

## Моделювання процесу прийняття рішень людиною – оператором в особливих випадках польоту

Ю.Б. Беляєв, Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова

Основна роль у підтримці безпеки польотів належить екіпажу повітряного судна (ПС) [1]. Він здійснює безпосереднє керування польотом, і від правильності його дій у певній ситуації залежить результат польоту. Авіадиспетчер несе відповідальність за видачу грамотних і обґрунтованих рекомендацій і вказівок екіпажу ПС [2]. Остаточне рішення приймає командир ПС, але своєчасна й вірна підказка диспетчера може запобігти переходу аварійної ситуації у катастрофічну.

Відпрацювання диспетчером навичок дій в особливих випадках польоту проводиться на відповідних тренажерах (комплексних, модульних або процедурних). Тренажерну систему для відпрацювання оператором навичок прийняття рішень щодо оптимального варіанта завершення польоту при виникненні особливого випадку можна представити структурною схемою експертної системи, заснованої на знаннях (рисунок 1). Розробка програмного забезпечення для відповідних тренажерів потребує проведення формалізації процесу прийняття рішень оператором в особливих випадках польоту.

При особливому випадку в польоті виникає потреба вирішення задачі оптимального завершення польоту, яка являє собою багатокроковий процес, який можна декомпонувати як “за вертикаллю”, так і “за горизонталлю”. Множина кроків прийняття рішень оператором у даній ситуації формально представляється номерами елементів декартова добутку [3]:

$$\Theta^B \times \Theta_{\theta^B}^G \rightarrow \{\theta\}, \quad (1)$$

де  $\Theta^B = \{\theta^B\}$  - множина рівней прийняття рішень “вертикальної” декомпозиції;

$\Theta^G = \{\theta^G\}$  - множина кроків прийняття рішень “горизонтальної” декомпозиції рівня  $\theta^B \in \Theta^B$ .

Моделювання процесу вибору оператором оптимального варіанта завершення польоту представлено структурно у вигляді дерева рішень [4, 5, 6] (рисунок 2). На дереві рішень маємо альтернативні варіанти щодо завершення польоту:

$A_1$  – посадка на аеродромі (запасному, в тому числі й на аеродромі зльоту, найближчому або аеродромі призначення);

$A_2$  – посадка на площадку;

$A_3$  – посадка на аеродромі, придатному технічно;

$A_4$  – посадка на аеродромі, не придатному технічно;

$A_5$  – посадка на аеродромі з наявністю аварійно-рятувальної команди;

$A_6$  – посадка на аеродромі без аварійно-рятувальної команди;

$A_7$  – посадка на аеродромі з метеоумовами не нижче мінімуму;

$A_8$  - посадка на аеродромі з метеоумовами нижче мінімуму;

$A_9$  - посадка на місцевості з придатною поверхнею;

$A_{10}$  - посадка на місцевості з непридатною поверхнею;

$A_{11}$  - посадка на місцевості з близько розташованою аварійно-рятувальною командою;

$A_{12}$  - посадка на місцевості з далеко розташованою аварійно-рятувальною командою;

$A_{13}$  - посадка на місцевості з метеоумовами не нижче мінімуму;

$A_{14}$  - посадка на місцевості з метеоумовами нижче мінімуму.

