

Державний університет “Житомирська політехніка”

**Вибір роботизованих
механоскладальних технологій
з використанням
Еджварта-Парето оптимізації**

Кирилович Валерій Анатолійович

д.т.н.,

проф. кафедри РЕА ім. проф. Б.Б. Самотокаїна



Актуальність теми

На сьогоднішній день конкуренція виробничих організацій є, напевно, найбільшою за весь час розвитку технологій. Тому виробничі компанії постійно шукають нові та нові автоматизовані системи та процеси, які дають технологічні переваги. Тому сучасні технології в виробничій сфері дають змогу краще вести конкуренцію на ринку. До таких технологій відноситься роботизовані механоскладальні технології (РМСТ).

Як відомо, в багатьох виробничих та невиробничих галузях виникає потреба у прийнятті рішень. Значною кількістю прийняття рішень змістовно відповідає розв'язуванню задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА).

Задача вибору РМСТ і відноситься саме до класу задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив.

Мета та завдання

Мета:

Підвищення якості технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв машино- та приладобудування за рахунок нового підходу щодо вибору РМСТ з використанням Еджварта-Парето оптимізації, що виконується на множині отриманих рішень за результатами методик, що розроблені та реалізовані в ДУ «Житомирська політехніка».

1. Проаналізувати зміст та результати існуючих методик нечіткого багатокритеріального вибору (НБВ) РМСТ та використати їх як вхідні дані для розв'язування в роботі завдань.
2. Розробити семантичну модель нечіткого багатокритеріального вибору Парето-оптимальних РМСТ та на її основі запропонувати відповідне інформаційне та методичне забезпечення.
3. Продемонструвати працездатність запропонованого підходу при розв'язуванні задач НБВ РМСТ з використанням Еджварта-Парето оптимізації та порівняти отримані результати з отриманими раніше рішеннями.
4. Визначити напрямки подальших досліджень

Завдання

Відмітні риси задачі НБВ РМСТ

4

Особливість задачі

- Кінцеве рішення апіорі та апостеріорі невідоме;
- Змістом вибору є процес оптимізації, особливістю якого в свою чергу є саме процес упорядкування елементів ДМЛК;
- Задача відноситься до задач багатокритеріальної оптимізації;
- Кожен елемент ДМЛК має різну фізичну природу, зміст та різні шкали вимірювань.

“Природа” задачі

- Упорядковані множини локальних критеріїв, що отримані різними методами, містять різні послідовності локальних критеріїв в рішеннях;
- Це породжує необхідність визначення узгодженості рішень, отриманих різними методиками в контексті змісту даної задачі.

Компоненти (прояви) РМСТ



Вхідні дані – альтернативи

$QBMS_{S<j>}$

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою квазікращого випадку

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою серединного випадку з середньоквадратичним методом визначення серединного параметру

$SS_{S<j>}$

$AS_{S<j>}$

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою серединного випадку з середньоарифметичним методом визначення серединного параметру

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою серединного випадку з середньогеометричним методом визначення серединного параметру

$GS_{S<j>}$

$MS_{S<j>}$

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою серединного випадку з середньоарифметичним методом визначення серединного параметру

Множина результатів НБВ РМСТ, отриманих методикою найгіршого випадку

$WMS_{S<j>}$

Нечіткий багатокритеріальний вибір РМСТ

Аналіз узгодженості отриманих результатів (вхідних даних) за коефіцієнтами кореляції Кендалла (W) та Спірмена (ρ)

Коефіцієнт узгодженості Кендалла

$$W = \frac{12 \cdot \sum d^2}{n^2 \cdot (m^3 - m)};$$

де **n=4** – кількість методів (альтернатив),
m=12 – кількість локальних критеріїв,
d² – квадрат відхилення суми локального критерію за шістьма методами від середньої суми всіх критеріїв.

