксовано на значенні 30, серед яких одна — головна ціль і 10 проектів. Решта цілей розміщувалась спочатку в 2, потім в 4, і в 6 рівнів. Для простоти підрахунків шляхів — зв'язки були наявні тільки між рівнями ієрархії, і їхню кількість у даному експерименті було зафіксовано на значенні 39 (щоб максимальна загальна кількість варіантів значень ЧКВ — 3^{39} — не виходила за рамки 64-розрядного цілого числа). Таким чином, сформовані ієрархії зображено на рис. 3.

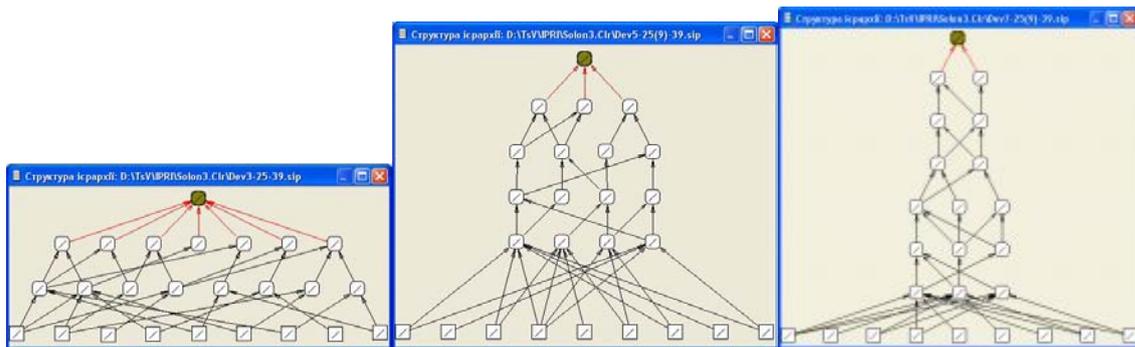


Рис. 3. Ієрархії цілей, що сформовані для експерименту по виявленню впливу структури БЗ на показники стійкості рішень, що отримуються

При спробі застосувати вищеописаний метод для експериментальної оцінки впливу структури БЗ на стійкість рішень, що приймаються, виникли проблеми, пов'язані з неможливістю повністю позбавитися впливу інших факторів, окрім самої структури. А саме, неможливо відкинути вплив самих значень ЧКВ у базі знань на стійкість рішень. Була спроба встановити значення ЧКВ однаковиими для всіх впливів у базах знань, але в цьому випадку показник стійкості для таких БЗ виявився близьким до нуля (тобто такі БЗ повністю нестійкі в цьому сенсі, бо будь-яка, навіть незначна, зміна значень ЧКВ призводить до порушення стійкості рішень). У такій ситуації на основі отриманих експериментальних даних легко прийти до помилкових висновків.

У зв'язку з цим, пропонується використати замість експериментального, аналітичний аналіз впливу структури БЗ на стійкість рішень. Для початку, без втрати загальності, будемо розглядати спрощені БЗ, а саме такі, що мають наступні властивості:

- усі цілі — лінійні;

- негативних впливів немає;
- усі безпосередні підцілі для кожної з цілей — сумісні між собою (тобто, досягнення однієї з підцілей не робить недоцільним або неможливим досягнення іншої);
- відсутні зворотні зв'язки (впливи цілей з вищих рівнів на цілі нижчих рівнів ієрархії цілей).

Ці перераховані спрощення дозволяють перейти до більш простої й наглядної моделі обчислення ефективності альтернатив за допомогою цільового методу та звести цю модель від алгоритмічної форми представлення до аналітичної.

Отже, при аналізі алгоритму цільового методу для спрощених БЗ було виявлено, що для знаходження ефективності альтернатив цільовим методом можна застосовувати наступний аналітичний вираз:

$$e_i = \sum_{p_l \in P_i} \prod_j k_j^l, \quad (4)$$

де e_i — ефективність i -ї альтернативи; P_i — множина шляхів від i -ї цілі до головної цілі в графі, яким представлена БЗ; k_j^l — ЧКВ, що характеризують кожен із впливів, які належать шляхові p_l із множини P_i . Іншими словами, ефективність альтернативи — це сума добутків ЧКВ тих впливів, що належать множині всіх шляхів від цієї альтернативи до головної цілі.