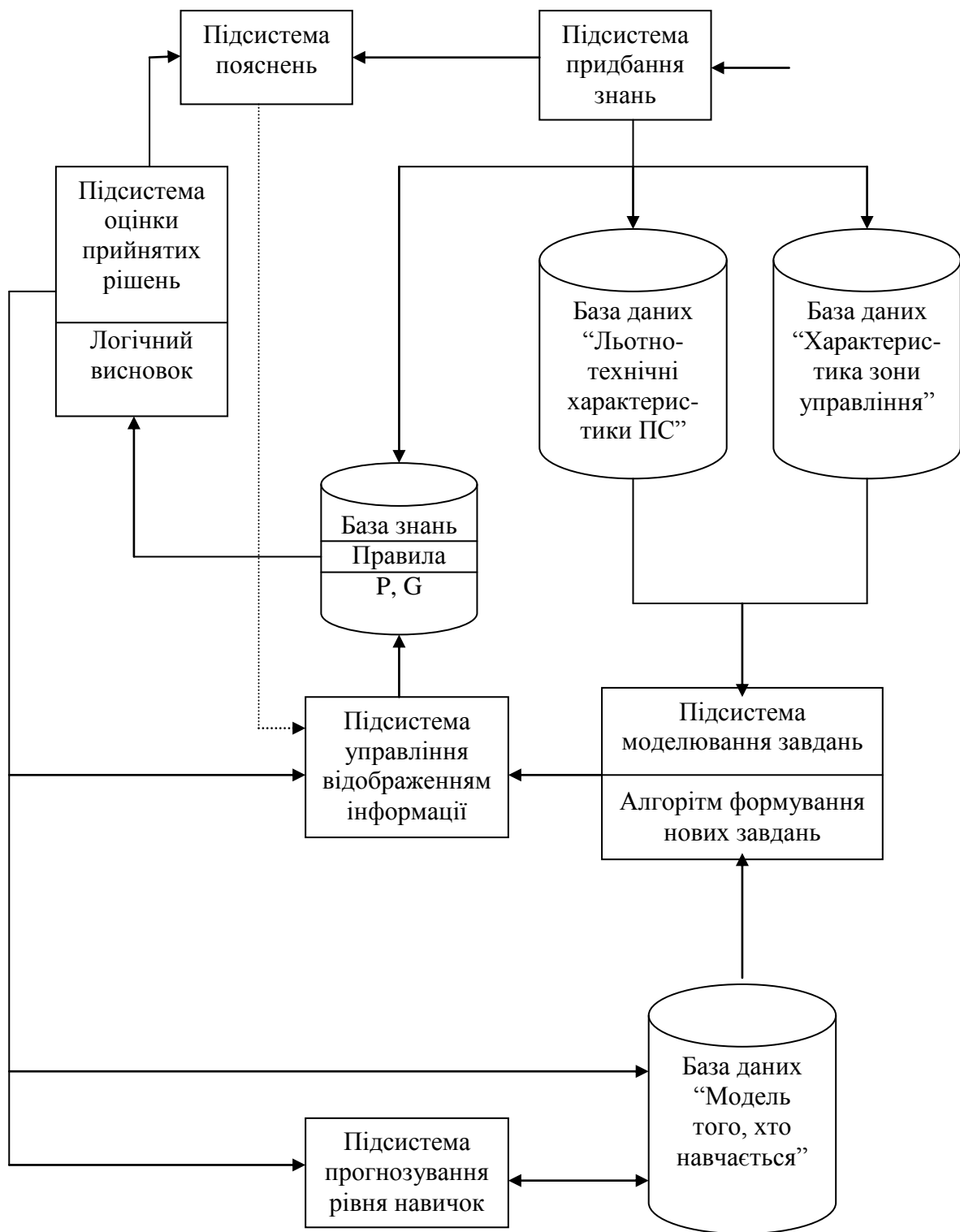


Рисунок 1. Структурна схема експертної системи для відпрацювання навичок прийняття рішень в особливих випадках польоту