Kendall rank correlation coefficient: 0.597 - Noticeable consistency;
Spearman's rank correlation coefficient:

Alternatives	Coefficient	Explanation
QBMS - MMS:A	0.413	Noticeable consistency
QBMS - MMS:M	0.497	Noticeable consistency
QBMS - MMS:S	0.371	Weak consistency
QBMS - MMS:G	0.413	Noticeable consistency
QBMS - WMS	0.559	Noticeable consistency
MMS:A - MMS:M	0.909	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:A - MMS:S	0.986	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:A - MMS:G	1.0	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:A - WMS	-0.084	Alternatives are almost inconsistent
MMS:M - MMS:S	0.923	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:M - MMS:G	0.909	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:M - WMS	0.056	Alternatives are almost inconsistent
MMS:S - MMS:G	0.986	Very high consistency, alternatives almost coincide
MMS:S - WMS	-0.105	Alternatives are almost inconsistent
MMS:G - WMS	-0.084	Alternatives are almost inconsistent

Коефіцієнт узгодженості Спірмена

$$\rho = 1 - 6 \frac{\sum d^2}{m^3 - m};$$

де **m=12** – кількість локальних критеріїв,
d² – квадрат різниці між рангами альтернатив

Сутність Еджварта-Парето оптимізації

Принцип Еджварта-Парето дає змогу звужити клас можливих претендентів на остаточне розв'язання і виключити з розгляду свідомо неконкурентоздатні варіанти. А остаточний вибір здійснюється на основі додаткової інформації про переваги особи, яка приймає рішення (ОПР).

В даній роботі принцип Еджварта-Парето поширюється на ширший клас задач багатокритеріального вибору, у яких відношення переваги ОПР, а також множина можливих рішень є нечіткими.

У спрощеній формі його можна виразити так: у тих завданнях багатокритеріального вибору, які підкоряються певним аксіомам, нечіткий вибір слід здійснювати лише всередині множини Парето. Вказане вимагає формування самої множини Парето.

Результати нечіткого багатокритеріального

вибору РМСТ ($S^k_{\langle j \rangle} \rightarrow S^k_{(j)}$)

(Початкові дані для розв'язуваних тут задач)

$k=(QBMS, MMS:A, MMS:M, MMS:S, MMS:G, WMS)$

	S1-Gm	S2-Kn	S3-Dn	S4-Ct	S5-En	S6-Tr	S7-τ(Q)	S8-RI	S9-Ec	S10-Ac	S11-Fc	S12-Fopt
QBMS	0.18074	0.19354	0.15139	0.179	0.19015	0.18514	0.17603	0.18029	0.15259	0.17118	0.16525	0.16415
MMS:A	0.2163	0.21562	0.18836	0.21844	0.21638	0.21613	0.20152	0.21744	0.20347	0.20255	0.20353	0.21839
MMS:M	0.21961	0.21599	0.19307	0.22342	0.22376	0.2191	0.19567	0.2191	0.20866	0.20417	0.20838	0.2237
MMS:S	0.21576	0.2153	0.18689	0.21689	0.21589	0.21567	0.2009	0.21638	0.20248	0.20152	0.20202	0.21737
MMS:G	0.21684	0.21594	0.18994	0.22011	0.21702	0.21659	0.20214	0.21853	0.20444	0.20362	0.20515	0.21937
WMS	0.09038	0.12432	0.07643	0.06701	0.10399	0.05102	0.07085	0.0645	0.03908	0.06697	0.03433	0.03616

Узагальнена постановка завдань НБВ РМСТ, оптимальних за Еджвортом-Парето

$$\varphi: (S_{\langle j \rangle}^k \rightarrow S_{(j)}^k) \rightarrow (S_{(j)}^P \rightarrow S_{\langle j \rangle}^P)$$

$$i_p = \overline{1, n_p};$$

$$j = \overline{1, m};$$

$$K = (K_{i_p} = \overline{1, n_{i_p}})$$

$$k = (QBMS, MMS: M, MMS: A, MMS: G, MMS: S, WMS);$$

$$P = \{QBMS, MMS: M, MMS: A, MMS: G, MMS: S, WMS\};$$

$$|k| \geq |P|$$

Розширена семантична модель НБВ РМСТ, оптимальних за Еджвортом-Парето



Кроки формування Еджварта-Парето множини $PMCT_2$

Порівняння альтернатив (за нечіткими оцінками розв'язків за слайдом 9)

