

**Кирилович Валерій
Анатолійович ,**

**д.т.н., проф. кафедри РЕА
ім. проф. Б.Б. Самотокіна**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ НЕЧІТКОГО
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО
ВИБОРУ (НБВА)
РОБОТИЗОВАНИХ
МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ (РМСТ)
МЕТОДОМ НАЙГІРШОГО
ВИПАДКУ**

Система проявів РМСТ в ГВК при їх АС як складових ДМЛК

Фактори, що визначають
РМСТ виготовлення d -го
виrodu в ГВК
/вихідні дані/

Обчислювані складові РМСТ на ВТБ ГВК

$$G^{d_g} = \left(\left(S^{d_g} = \left(S_{i_{SG}}^{d_g} \mid i_{SG} = \overline{1, n_{SG}^{d_g}} \right) \right); R_{jk}^{d_g} \left(S_j^{d_g}, S_k^{d_g} \right) \right)$$

$$S_{i_{SG}}^{d_g} \in (Gm, Kn, Dn, Ct, Fc, En, Tr, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fopt)$$

$$S_j^{d_g} \neq S_k^{d_g} \mid j \neq k$$

$$R_{jk}^{d_g} \in (\rightarrow, \leftrightarrow, \Rightarrow, \dots)$$

Основні
розрахункові
показники
спроектованої РМТ
для OM^{d_g}
/кінцеві дані/

ПР:

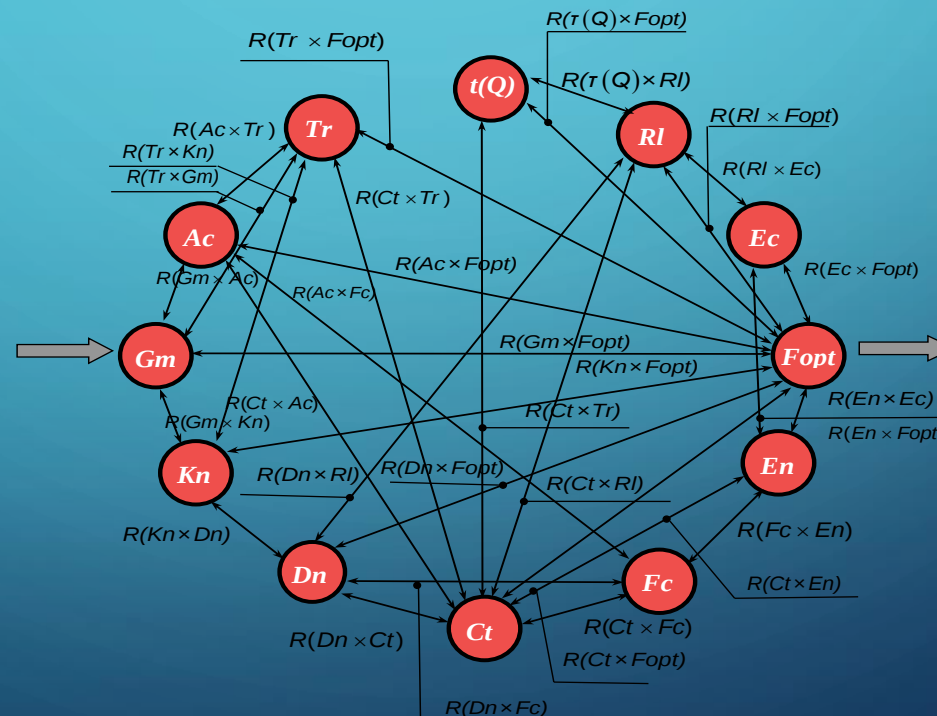
ТО : $OTO \in (PP_t \mid t = \overline{1, T})$:
= конструктивно-
технологічні
параметри;
= кількість;
– ДТО $\in (PP_t \mid t = \overline{1, T})$

PP_t :

= конструктивно-
технологічні
параметри;
= кількість;
– конструктивно-
технологічні
параметри;
= кількість.

OM^{d_g}

– ІМОМ^{d_g};
матеріал $\forall d_g = \overline{1, D_g},$
 $g = \overline{1, G}$



Продуктивність:

- циклова;
- середня
партійна.

Собівартість:

- загальна;
- ПР-
технологічн
а.

Коефіцієнти
циклового
використання/
//простоювання ТО.
Споживча
потужність.
Ранжовані
значення $Fopt$.

Фактори, що визначають умови апріорної постановки задачі



Мета роботи:

Підвищення ефективності технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ) на етапі вибору роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) за рахунок використання нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив методом найгіршого випадку.

Завдання:

1. Проаналізувати методи нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив в контексті сутності РМСТ.
2. Визначити фактори, що впливають на нечіткий багатокритеріальний вибір РМСТ із попередньо згенерованої їх множини.
3. Розробити методику розв'язування завдань нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ методом найгіршого випадку, що передбачає її подальшу автоматизовану реалізацію.
4. Розробити інформаційне забезпечення автоматизованої реалізації запропонованої методики.
5. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення, що реалізує запропоновану методику.
6. Підтвердити працездатність програмного забезпечення на ряді тестових прикладів.
7. Визначити напрямки подальших досліджень.

Наукова новизна:

Набув подальшого підхід щодо вибору РМСТ із синтезованої їх множини з використанням методик нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА) методом найгіршого випадку, що забезпечує зменшення трудомісткості процесу вибору та підвищує ефективність технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ).