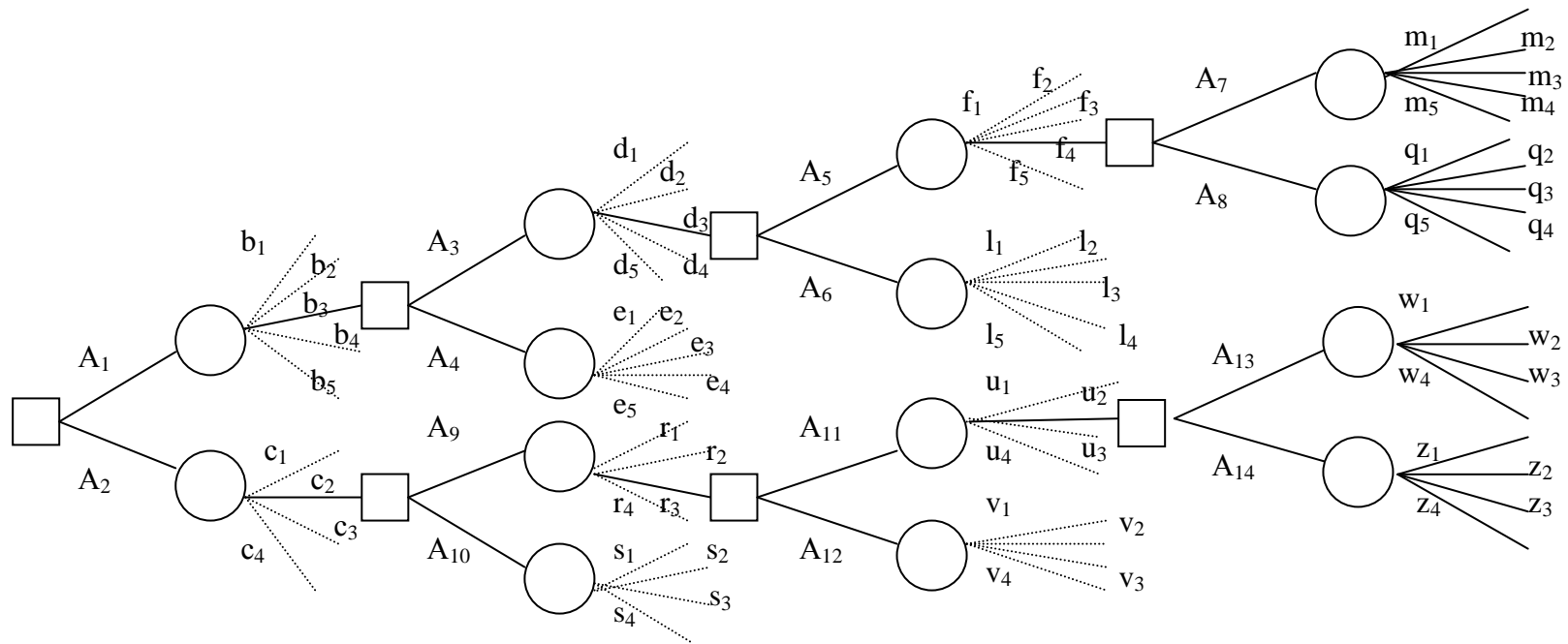


Рисунок 2. Структурне зображення процесу прийняття рішень в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту,

де  $\square$  - вершини - рішення;

$\circ$  - випадкові вершини.

Наведена модель вибору оператором оптимального варіанту завершення польоту (рисунок 2) ґрунтується на оцінці ризику виникнення небажаних наслідків у результаті реалізації певної альтернативи прийняття рішень.

В техніці ризик  $R$  визначається як добуток величини потенційного збитку  $G$  й імовірності виникнення наслідку, що характеризується даним збитком  $P$  [4, 7]:

$$R = P \times G. \quad (2)$$

Оцінка дій оператора виконується шляхом вимірювання відхилення величини ризику обраної альтернативи завершення польоту  $R_{обр}$  від оптимальної стратегії, що визначається згідно з критерієм мінімізації ризику виникнення небажаних наслідків  $R_{min}$ :

$$\Delta = R_{обр} - R_{min}. \quad (3)$$

Існують такі можливі наслідки реалізації оператором авіаційної ергатичної системи певних рішень [1]:

1. інциденти, що потребують зміни плану польоту;
2. інциденти, що закінчуються вимушеною посадкою;
3. поломки авіаційної техніки;
4. аварії;
5. катастрофи.

У випадку посадки на площадку можливих наслідків залишається тільки чотири (окрім інцидентів, які потребують зміни плану польоту).

Для оцінки ризику можливих рішень оператора вводяться слідуєчі залежності (рисунок 2):