Quazi-best method solution (QBMS) та Middle method solution: arithmetic mean (MMS:A)

QBMS i MMS:A			
QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A
s_1	s_2	s_3	s_4
QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A
s_5	s_6	s_7	s_8
QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A	QBMS < MMS:A
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Quazi-best method solution (QBMS) та Middle method solution: median (MMS:M)

QBMS i MMS:M			
QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M
s_1	s_2	s_3	s_4
QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M
s_5	s_6	s_7	s_8
QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M	QBMS < MMS:M
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Quazi-best method solution (QBMS) та Middle method solution: root mean square (MMS:S)

QBMS i MMS:S			
QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S
s_1	s_2	s_3	s_4
QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S
s_5	s_6	s_7	s_8
QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S	QBMS < MMS:S
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Порівняння альтернатив

Quazi-best method solution (QBMS) та Middle method solution: geometric (MMS:G)

QBMS і MMS:G			
QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G
s_1	s_2	s_3	s_4
QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G
s_5	s_6	s_7	s_8
QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G	QBMS < MMS:G
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Quazi-best method solution (QBMS) та Worst method solution (WMS)

QBMS і WMS			
QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS
s_1	s_2	s_3	s_4
QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS
s_5	s_6	s_7	s_8
QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS	QBMS > WMS
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Порівнювані альтернативи	>	<	Видалена (недомінуюча) альтернатива	Залишена (домінуюча) альтернатива
QBMS та MMS:A	0	12	QBMS	MMS:A
QBMS та MMS:M	0	12	QBMS	MMS:M
QBMS та MMS:S	0	12	QBMS	MMS:S
QBMS та MMS:G	0	12	QBMS	MMS:G
QBMS та WMS	12	0	WMS	QBMS

Тут відношення $QBMS > WMS$ виконується, тому WMS є недомінуючим і не розглядається далі. При порівнянні QBMS і MMS:A виконується відношення $MMS:A > QBMS$, QBMS є недомінуючою і знімається з розгляду. Аналогічно проаналізовані інші альтернативи.

Порівняння альтернатив

Middle method solution: arithmetic mean (MMS:A) та Middle method solution: root mean square (MMS:S)

Middle method solution: arithmetic mean (MMS:A) та Middle method solution: geometric (MMS:G)

	MMS:A i MMS:S			
MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	
s_1	s_2	s_3	s_4	
MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	
s_5	s_6	s_7	s_8	
MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	MMS: A > MMS: S	
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	

	MMS:A i MMS:G			
MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	
s_1	s_2	s_3	s_4	
MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	
s_5	s_6	s_7	s_8	
MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	MMS: A < MMS: G	
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	

Middle method solution: arithmetic mean (MMS:A) та Middle method solution: median (MMS:M)

	MMS:A i MMS:M			
MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	
s_1	s_2	s_3	s_4	
MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	MMS: A > MMS: M	MMS: A < MMS: M	
s_5	s_6	s_7	s_8	
MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	MMS: A < MMS: M	
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	

Порівняння альтернатив

Порівнювані альтернативи	>	<	Видалена (недомінуюча) альтернатива	Залишена (домінуюча) альтернатива
MMS:A та MMS:M	0	12	MMS:A	MMS:M
MMS:A та MMS:S	12	0	MMS:S	MMS:A
MMS:A та MMS:G	0	12	MMS:A	MMS:G

При порівнянні MMS:A і MMS:M відношення $MMS:A < MMS:M$ виконується, MMS:A є недомінуючим і знімається з розгляду.

Порівняння $MMS:A > MMS:S$ виконується, тому MMS:S є недомінуючим і не розглядається далі.

При порівнянні MMS:A і MMS:G відношення $MMS:A < MMS:G$ виконується, MMS:A є недомінуючим і знімається з розгляду.

