

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА З КУРСУ «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ».

МЕТОД ДЕЛФІ.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА. ПРИКЛАД.



Постановка задачі:

Продемонструємо можливості застосування методу Делфі на основі процедури експертного оцінювання при розв'язанні реальної практичної задачі з предметної області «*Металургія*» та головного об'єкту дослідження «*Металургійний комбінат*».

Ціль дослідження: пошук ефективної логістики, що буде сприяти головній меті комбінату - підвищення об'єму виплавки сталі.

Стратегічним напрямком розвитку сучасних металургійних комбінатів є підвищення конкурентоспроможності продукції на основі поліпшення якісних характеристик металопродукції, а також переоснащення з метою зниження витрат та ресурсоемності виробництва, допоміжних процесів. Так як найважливішим допоміжним процесом металургійного комбінату є процес забезпечення залізничних перевезень, транспортування сировини та готової продукції, розглянемо **один з напрямків досягнення головної мети:** пошук ефективної логістики, що буде сприяти підвищенню об'єму виплавки сталі із прийнятним рівнем достовірності оцінювання не менше 0,7.

Вихідну інформацію для проведення експертизи надає замовник проекту у вигляді Пояснювальної записки, Технічної пропозиції та іншої документації. На основі наданої вихідної інформації робоча група проводить процедуру структурування предметної області.

Розглядаємий напрямок дослідження передбачає проведення визначених робочою групою **заходів** $O = \{O_n \mid n = \overline{1,5}\}$, що націлені на підтримку та розширення виробничої інфраструктури комбінату (див. Табл. 1):

O_1 — «Заміна застарілих локомотивів на нові»;

O_2 — «Капітальний ремонт існуючих локомотивів»;

O_3 — «Скорочення парку локомотивів»;

O_4 — «Впровадження нових технологій чистки вагонів»;

O_5 — «Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів».

При аналізі можливостей, переваг та недоліків кожного заходу необхідно оцінити його потенціал різними кількісними та якісними **показниками** або **критеріями** $I_n = \{I_{np} \mid p = \overline{1,4}\}$, $\forall O_n \in O$ такими як:

I_{n1} — «Ефективність»;

I_{n2} — «Здійсненність»;

I_{n3} — «Степінь довіри експерта до даної пропозиції»;

I_{n4} — «Степінь відношення заходу до головної проблеми».

Табл. 1. Вихідні данні

Об'єкти		Показники
$O = \{O_i, n = \overline{1,4}\}$		$I = \{I_p, p = \overline{1,4}\}$
O_1 = «Заміна застарілих локомотивів на нові»		I_1 = «Ефективність»
O_2 = «Капітальний ремонт існуючих локомотивів»		I_2 = «Здійсненність»
O_3 = «Скорочення парку локомотивів»		I_3 = «Степінь довіри»
O_4 = «Впровадження нових технологій чистки вагонів»		I_4 = «Степінь відношення до проблеми»
O_5 = «Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів.»		
Апріорно задані коефіцієнти:		
$K=0,8$	- коефіцієнт врахування ваги показників впевненості експертів	
$S^*=0,7$	- граничний рівень узгодженості	
$\hat{R}^{T_1}=0,5$	- радіус довірчого інтервалу	

Для забезпечення достовірності експертного оцінювання на рівні не менше 0,7, необхідно сформувавши групу з не менш ніж 16 експертів $E = \{E_k \mid k = \overline{1,16}\}$, кожен з яких характеризується своїм показником компетентності $\chi = \{\chi_k \mid k = \overline{1,16}\}$ у предметній області (див. Табл. 2) та розглянутому напрямку роботи - «Інфраструктура металургійного комбінату».

Табл. 2. Компетентності експертів

Експерт	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15	№ 16
χ_k	1	0,8	0,75	0,6	0,9	1	1	0,8	0,5	0,65	0,5	0,7	0,65	0,9	0,8	1

На основі представленої вихідної інформації, на початковому етапі процедури експертного оцінювання робочою групою формуються головні тематичні розділи опитувальних форм, що орієнтовані на оцінку досягнення головної цілі дослідження. Один з розділів такої опитувальної форми - «Інфраструктура» наведено нижче (див. Табл. 3.)