Практичне значення:

Розроблено програмний продукт, що автоматизовано реалізує нечіткий багатокритеріальний вибір альтернатив методом найгіршого випадку, якій є інваріантним щодо сутності та розмірності розв'язуваних задач.

Формалізована постановка завдання

Input:

$$S^{dg} = (S_{i_{s_i}^{dg}} \mid i_{s_i}^{dg} = \overline{1, n_{s_i}^{dg}}); E = (E_{i_s} \mid i_s = \overline{1, i_m});$$

$$M = \begin{matrix} & S_1^{dg} & \dots & S_{i_{s_i}^{dg}}^{dg} & \dots & S_S^{dg} \\ \begin{matrix} E_1 \\ \vdots \\ E_{i_s} \\ \vdots \\ E_{i_m} \end{matrix} & \begin{bmatrix} E_1 S_1^{dg} & \dots & E_1 S_{i_{s_i}^{dg}}^{dg} & \dots & E_1 S_{n_{s_n}^{dg}}^{dg} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{i_s} S_1^{dg} & \dots & E_{i_s} S_{i_{s_i}^{dg}}^{dg} & \dots & E_{i_s} S_{n_{s_n}^{dg}}^{dg} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{i_m} S_1^{dg} & \dots & E_{i_m} S_{i_{s_i}^{dg}}^{dg} & \dots & E_{i_m} S_{n_{s_n}^{dg}}^{dg} \end{bmatrix} & , \end{matrix}$$

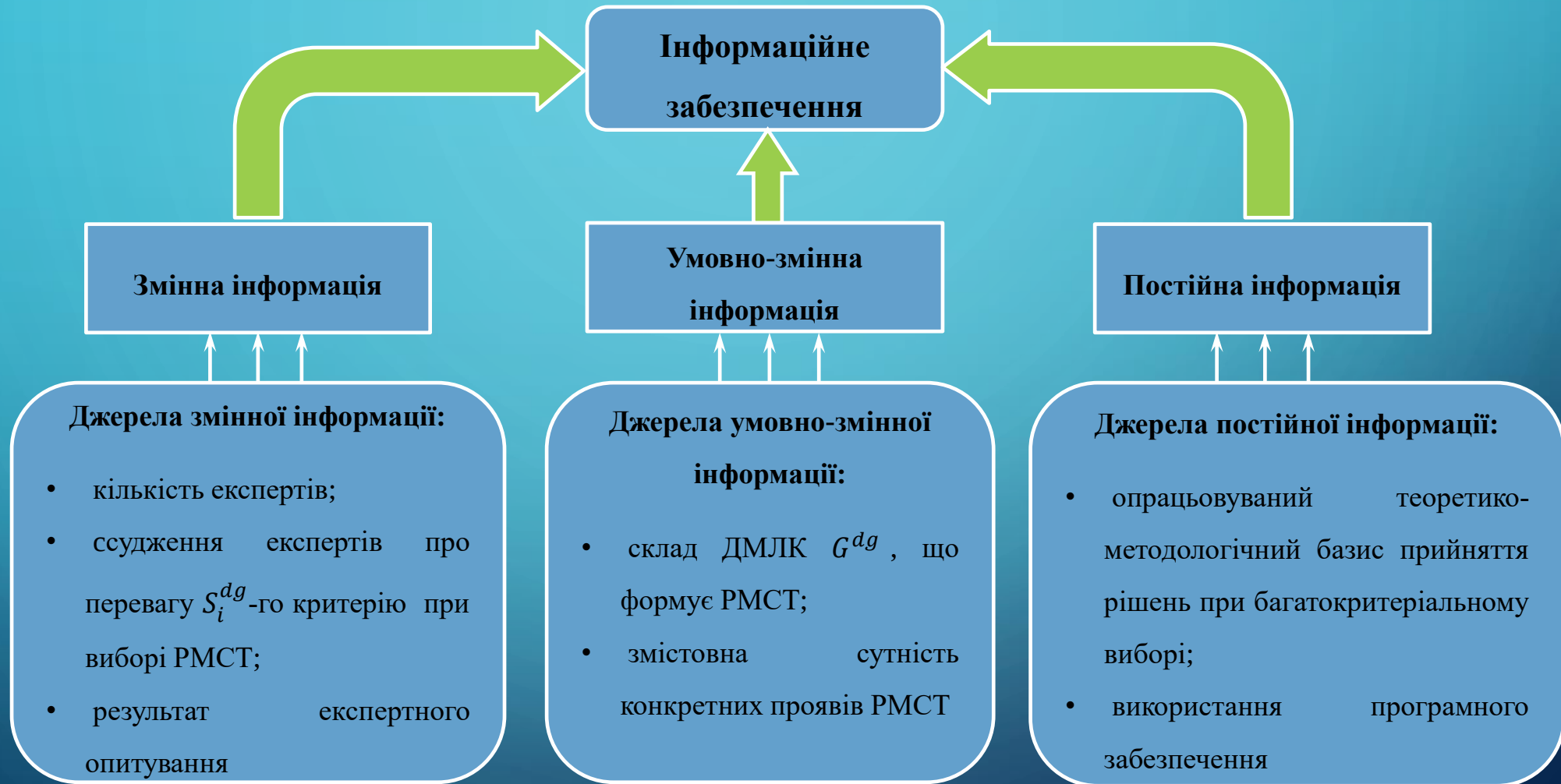
Output:

$$\varphi: (\exists^*_{RMA} T_{i_T}^{dg} \subset_{RMA} T_n^{dg} \mid i_T = \overline{1, n_T}) : \left((W_{\alpha_{i_{s_i}^{dg}}}^{dg}) \rightarrow (E_{i_{e_i}^{dg}} \alpha_{i_{s_i}^{dg}}^{dg}) \right) \rightarrow$$

$$\left(E_{e_i^{ds}} W_{s_i^{dg} k}^{dg} > E_{e_i^{ds}} W_{s_i^{dg} l}^{dg} \mid k, l = \overline{1, n_{s_i}^{dg}}; s_i^{dg} = \overline{1, n_{s_i}^{dg}}; s_i^{dg} \subset S^{dg} \right) \rightarrow$$

$$\rightarrow \langle E_{E_i^{dg}} W_{s_i^{dg} p}^{dg} \mid p = \overline{1, n_{s_i}^{dg}} \rangle \rightarrow \langle s_{i_{s_i}^{dg}} \mid i_{s_i}^{dg} = \overline{1, n_{s_i}^{dg}} \rangle$$

Складові та структура інформаційного забезпечення для розв'язування поставлених задач



Сутність нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ методом найгіршого випадку (WMS)

Метод, заснований на ідеях Беллмана-Заде і Сааті і базується на простих розрахунках співвідношення, що містять порівняння з найгіршою альтернативою і найменш важливим критерієм

- Критерії як нечіткі множини. Кожен критерій із множини $S^{dg} = (s_{i_s^{dg}} \mid i_{s_i^{dg}} = \overline{1}, n_{s_i^{dg}})$ інтерпретується як нечітка множина, що задана на універсальній множині альтернатив (експертних оцінок кожного із експертів) $E = (E_{i_s} \mid i_s = \overline{1}, i_m)$ у вигляді

$$s_j = \left\{ \frac{w_1^{(j)}}{E_1}, \frac{w_2^{(j)}}{E_2}, \dots, \frac{w_n^{(j)}}{E_{n_E^{dg}}} \right\}, j = 1, 2, \dots, m,$$

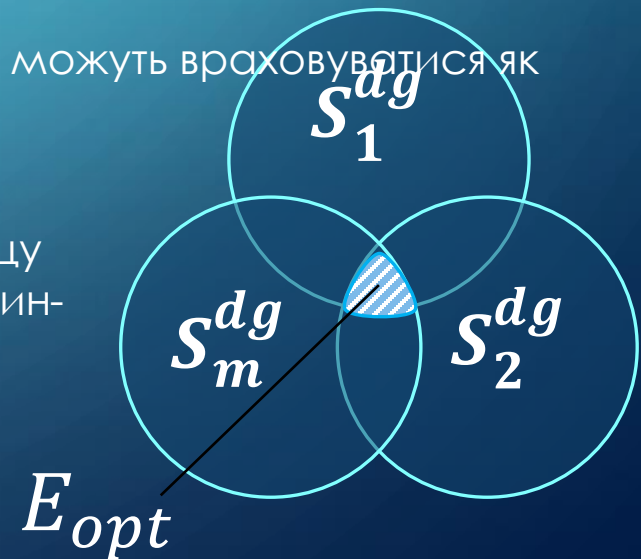
де $w_i^{(j)}$ [ступені приналежності елементів E_i до нечітких множин], які можуть враховуватися як ваги альтернатив відносно критеріїв S_j

$$w_1^{(j)} + w_2^{(j)} + \dots + w_n^{(j)} = 1, j = 1, 2, \dots, m.$$

- Найкраща альтернатива. Згідно принципу Беллмана-Заде, найкращу альтернативу E_{opt} будемо шукати всередині перетину нечітких множин-критеріїв

$$E_{opt} \in D = s_1 \cap s_2 \cap \dots \cap s_m.$$

$$w(E_{opt}) = \max_{i=1,2,\dots,n} \min \{w_i^{(1)}, w_i^{(2)}, \dots, w_i^{(m)}\}$$



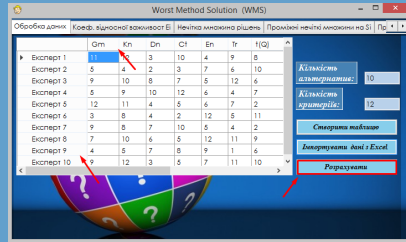
SADT-інтерпретація методики нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ



Пропонована структура СППР для поставлених задач

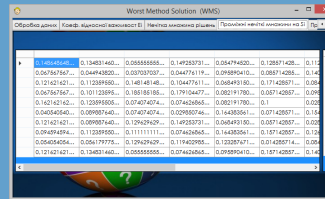
Обчислювальний модуль

Блок обробки інформації



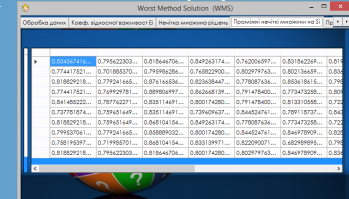
Формування нечітких критеріїв з ваг альтернатив на універсальній множині альтернатив

- Визначення найгіршої альтернативи по кожному з критеріїв
- Визначення ваг альтернатив