- $b_j \in B(P, G, t_{пол}, K_{зал.пал.}, \dots)$ , де  $B$  – множина наслідків альтернативи  $A_1$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $c_k \in C(P, G, t_{пол}, K_{зал.пал.}, \dots)$ , де  $C$  – множина наслідків альтернативи  $A_2$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $d_j \in D(P, G, L_{зпс}, K_{зч}, K_{ртз}, \dots)$ , де  $D$  – множина наслідків альтернативи  $A_3$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $e_j \in E(P, G, L_{зпс}, K_{зч}, K_{ртз}, \dots)$ , де  $E$  – множина наслідків альтернативи  $A_4$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $f_j \in F(P, G, t_{доп}, \dots)$ , де  $F$  – множина наслідків альтернативи  $A_5$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $l_j \in L(P, G, t_{доп}, \dots)$ , де  $L$  – множина наслідків альтернативи  $A_6$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $m_j \in M(P, G, k_v, k_{нгх}, k_{ояп}, \dots)$ , де  $M$  – множина наслідків альтернативи  $A_7$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $q_j \in Q(P, G, k_v, k_{нгх}, k_{ояп}, \dots)$ , де  $Q$  – множина наслідків альтернативи  $A_8$ ,  $j = \overline{1,5}$ ;
- $r_k \in R(P, G, k_{пп}, \dots)$ , де  $R$  – множина наслідків альтернативи  $A_9$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $s_k \in S(P, G, k_{пп}, \dots)$ , де  $S$  – множина наслідків альтернативи  $A_{10}$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $u_k \in U(P, G, t_{доп}, \dots)$ , де  $U$  – множина наслідків альтернативи  $A_{11}$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $v_k \in V(P, G, t_{доп}, \dots)$ , де  $V$  – множина наслідків альтернативи  $A_{12}$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $w_k \in W(P, G, k_v, k_{нгх}, k_{ояп}, \dots)$ , де  $W$  – множина наслідків альтернативи  $A_{13}$ ,  $k = \overline{1,4}$ ;
- $z_k \in Z(P, G, k_v, k_{нгх}, k_{ояп}, \dots)$ , де  $Z$  – множина наслідків альтернативи  $A_{14}$ ,  $k = \overline{1,4}$ .

Розкриємо сутність наведених параметрів моделі:

1. Постійна інформація:

$L_{зпс}$  – довжина злітно – посадочної смуги;

$t_{доп}$  – час, через який аварійне ПС може отримати допомогу;

$k_{пп}$  – коефіцієнт, що характеризує тип підстилаючої поверхні даної місцевості.

2. Оперативна інформація:

$t_{пол}$  – час польоту ПС;

$K_{зал.пал.}$  – коефіцієнт, що характеризує залишок палива на ПС;

$k_{зч}$  – коефіцієнт зчеплення злітно – посадочної смуги;  
 $k_{ртз}$  – коефіцієнт, що характеризує наявність на аеродромі радіотехнічних засобів посадки;

$k_v$ ,  $k_{нгх}$ ,  $k_{ояп}$  – коефіцієнти, що характеризують наявні метеорологічні умови (видимість, висоту нижньої границі хмарності, особливі явища погоди).

3. Експериментальні дані:

$P$  – ймовірність виникнення небажаного наслідку в результаті реалізації оператором певної альтернативи прийняття рішень;

$G$  – величина потенційного збитку у випадку виникнення певного наслідку прийняття рішення.

Постійні ( $L_{зпс}$ ,  $t_{доп}$ ,  $k_{пп}$ ) й змінні ( $t_{пол}$ ,  $K_{зал.пал.}$ ,  $k_{зч}$ ,  $k_{ртз}$ ,  $k_v$ ,  $k_{нгх}$ ,  $k_{ояп}$ ) параметри моделі залежать від заданих характеристик і умов розвитку конкретної ситуації.

Для отримання експериментальних параметрів моделі, в якості яких виступають ймовірність виникнення небажаного наслідку прийняття рішення  $P$  і величина потенційного збитку, що характеризує даний наслідок  $G$ , скористаємося апаратом теорії нечітких множин [8 - 12].

Для отримання кількісного значення величини потенційного збитку  $G$ , що залежить від важкості можливих наслідків [1], був використаний метод, заснований на обробці статистичних даних [9], в якому в якості ступеня належності елемента  $h \in H$  множині  $X$  приймається оцінка частоти використання експертом нечіткого поняття для характеристики елемента.

В експертному опиті приймало участь 30 респондентів. Для отримання більш достовірних значень термів опит проводився за найбільш ефективним методом анкетування - методом Дельфи [13, 14] - у два тури.