Табл. 3. Опитувальна форма. Тематичний розділ: «Інфраструктура»

Захід: / Критерій:	Ефективність							Здійсненність							Степінь відношення до проблеми							Степінь довіри до пропозиції						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	Надзвичайно	Дуже	Не	Середнє	Е. ви	Дуже	Надзвичайно	Повністю	Не	Можливо	Середнє	Можливо	З. ви	Повністю	Надзвичайно	Дуже	Не	Середнє	Видно	Дуже	Надзвичайно	Надзвичайно	Дуже	Не	Середнє	Видно	Дуже	Надзвичайно
1.Заміна застарілих локомотивів на нові.	μ_{nps}	ν_{nps}																										
2.Капітальний ремонт існуючих локомотивів.	μ_{nps}	ν_{nps}																										
3.Скорочення парку локомотивів.	μ_{nps}	ν_{nps}																										
4.Впровадження нових технологій чистки вагонів.	μ_{nps}	ν_{nps}																										
5.Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів	μ_{nps}	ν_{nps}																										

На основі статистичних досліджень, наявних джерел інформації за обраною

темою та оглядів, що запропоновані кожному експерту $E_k \in E$, у кожній клітині опитувальної форми експерт ставить кількісну оцінку та впевненість у поставленій оцінці в межах інтервалу $[0; 1]$:

μ_{nps} - оцінка експерту того, що критерій прийме вказане значення з відповідного рівня $s = \overrightarrow{1,7}$, наприклад, що захід «Заміна застарілих локомотивів на нові» буде надзвичайно ефективним, потім що він буде дуже ефективним і т.д. та останнє, що він буде надзвичайно неефективним взагалі.

ν_{nps} - степені впевненості експерта у кожній поставленій відповіді.

Експерти заповнюють кожний розділ опитувальної форми незалежно один від одного, не маючи інформації про оцінки інших експертів.

У зв'язку з великим обсягом отриманих результатів у Табл. 4.1-4.4 представлені результати експертного оцінювання у вигляді точкових оцінок тільки одного заходу «Заміна застарілих локомотивів на нові» за 4-ма критеріями та ваги показників (див. Табл. 5). Коефіцієнт, що дозволяє врахувати вагу показників впевненості експертів приймаємо наступним: $K=0,8$

Табл. 4.1-4.4. Точкові оцінки експертів щодо ефективності заходу -
«Заміна застарілих локомотивів на нові»

Табл. 4.1. Експертні оцінки показнику «Ефективність»

№	Експерт	Ефективність													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Надзвичайн о не ефективно		Дуже не ефективно		Не ефективно		Середня ефективність		Ефективно		Дуже ефективно		Надзвичайн о ефективно	
		μ_{k1}	ν_{k1}	μ_{k2}	ν_{k2}	μ_{k3}	ν_{k3}	μ_{k4}	ν_{k4}	μ_{k5}	ν_{k5}	μ_{k6}	ν_{k6}	μ_{k7}	ν_{k7}
1	Експерт 1	0,55	1,00	0,75	0,70	0,40	1,00	0,30	1,00	0,20	1,00	0,15	1,00	0,05	1,00
2	Експерт 2	0,55	1,00	0,60	1,00	0,80	1,00	1,00	0,70	0,80	0,80	0,75	1,00	0,35	0,70
3	Експерт 3	0,65	1,00	0,70	0,90	0,90	1,00	1,00	0,50	0,95	1,00	0,70	0,80	0,45	0,50
4	Експерт 4	0,45	0,90	0,80	0,50	1,00	0,90	1,00	0,80	0,50	0,50	0,45	0,50	0,55	0,80
5	Експерт 5	0,55	0,90	0,75	0,70	0,90	0,90	1,00	0,90	0,50	1,00	0,55	0,70	0,30	0,90
6	Експерт 6	0,25	0,90	0,60	0,80	1,00	0,90	0,80	0,80	0,45	0,70	0,35	0,80	0,80	0,80
7	Експерт 7	0,50	0,50	0,75	0,80	0,45	0,90	0,30	0,80	0,25	0,70	0,10	0,60	0,05	0,50
8	Експерт 8	0,25	0,90	0,60	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00	0,80	1,00	0,50	1,00	0,40	1,00
9	Експерт 9	0,70	0,90	0,85	1,00	0,80	0,90	0,95	0,80	0,70	0,90	0,60	1,00	0,50	0,80
10	Експерт 10	0,60	1,00	0,80	0,80	0,95	1,00	1,00	0,80	0,80	1,00	0,60	0,80	0,45	0,80