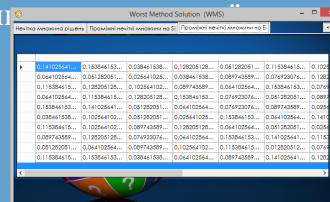
Формування нечітких критеріїв з урахуванням їх проміжних коефіцієнтів відносної важливості

- Визначення проміжних коефіцієнтів відносної важливості критеріїв
- Визначення нечітких критеріїв з урахуванням їх проміжних коефіцієнтів відносної важливості



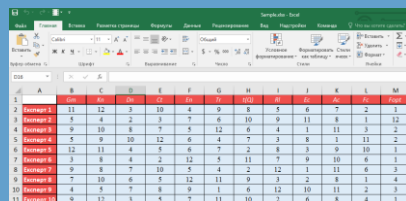
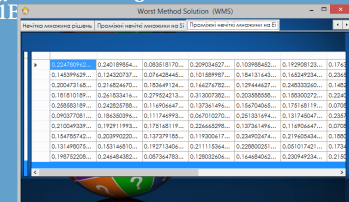
Формування нечітких альтернатив з урахуванням їх відносної важливості

- Визначення нечітких альтернатив з урахуванням їх відносної важливості



Формування нечітких альтернатив з ваг критеріїв на універсальній множині критеріїв

- Визначення найгіршої альтернативи серед критеріїв
- Визначення ваг критеріїв



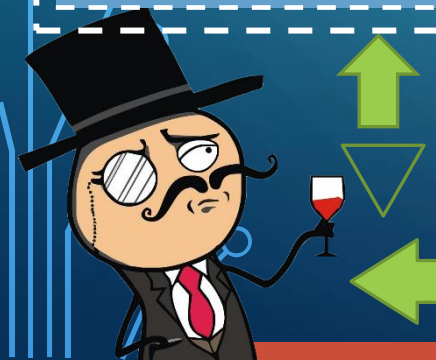
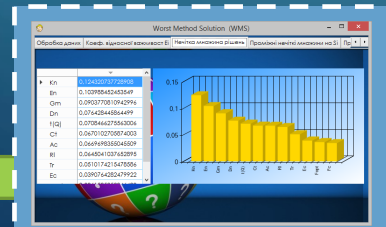
Прийняття рішень

- Визначення $\max_{i=1,m} \mu_{e_{im}}(s_{i_{s_i^{dg}}}^{dg})^{\alpha_{im}}$
- Формування нечіткої упорядкованої ДМЛК

$$\varphi: (\exists^*_{RMA} T_{i_T}^{dg} \subset_{RMA} T_n^{dg} \mid i_T = \overline{1, n_T}) : ((W_{s_i^{dg}}^{\alpha_{i_{s_i^{dg}}}})^{\rightarrow} (E_{e_i^{dg}}^{\alpha_{i_{s_i^{dg}}}})) \rightarrow$$

$$(E_{e_i^{ds}} W_{s_i^{dg}k}^{dg} > E_{e_i^{ds}} W_{s_i^{dg}l}^{dg} \mid k, l = \overline{1, n_{s_i^{dg}}}; S_i^{dg} = \overline{1, n_{s_i^{dg}}}; S_i^{dg} \subset S^{dg}) \rightarrow$$

$$\rightarrow \langle E_{e_i^{dg}} W_{s_i^{dg}p}^{dg} \mid p = \overline{1, n_{s_i^{dg}}} \rangle \rightarrow \langle s_{i_{s_i^{dg}}} \mid i_{s_i^{dg}} = \overline{1, n_{s_i^{dg}}} \rangle$$



Анкета з даними проведеного експертного опитування

Експерти, $m = \overline{1, 10}$	Критерії, $n = \overline{1, 12}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Геометричний	Кінематичний	Динамічний	Управлінський	Енергетичний	Траєкторний	Тривалість циклу τ , що визначає циклову продук- тивність (Q)	Надійності	Економічний	Точнісний	Силовий	Оптимальності
	Gm	Kn	Dn	Ct	En	Tr	τ (Q)	RI	Ec	Ac	Fc	F _{opt}
Експерт 1	11	12	3	10	4	9	8	5	6	7	2	1
Експерт 2	5	4	2	3	7	6	10	9	11	8	1	12
Експерт 3	9	10	8	7	5	12	6	4	1	11	3	2
Експерт 4	5	9	10	12	6	4	7	3	8	1	11	2
Експерт 5	12	11	4	5	6	7	2	8	3	9	10	1
Експерт 6	3	8	4	2	12	5	11	7	9	10	6	1
Експерт 7	9	8	7	10	5	4	2	12	1	11	6	3
Експерт 8	7	10	6	5	12	11	9	3	2	8	1	4
Експерт 9	4	5	7	8	9	1	6	12	10	11	2	3
Експерт 10	9	12	3	5	7	11	10	2	6	8	4	1

Головне вікно програмного продукту Worst Method Solution(WMS)



Екранна форма про можливість імпорту даних з Excel

Worst Method Solution (WMS)

Обробка даних Коеф. відносної важливості E_i Нечітка множина рішень Проміжні нечіткі множини на S_i Пр

	Критерій №1	Критерій №2	Критерій №3	Критерій №4
Альтернатива №1	0			
Альтернатива №2	0			
Альтернатива №3	0			
Альтернатива №4	0			
Альтернатива №5	0	0	0	0

Увага!