Експертам було запропоновано оцінити величину потенційного збитку за наведеною нижче п'ятибальною якісною шкалою, що сформульована в термінах теорії нечітких множин:

1. Дуже малий збиток (відповідає інцидентам, що потребують зміни плану польоту).
2. Малий збиток (відповідає інцидентам, що закінчуються вимушеною посадкою).
3. Середній збиток (відповідає поломкам авіаційної техніки).
4. Великий збиток (відповідає аваріям).
5. Дуже великий збиток (відповідає катастрофам).

Максимально можлива величина потенційного збитку приймається рівною 100 одиниць. Інтервал  $[0; 100]$  розбивається на 10 відрізків, по кожному з яких підраховується кількість експертів, що використали певне значення лінгвістичної змінної для вираження свого уявлення про величину потенційного збитку (статистика даних, отриманих після проведення першого туру анкетування, наводиться в таблиці 1).

Таблиця 1

Значення	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
1	14	11	4	1	0	0	0	0	0	0
2	0	5	15	8	2	0	0	0	0	0
3	0	0	2	6	12	7	3	0	0	0
4	0	0	0	0	0	2	6	11	11	0
5	0	0	0	0	0	0	2	5	10	13
$k_j$	14	16	21	15	14	9	11	16	21	13

Для оброблення отриманих даних скористаємося так званою матрицею підказок, елементи якої вираховуються за формулою (4):

$$k_j = \sum_{i=1}^5 b_{ij}, \quad j = \overline{1,10}. \quad (4)$$

Матриця підказок має вигляд:  $M = \parallel 14 \ 16 \ 21 \ 15 \ 14 \ 9 \ 11 \ 16 \ 21 \ 13 \parallel$ .

В останній строчці таблиці 1 вибираємо максимальний елемент:

$$k_{\max} = \max k_j = \max \{14;16;21;15;14;9;11;16;21;13\} = 21. \quad (5)$$

Далі всі елементи таблиці 1 перетворюємо за формулою (6) і зводимо в таблицю 2:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij}k_{\max}}{k_j}, \quad i = \overline{1,5}, \quad j = \overline{1,10}. \quad (6)$$

Таблиця 2

Значення	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
1	21	14,44	4	1,4	0	0	0	0	0	0
2	0	6,56	15	11,2	3	0	0	0	0	0
3	0	0	2	8,4	18	16,33	5,73	0	0	0
4	0	0	0	0	0	4,67	11,46	14,44	11	0
5	0	0	0	0	0	0	3,82	6,56	10	21

Для побудови функцій належності знаходимо максимальні елементи за строками таблиці 2:

$$c_{i\max} = \max_j c_{ij}, \quad i = \overline{1,5}, \quad j = \overline{1,10}; \quad (7)$$

$$c_{1\max} = 21;$$

$$c_{2\max} = 15;$$

$$c_{3\max} = 18;$$

$$c_{4\max} = 14,44;$$

$$c_{5\max} = 21.$$

Функції належності вираховуються за формулою (8):

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i\max}}. \quad (8)$$

Результати, отримані після проведення першого туру експертизи, наводяться в таблиці 3.

Функції належності для кожного значення лінгвістичної змінної “Величина потенційного збитку” представлені на рисунку 3.

Таблиця 3

$\mu_i$	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
$\mu_1$	1	0,69	0,19	0,07	0	0	0	0	0	0
$\mu_2$	0	0,44	1	0,75	0,2	0	0	0	0	0
$\mu_3$	0	0	0,11	0,47	1	0,91	0,32	0	0	0
$\mu_4$	0	0	0	0	0	0,32	0,79	1	0,76	0
$\mu_5$	0	0	0	0	0	0	0,18	0,31	0,48	1