Якщо врахувати вплив девіації Δ , коли під її впливом ЧКВ змінюються наступним чином:

$$k_j^l = k_j^l \pm k_j^l \cdot \Delta, \quad (5)$$

тоді після підстановки (5) в (4), та після незначних перетворень, отримаємо:

$$\epsilon_i = e_i (1 \pm \Delta)^n, \quad (6)$$

де e_i та ϵ_i — ефективності i -ї альтернативи, визначені без впливу девіації ЧКВ Δ та під її впливом відповідно; n — довжина шляху від i -ї цілі до головної цілі за умови, що всі такі шляхи мають однакові довжини (у випадку різних довжин шляхів — n прийматиме деяке середнє значення). У виразах (5) і (6) ми використали максимальні відхилення при девіації ЧКВ, оскільки нас цікавить поведінка функції ефективності в крайніх своїх точках, особливо, коли Δ має тенденцію до накопичення (випадок, коли всі Δ мають знак «+», або всі зі знаком «-»).

Із вигляду співвідношення (6) можна зробити висновок для спрощених БЗ, що зі збільшенням кількості рівнів у ієрархічній структурі БЗ і, тим самим, зі збільшенням довжини шляху n — зменшується стійкість рішень, що приймаються на основі знань цієї БЗ. Цей висновок можна розповсюдити й на БЗ, в яких наявні зворотні зв'язки. Ці зв'язки утворюють цикли в графі ієрархії цілей

і, тим самим, додатково збільшують довжини шляхів n . Для БЗ загального виду описана закономірність зберігається.

Виходячи з цього висновку, у випадку, коли жодний з відомих методів експертного оцінювання не задовольняє вимоги по точності для даної ієрархії, то ще один спосіб виправити це становище — спробувати перебудувати структуру цієї ієрархії таким чином, щоб довжини шляхів від проектів до головної цілі були би якомога меншими.

Висновок

У даній статті запропоновано методику визначення ступеня стійкості рішень, що приймаються на основі знань, закладених експертами в базах знань СППР, при застосуванні цільового методу. Запропоновано рекомендації щодо вибору методу експертного оцінювання для конкретної БЗ та рекомендації щодо внесення змін у БЗ (в її структуру або наповнення) у випадку, коли жоден із методів експертного оцінювання не задовольняє вимог для отримання стійких рішень для конкретної БЗ.

1. Тоценко В.Г. Об одном подходе к поддержке принятия решений при планировании исследований и развития. Часть 2. Метод целевого динамического оценивания альтернатив // Проблемы управления и информатики. — 2001. — № 2. — С. 127–139 (Totsenko V.G. One Approach to the Decision Making Support in R&D Planning. Part 2. The Method of Goal Dynamic Estimating of Alternatives // J. of Automation and Information Sciences. — 2001. — Vol. 33, N 4. — P. 82–90).

2. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. — N.Y.: McGraw-Hill, 1980.

3. Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Деев В.А., Качанов П.Т., Качанова Е.В., Торба Л.Т. Экспериментальное исследование методов получения кардинальных экспертных оценок альтернатив. Часть I. Методы без обратной связи с экспертом // Проблемы управления и информатики. — 2003. — № 1. — С. 34–49 (Totsenko V.G., Tsyganok V.V., Kachanov P.T., Kachanova E.V., Deev A.A., Torba L.T. Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 1. Methods without Expert Feedback // J. of Automation and Information Sciences. — 2003. — Vol. 35).

4. Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Деев В.А., Качанов П.Т., Качанова Е.В., Торба Л.Т. Экспериментальное исследование методов получения кардинальных экспертных оценок альтернатив. Часть 2. Методы с обратной связью с экспертом // Проблемы управления и информатики. — 2003. — № 2. — С. 112–126 (Totsenko V.G., Tsyganok V.V., Kachanov P.T., Kachanova E.V., Deev A.A., Torba L.T. Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 2. Methods with Expert Feedback // J. of Automation and Information Sciences. — 2003. — Vol. 35).

5. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. — London: Bradford Book Edition, 1994 — 211 p.

6. Кемени Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения. — М.: Сов. радио, 1972. — 192 с.

Надійшла до редакції 25.10.2007