Заповніть комірки або завантажте Excel

OK

Кількість альтернатив: 10

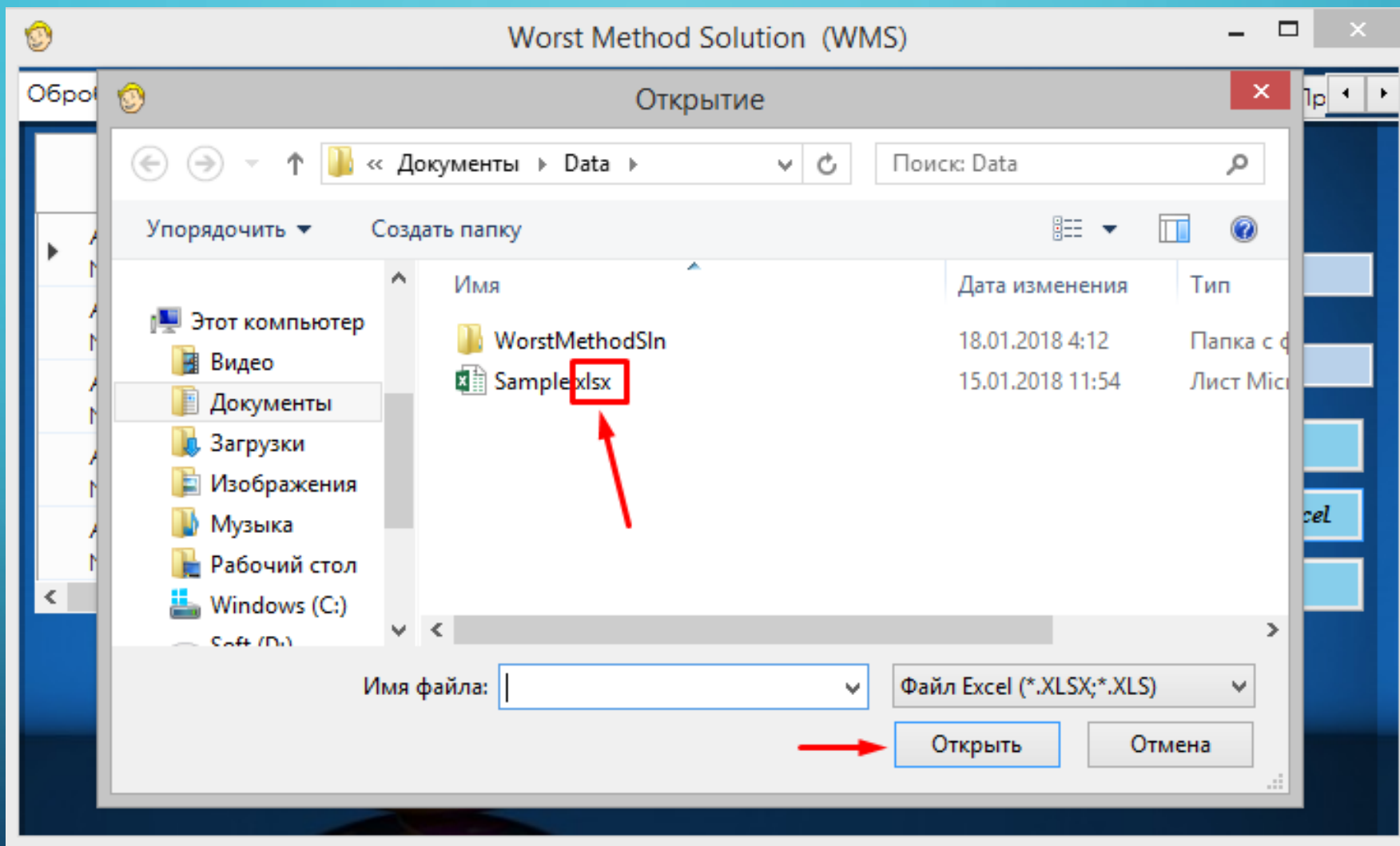
Кількість критеріїв: 12

Створити таблицю

Імпортувати дані з Excel

Розрахувати

Екранна форма зі шляхом до файлу з даними



Екранна форма з демонстрацією імпорту таблиці з Excel

Worst Method Solution (WMS)

Обробка даних Коеф. відносної важливості E_i Нечітка множина рішень Проміжні нечіткі множини на S_i Пр

	Gm	Kn	Dn	Ct	En	Tr	t(Q)
▶ Експерт 1	11	12	3	10	4	9	8
Експерт 2	5	4	2	3	7	6	10
Експерт 3	9	10	8	7	5	12	6
Експерт 4	5	9	10	12	6	4	7
Експерт 5	12	11	4	5	6	7	2
Експерт 6	3	8	4	2	12	5	11
Експерт 7	9	8	7	10	5	4	2
Експерт 8	7	10	6	5	12	11	9
Експерт 9	4	5	7	8	9	1	6
Експерт 10	9	12	3	5	7	11	10