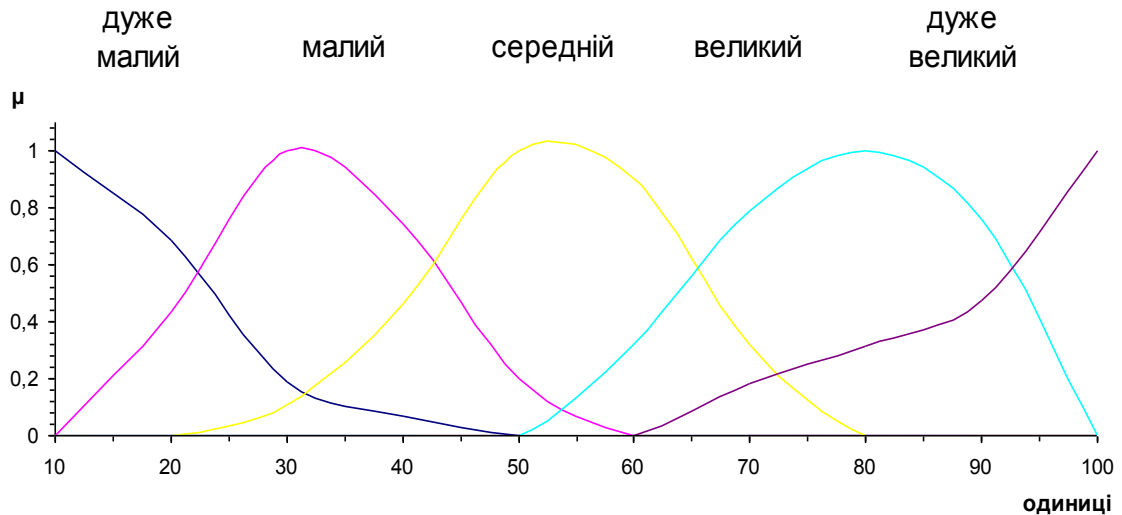


Рисунок 3. Функції належності терм – множини “Величина потенційного збитку”, отримані після проведення першого туру експертизи

З наведеної діаграми можна визначити кількісні показники, що визначають якісні характеристики величини можливого збитку:

- Інцидентам, що потребують зміни плану польоту, відповідає кількісне значення можливого збитку в 10 одиниць;
- Інцидентам, що закінчуються вимушеною посадкою – 30 одиниць;
- Поломкам авіаційної техніки – 50 одиниць.;
- Аваріям – 80 одиниць;
- Катастрофам – 100 одиниць.

На рисунку 4 відображені функції належності термів лінгвістичної змінної “Величина потенційного збитку”, отримані після другого туру експертизи.

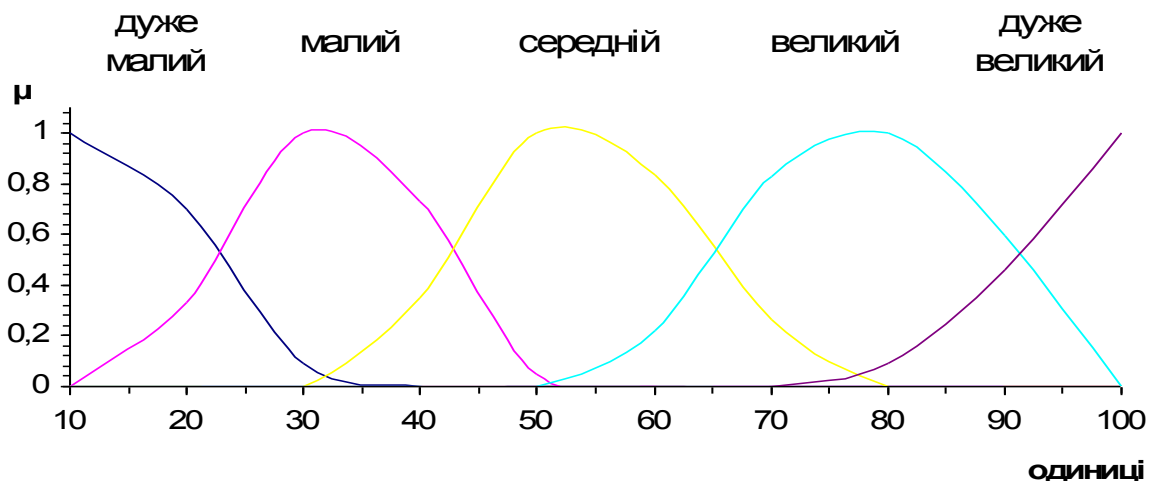


Рисунок 4. Функції належності терм – множини “Величина потенційного збитку”, отримані після проведення другого туру експертизи

Визначимо ступінь розділення  $1 - \alpha$  [15] між нечіткими визначеннями величини потенційного збитку для першого й другого етапів експертизи (таблиця 4).