Порівняння альтернатив

Middle method solution: median (MMS:M) та
 Middle method solution: geometric (MMS:G)

	MMS:M і MMS:G			
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G
s_1	s_2	s_3	s_4	
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M < MMS: G	MMS: M > MMS: G	
s_5	s_6	s_7	s_8	
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	

Порівнювані альтернативи	>	<	Видалена (недомінуюча) альтернатива	Залишена (домінуюча) альтернатива
MMS:M та MMS:G	11	1	_____	_____

Тут MMS:M і MMS:G незрівнянні, тому обидва включені в множину Еджварта-Парето, що має вид $P = (MMS:M; MMS:G)$.

Остаточний вибір РМСТ виконується на цій сформованій Еджварта-Парето множині.

Нечіткі оцінки сформованих елементів

Еджварта-Парето множини

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
MMS:M	0.21961	0.21599	0.19307	0.22342	0.22376	0.2191	0.19567	0.2191	0.20866	0.20417	0.20838	0.2237
MMS:G	0.21684	0.21594	0.18994	0.22011	0.21702	0.21659	0.20214	0.21853	0.20444	0.20362	0.20515	0.20515
ΔS_j	0.00277	0.00005	0.00313	0.00331	0.00674	0.00251	(-0.00674)	0.00057	0.00422	0.00055	0.00323	0.01855

Для кінцевого вибору Еджворта-Перето оптимального рішення щодо нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ необхідно володіти інформацією про переваги ОПР щодо кожного із множини локальних критеріїв $S_1 - S_{12}$. В даному випадку найбільш важливим критерієм є S_{12} , а найменш важливим S_7 . На основі принципів Еджворта-Парето зменшується нечітка оцінка найбільш важливого локального критерію $\Delta S_j \max$, тобто S_{12} , для якого $\Delta S_{12} = 0.01855$ (виділено **зеленим** кольором), покращенням начіткої оцінки для найменш важливого критерію $\Delta S_j \min$, тобто S_7 , для якого $\Delta S_7 = -0.00674$ (виділено **червоним** кольором).

Результат корегування нечітких оцінок локальних критеріїв в Еджварта-Парето альтернативах

Для даного прикладу для збільшення критерію S_7 (параметр, який визначає часові параметри (продуктивність) РМСТ), ОПР необхідно знехтувати критерієм S_{12} (складові, що визначені комплексними видами критеріїв при проектуванні РМСТ) за нехтуванням нечіткої оцінки критерію S_{12} для підвищення важливості критерія S_7 , що виражається наступною залежністю $S_7^* = S_{12}^* = 0,5$.

Тоді коефіцієнт відносної важливості вказаних критеріїв дорівнює:

$$\theta_{S_j, min, S_j max} = \frac{S_7^*}{S_7^* + S_{12}^*} = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = \frac{0,5}{1} = 0,5.$$

З огляду на це, нові значення критеріїв S_7 і S_{12} нечітких оцінок для кожної з альтернатив сформованої вище Парето-множини, тобто MMS:M та MMS:G, виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{MMS:M : } S_7 &= 0,5 * 0.19567 + (1-0,5) * 0.2237 = 0,097835 + 0,11188 = 0,209715; \\ S_{12} &= 0,5 * 0.2237 + (1-0,5) * 0.19567 = 0,097835 + 0,11188 = 0,209715; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MMS:G : } S_7 &= 0,5 * 0.20214 + (1-0,5) * 0.20515 = 0,10107 + 0,10257 = 0,20364; \\ S_{12} &= 0,5 * 0.20515 + (1-0,5) * 0.20214 = 0,10257 + 0,10107 = 0,20364 \end{aligned}$$

Порівняння відкорегованих нечітких оцінок Едварта-Парето альтернатив

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
MMS:M	0.21961	0.21599	0.19307	0.22342	0.22376	0.2191	0.19567	0.2191	0.20866	0.20417	0.20838	0.2237
'MMS:M							0,209715					0,209715
MMS:G	0.21684	0.21594	0.18994	0.22011	0.21702	0.21659	0.20214	0.21853	0.20444	0.20362	0.20515	0.20515
'MMS:G							0,20364					0,20364

Порівняння MMS:M та MMS:G.