Кількість альтернатив: 10

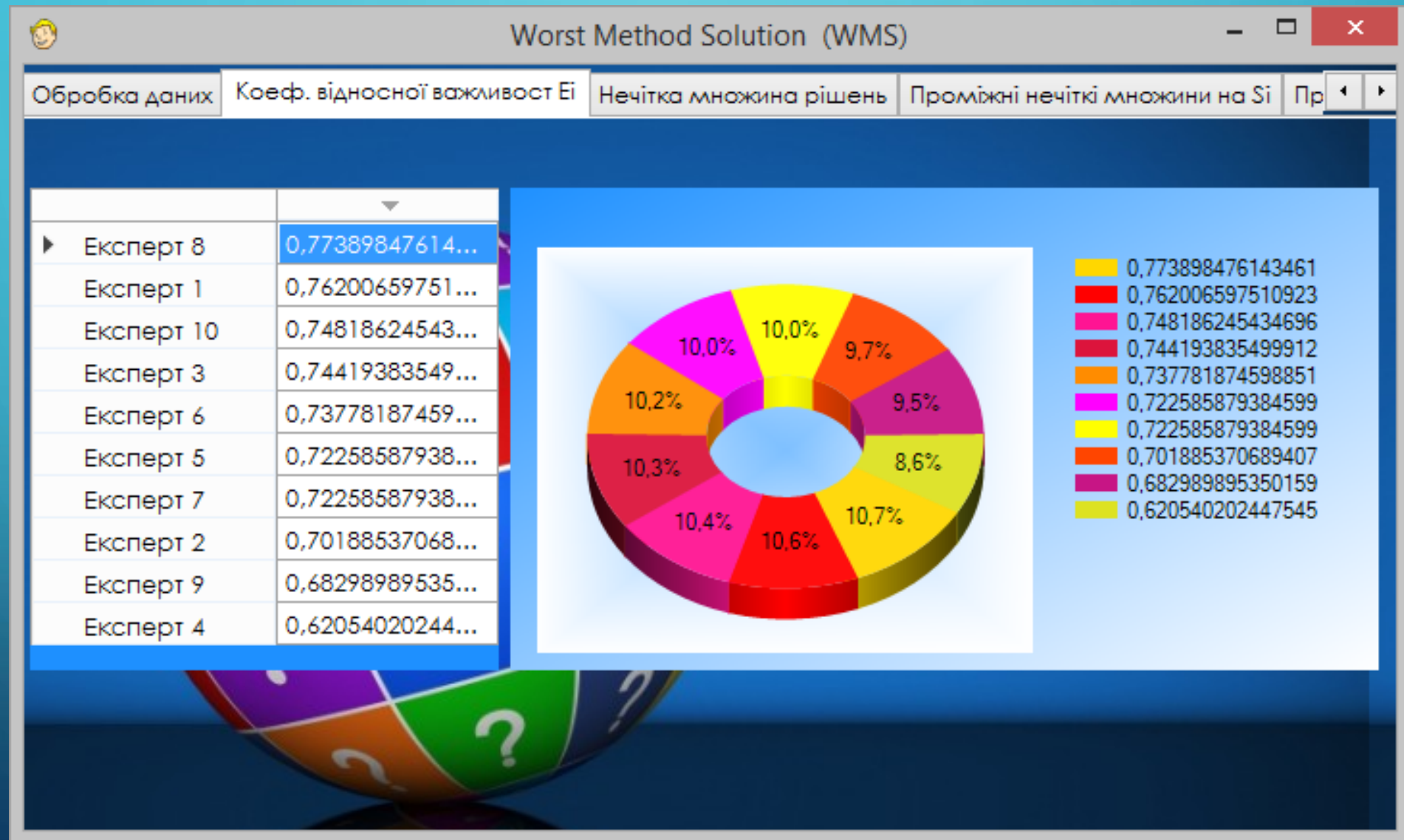
Кількість критеріїв: 12

Створити таблицю

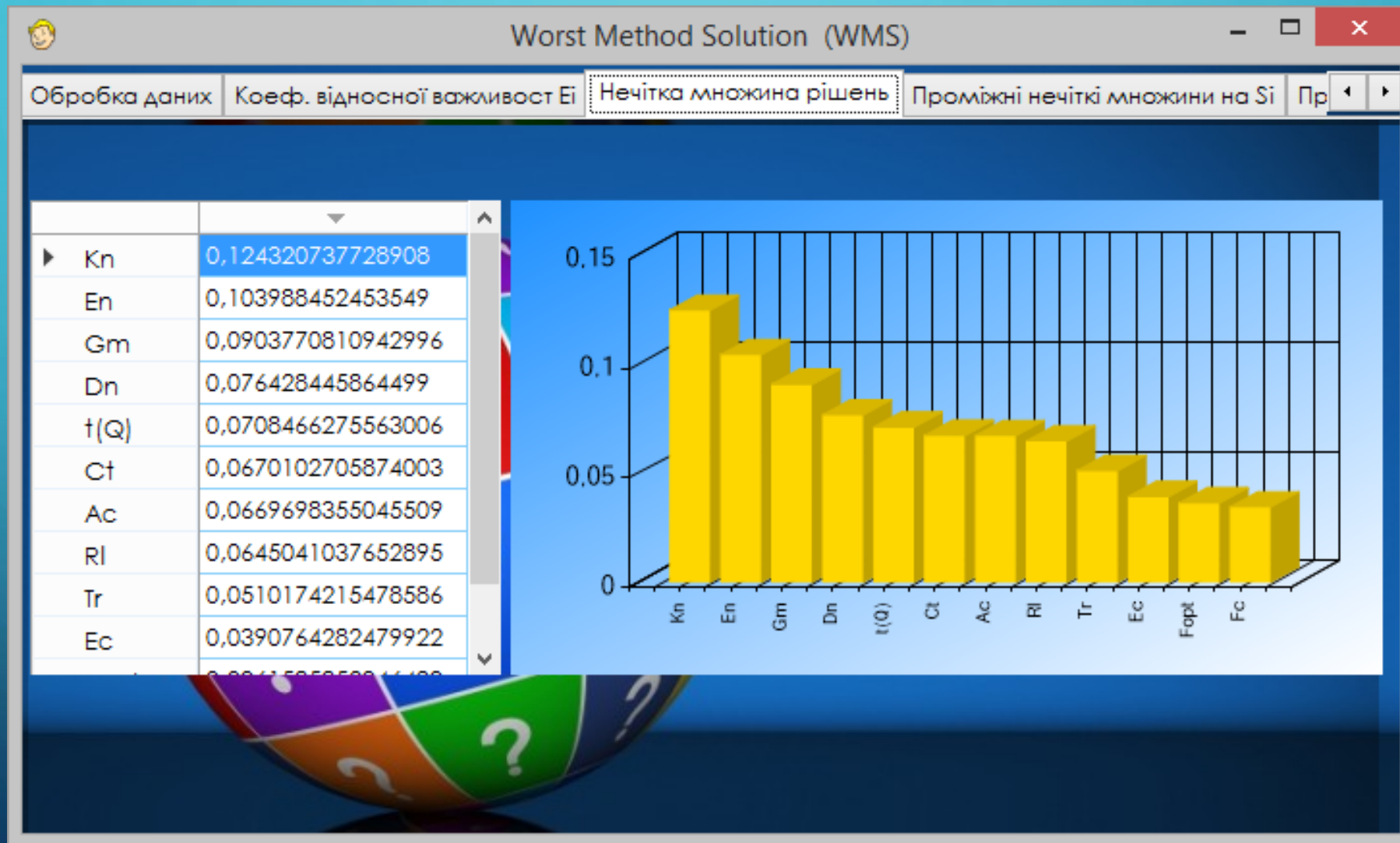
Імпортувати дані з Excel

Розрахувати

Екранна форма з результатами розрахунків відносної важливості суджень експертів та їх графічною



Екранна форма з результатами нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ та його графічна інтерпретація



Інші екранні форми з результатами нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ

Worst Method Solution (WMS)

Обробка даних | Коеф. відносної важливості E_i | Нечітка множина рішень | Проміжні нечіткі множини на S_i | Пр

▶	0,148648648...	0,134831460...	0,055555555...	▶	0,834567416...	0,795622303...	0,818646706...
	0,067567567...	0,044943820...	0,037037037...		0,774417521...	0,701885370...	0,795986286...
	0,121621621...	0,112359550...	0,148148148...		0,818829218...	0,779241665...	0,876166536...
	0,067567567...	0,101123595...	0,185185185...		0,774417521...	0,769929781...	0,889806997...
	0,162162162...	0,123595505...	0,074074074...		0,841485222...	0,787762271...	0,835114691...
	0,040540540...	0,089887640...	0,074074074...		0,737781874...	0,759651649...	0,835114691...
	0,121621621...	0,089887640...	0,129629629...		0,818829218...	0,759651649...	0,868104154...