Таблиця 4

Лінгвістичні змінні, що оцінюються	Ступінь розділення $1 - \alpha$	
	Перший тур	Другий тур
“Дуже малий збиток” / “Малий збиток”	$1 - 0,575 = 0,425$	$1 - 0,525 = 0,475$
“Малий збиток” / “Середній збиток”	$1 - 0,612 = 0,388$	$1 - 0,561 = 0,439$
“Середній збиток” / “Великий збиток”	$1 - 0,594 = 0,406$	$1 - 0,537 = 0,463$
“Великий збиток” / “Дуже великий збиток”	$1 - 0,594 = 0,406$	$1 - 0,525 = 0,475$

Після проведення другого туру опиту ступень розділення  $1 - \alpha$  збільшилась, що свідчить про більш чітке визначення експертами наведених лінгвістичних змінних. Те, що отримані після першого туру кількісні показники величини потенційного збитку не змінилися, дає підставу закінчити експертизу після проведення всього однієї ітерації.

Отриманий коефіцієнт конкордації за Кендалом [13, 14] (після першого туру  $W_1 = 0,961$ , після другого туру  $W_2 = 0,982$ ) свідчить про високу узгодженість думок експертів у групі.

Імовірність виникнення певної небажаної події  $P$  є добутком імовірностей двох незалежних подій:

$$P = p_{заг.} \cdot p_{конкр.сит.} \quad (9)$$

де  $p_{заг.}$  – загальна ймовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень;

$p_{конкр. сит.}$  - імовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень для конкретної ситуації.

Згідно статистичним даним [1], якщо загальну ймовірність  $p_{заг.}$  виникнення інциденту, що не потребує зміни плану польоту, прийняти рівною 1; імовірність того, що трапиться вимушена посадка, - 0,7; імовірність поломки авіаційної техніки – 0,05; імовірність аварії й катастрофи – 0,003.

Імовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень при розвитку конкретної ситуації  $p_{конкр. сит.}$  неможливо визначити за браком статистичних даних. Для отримання її значення необхідно провести експеримент, який полягає в оцінці кваліфікованими авіаційними спеціалістами ймовірності виникнення кожного можливого наслідку для запропонованої їм конкретної ситуації прийняття рішень за наведеною нижче нечіткою шкалою значень лінгвістичної змінної “Ймовірність виникнення небажаної події”:

1. Дуже низька
2. Низька
3. Середня
4. Висока
5. Дуже висока

Застосування функцій належності в умовах нечіткої інформації дозволяє формалізувати якісні характеристики потенційного збитку, що можливий у результаті розвитку особливого випадку; й імовірності виникнення небажаних наслідків, яким відповідає певний збиток, для конкретної ситуації прийняття рішень. Маючи в розпорядженні значення експериментальних параметрів моделі, можна моделювати

процес вибору оператором оптимального варіанта завершення польоту для будь-якого особливого випадку і будь-яких заданих умов.

Представлена модель прийняття рішень також може бути використана у вигляді модуля системи інформаційної підтримки, що призначений для виробки й оцінки ефективності можливих альтернатив завершення польоту в особливих випадках.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сакач Р.В., Зубков Б.В., Давиденко М.Ф. и др. Безопасность полетов: Учебник для вузов / Под ред. Р.В. Сакача. – М.: Транспорт, 1989. – 239 с.
2. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР. – М.: «Воздушный транспорт», 1985. – 262 с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. Ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
4. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 204 с.
5. Таха Х. Введение в исследование операций: Пер с англ. - 6-е изд. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 912 с.
6. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х кн. / Пер. с англ. Кн.2. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
7. Белов П.Г., Запорожченко Ю.Ф. Сущность и методы прогнозирования техногенного риска // Вісник КМУЦА, 1999. - №1 - с. 260 - 264.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
9. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. - 184 с.
10. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмишн Н.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
11. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
12. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: “Наука”. Главная редакция физико – математической литературы, 1981. – 208 с.
13. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – 2-е изд. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
14. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 1978. – 133 с.
15. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.