Результат порівняння

MMS:M і MMS:G			
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G
s_1	s_2	s_3	s_4
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G
s_5	s_6	s_7	s_8
MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G	MMS: M > MMS: G
s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}

Порівнювані альтернативи	>	<	Видалена (недомінуюча) альтернатива	Залишена (домінуюча) альтернатива
MMS:M та MMS:G	12	0	MMS:G	MMS:M

$$(S_{MMS:M}^{(j)} \rightarrow S_{MMS:M}^{<j>})$$

Кінцевий результат порівняння альтернатив

20

Таким чином, розглянута процедура визначення відносної важливості критеріїв дає можливість звузити набір Еджварта-Парето і, отже, зменшити кількість можливих рішень: початкова кількість аналізованих альтернатив 6, кінцева 2.

В розглянутому прикладі Еджварта-Перето оптимальним вибором РМСТ є результат, отриманий за аналізованими альтернативами рішень (див. слайд 9): MMS:M – middle method solution: median, тобто результат, отриманий за методикою серединного випадку з медіанним визначенням серединного параметру.

Кінцевий результат, що отриманий на множині вхідних 6 альтернатив-рішень, співпадає з результатом, отриманим більш трудомістким підходом нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ з використанням методів TOPSIS, PROMETHEE II, GRA та процедур нормалізації норм.

Напрямки подальших досліджень

21

01

Демонстрація працездатності при розв'язуванні інших задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (ефективність програмного забезпечення на етапі тестування)

02

Розробка та демонстрація вибору Еджварта-Парето оптимальних нечітких багатокритеріальних задач вибору з інших галузей діяльності людини

03

Розробка універсальної автоматизованої системи нечіткого багатокритеріального вибору різногалузевих альтернатив з використанням Еджварта-Парето оптимізації

Загальні висновки

1. Запропоновано новий підхід щодо нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ, компонентами якого є кінцева множина результатів вибору РМСТ з використанням множини методик, розроблених в ДУ "ЖП". Такий підхід базується на розв'язуванні задач з використанням принципів Парето-оптимальності. Його використання збільшує обґрунтованість прийняття рішень та зменшує трудомісткість процесу вибору РМСТ із їх кінцевої множини, що і є одними із показників підвищення ефективності технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв приладо- та машинобудування.

2. Розроблено семантичну модель НБВ Парето-оптимальних РМСТ, що являє собою розімкнений зважений орієнтований граф, в якому вершини ідентифіковані результатами обчислень, а ребра змістовно визначають кроки виконання таких обчислень. На її основі запропонувати відповідне інформаційне та методичне забезпечення.

Проаналізовані відомі методології PROMETHE II та TOPSIS. Отримана множина пріоритетів аналізованих альтернатив є основою для їх подальшого аналізу з використанням ефекту нормалізації норм.

Розроблено семантичну модель нечіткого багатокритеріального вибору Парето-оптимальних РМСТ завдяки відповідному інформаційному та методичному забезпеченню.

4. Підхід який був розглянутий в роботі бакалавра пройшов підхід до розв'язування задач нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ з використанням Парето-оптимізації.

Загальні висновки

3. Працездатність запропонованого підходу продемонстрована на множині розв'язків, отриманих як результат використання методик, розроблених в ДУ “Житомирська політехніка” та розробленої методичної основи розв'язування задач НБВ Парето-оптимальних РМСТ у вигляді семантичної моделі. Її зміст вказує на принципову можливість її програмної реалізації..

Продемонструвати працездатність запропонованого підходу при розв'язуванні задач нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ з використанням Парето-оптимізації.

4. Аналіз отриманих результатів за розробленим підходом вказує на отримання результату (а саме оптимальною є методика MMS:M= middle method solution: median – методика серединного випадку з медіанним визначенням серединного параметру), який співпадає із попередньо отриманим результатом з використанням багаторівневої методології, що базується на методах TOPSIS, PROMETHEE II, GRA та нормалізації норм. Це підтверджує працездатність запропонованого підходу та породжує ряд питань щодо випадковості та/або закономірності отриманих однакових результатів.

5. Визначено напрямки подальших досліджень, що за своїм змістом є розширеними дослідженнями постановок та їх результатів, що орієнтовані на автоматизовану їх реалізацію в рамках оригінального програмного продукту.

Державний університет “Житомирська політехніка”

Дякую за увагу