	0,094594594...	0,112359550...	0,111111111...		0,799537061...	0,779241665...	0,858889032...
	0,054054054...	0,056179775...	0,129629629...		0,758195397...	0,719985701...	0,868104154...
	0,121621621...	0,134831460...	0,055555555...		0,818829218...	0,795622303...	0,818646706...

Worst Method Solution (WMS)

Нечітка множина рішень | Проміжні нечіткі множини на S_i | Проміжні нечіткі множини на E_i

▶	0,141025641...	0,153846153...	0,038461538...	▶	0,224780962...	0,240189854...	0,083518170...
	0,064102564...	0,051282051...	0,025641025...		0,145399629...	0,124320737...	0,076428445...
	0,115384615...	0,128205128...	0,102564102...		0,200473168...	0,216824670...	0,183649124...
	0,064102564...	0,115384615...	0,128205128...		0,181810189...	0,261833416...	0,279524213...
	0,153846153...	0,141025641...	0,051282051...		0,258583189...	0,242825788...	0,116906647...
	0,038461538...	0,102564102...	0,051282051...		0,090377081...	0,186350396...	0,111746993...
	0,115384615...	0,102564102...	0,089743589...		0,210049339...	0,192911993...	0,175168119...
	0,089743589...	0,128205128...	0,076923076...		0,154785742...	0,203990220...	0,137379185...
	0,051282051...	0,064102564...	0,089743589...		0,131498075...	0,153146810...	0,192713406...
	0,115384615...	0,153846153...	0,038461538...		0,198752208...	0,246484382...	0,087364783...

Загальні висновки

1. За результатами аналізу доступних інформаційних джерел щодо методів нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив визначено доцільність використання нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив методом найгіршого випадку, якій вигідно відрізняється від існуючих методів мінімальною кількістю розрахунків.
2. Змістовна сутність постановки завдання вибору РМСТ визначила фактори, що впливають на нечіткий багатокритеріальний вибір РМСТ із попередньо згенерованої їх множини і в подальшому використанні прийнятої методики.
3. Розроблено SADT-представлення нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ методом найгіршого випадку, що враховує зміст задачі вибору предметної області та основу даної методики даного підходу та передбачає її автоматизовану реалізацію.
4. Запропоновано склад та структуру інформаційного забезпечення нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ методом найгіршого випадку, що враховує зміст представлених завдань та використовується при автоматизованій реалізації програмної методики.
5. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення WMS, що враховує представлене інформаційне забезпечення та розроблену SADT-методику.
6. Працездатність розробленого програмного забезпечення WMS підтверджено на ряді тестових прикладів, а також на прикладі нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив РМСТ, що базується на експертному анкетуванні та розробленій методиці нечіткого багатокритеріального РМСТ.
7. Визначено напрямки подальших досліджень, що передбачають розгляд запропонованого програмного забезпечення як складової інших підходів.

Worst Method Solution (WMS)

Обробка даних Коеф. відносної важливості E_i Нечітка множина рішень Проміжні нечіткі

▶	0,148648648...	0,134831460...	0,055555555...	0,149253731...	0,054794520...
	0,067567567...	0,044943820...	0,037037037...	0,044776119...	0,095890410...
	0,121621621...	0,112359550...	0,148148148...	0,104477611...	0,068493150...
	0,067567567...	0,101123595...	0,185185185...	0,179104477...	0,082191780...
	0,162162162...	0,123595505...	0,074074074...	0,074626865...	0,082191780...
	0,040540540...	0,089887640...	0,074074074...	0,029850746...	0,164383561...
	0,121621621...	0,089887640...	0,129629629...	0,149253731...	0,068493150...
	0,094594594...	0,112359550...	0,111111111...	0,074626865...	0,164383561...
	0,054054054...	0,056179775...	0,129629629...	0,119402985...	0,123...
	0,121621621...	0,134831460...	0,055555555...	0,074626865...	0,095...

Нечітка

Worst Method Solution (WMS)

Обробка даних Коеф. відносної важливості E_i Нечітка множина рішень Проміжні нечіткі множини на S_i Пр

▶	0,834567416...	0,795622303...	0,818646706...	0,849263174...	0,762006597...	0,831862269...	0,819...
	0,774417521...	0,701885370...	0,795986286...	0,765822900...	0,802979763...	0,802136659...	0,836...
	0,818829218...	0,779241665...	0,876166536...	0,823638447...	0,778087636...	0,853618615...	0,798...
	0,774417521...	0,769929781...	0,889806997...	0,862668139...	0,791478400...	0,773473258...	0,809...
	0,841485222...	0,787762271...	0,835114691...	0,800174280...	0,791478400...	0,813310558...	0,722...
	0,737781874...	0,759651649...	0,835114691...	0,739609637...	0,844524761...	0,789118737...	0,843...
	0,818829218...	0,759651649...	0,868104154...	0,849263174...	0,778087636...	0,773473258...	0,722...
	0,799537061...	0,779241665...	0,858889032...	0,800174280...	0,844524761...	0,846978909...	0,828...
	0,758195397...	0,719985701...	0,868104154...	0,833139971...	0,822090071...	0,682989895...	0,798...
	0,818829218...	0,795622303...	0,818646706...	0,800174280...	0,802979763...	0,846978909...	0,836...

Worst Method Solution (WMS)

Нечітка множина рішень Проміжні нечіткі множини на S_i Проміжні нечіткі множини на E_i

▶	0,224780962...	0,240189854...	0,083518170...	0,209034527...	0,103988452...	0,192908123...	0,1763...
	0,145399629...	0,124320737...	0,076428445...	0,101589987...	0,184131643...	0,165249234...	0,2365...
	0,200473168...	0,216824670...	0,183649124...	0,166276782...	0,129444627...	0,248333260...	0,1482...
	0,181810189...	0,261833416...	0,279524213...	0,313007382...	0,203588558...	0,158300272...	0,2240...
	0,258583189...	0,242825788...	0,116906647...	0,137361496...	0,156704065...	0,175168119...	0,0708...
	0,090377081...	0,186350396...	0,111746993...	0,067010270...	0,251331694...	0,131745047...	0,2357...
	0,210049339...	0,192911993...	0,175168119...	0,226665298...	0,137361496...	0,116906647...	0,0708...
	0,154785742...	0,203990220...	0,137379185...	0,119300617...	0,234902474...	0,219605434...	0,1880...
	0,131498075...	0,153146810...	0,192713406...	0,211115364...	0,228800251...	0,051017421...	0,1734...
	0,198752208...	0,246484382...	0,087364783...	0,128032606...	0,164684062...	0,230949234...	0,2150...

	0,025641025...	0,038461538...	0,089743589...	0,076923076...	0,1282...
	0,102564102...	0,089743589...	0,064102564...	0,153846153...	0,0769...
	0,128205128...	0,153846153...	0,076923076...	0,051282051...	0,0897...
	0,051282051...	0,064102564...	0,076923076...	0,089743589...	0,0256...
	0,051282051...	0,025641025...	0,153846153...	0,064102564...	0,1410...
	0,089743589...	0,128205128...	0,064102564...	0,051282051...	0,0256...
	0,076923076...	0,064102564...	0,153846153...	0,141025641...	0,1153...
	0,089743589...	0,102564102...	0,115384615...	0,012820512...	0,0769...
	0,038461538...	0,064102564...	0,089743589...	0,141025641...	0,1282...