11	Експерт 11	0,70	0,90	0,75	1,00	0,70	0,90	0,45	0,90	0,50	1,00	0,25	1,00	0,10	0,90
12	Експерт 12	0,45	0,90	0,70	0,90	0,50	1,00	0,35	0,90	0,25	0,90	0,20	0,80	0,10	0,90
13	Експерт 13	0,15	0,80	0,50	1,00	0,90	0,80	0,85	1,00	0,35	0,80	0,25	0,90	0,05	1,00
14	Експерт 14	0,70	1,00	0,90	1,00	0,85	1,00	0,50	1,00	0,55	1,00	0,30	1,00	0,20	1,00
15	Експерт 15	0,75	1,00	0,90	1,00	0,80	1,00	0,55	1,00	0,45	1,00	0,35	1,00	0,25	1,00
16	Експерт 16	0,20	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,90	1,00	0,85	1,00	0,75	1,00	0,65	1,00

Табл. 4.2. Експертні оцінки показнику «Здійсненність»

№	Експерт	Здійсненність													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Повна не здійсненність		Не здійсненність		Можлива не здійсненність		Середня здійсненність		Можлива здійсненність		Здійсненність		Повна здійсненність	
		μ_{k1}	ν_{k1}	μ_{k2}	ν_{k2}	μ_{k3}	ν_{k3}	μ_{k4}	ν_{k4}	μ_{k5}	ν_{k5}	μ_{k6}	ν_{k6}	μ_{k7}	ν_{k7}
1	Експерт 1	0,65	0,94	0,70	0,83	0,55	0,63	0,47	0,61	0,35	0,61	0,19	0,83	0,08	0,61
2	Експерт 2	0,72	0,83	0,95	0,61	0,96	0,99	0,74	0,61	0,43	0,99	0,19	0,83	0,06	0,63
3	Експерт 3	0,55	0,94	0,72	0,83	0,70	0,63	0,50	0,63	0,37	0,83	0,25	0,61	0,12	0,61
4	Експерт 4	0,21	0,99	0,44	0,99	0,69	0,61	0,82	0,94	0,74	0,61	0,49	0,61	0,25	0,61
5	Експерт 5	0,14	0,63	0,31	0,99	0,50	0,63	0,60	0,99	0,54	0,83	0,50	0,63	0,40	0,83
6	Експерт 6	0,06	0,99	0,17	0,83	0,41	0,83	0,71	0,99	0,91	0,83	0,89	0,99	0,66	0,63
7	Експерт 7	0,35	0,99	0,54	0,83	0,77	0,99	0,78	0,83	0,58	0,63	0,33	0,83	0,14	0,63
8	Експерт 8	0,49	0,61	0,78	0,61	0,94	0,63	0,87	0,63	0,60	0,94	0,31	0,63	0,12	0,83
9	Експерт 9	0,24	0,99	0,44	0,63	0,73	0,83	0,85	0,83	0,75	0,61	0,49	0,83	0,25	0,61
10	Експерт 10	0,48	0,94	0,79	0,61	0,90	0,61	0,77	0,63	0,50	0,94	0,25	0,83	0,10	0,61
11	Експерт 11	0,41	0,83	0,70	0,61	0,92	0,63	0,93	0,99	0,71	0,99	0,41	0,99	0,18	0,61
12	Експерт 12	0,60	0,83	0,59	0,63	0,54	0,61	0,35	0,99	0,17	0,94	0,06	0,99	0,02	0,94
13	Експерт 13	0,68	0,61	0,57	0,61	0,55	0,94	0,47	0,99	0,29	0,63	0,13	0,94	0,05	0,99
14	Експерт 14	0,17	0,63	0,39	0,63	0,66	0,99	0,85	0,63	0,83	0,61	0,61	0,83	0,34	0,94
15	Експерт 15	0,15	0,94	0,28	0,61	0,37	0,99	0,55	0,99	0,71	0,61	0,66	0,99	0,47	0,83
16	Експерт 16	0,58	0,61	0,85	0,63	0,93	0,94	0,77	0,61	0,48	0,83	0,22	0,99	0,08	0,61

Табл. 4.3. Експертні оцінки показнику «Степінь відношення до проблеми»

№	Експерт	Степінь відношення до проблеми													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Надзвичайно низька		Дуже низька		Низька		Середній рівень		Висока		Дуже висока		Надзвичайно висока	
		μ_{k1}	ν_{k1}	μ_{k2}	ν_{k2}	μ_{k3}	ν_{k3}	μ_{k4}	ν_{k4}	μ_{k5}	ν_{k5}	μ_{k6}	ν_{k6}	μ_{k7}	ν_{k7}
1	Експерт 1	0,10	0,63	0,24	0,94	0,42	0,94	0,55	0,83	0,54	0,83	0,54	0,99	0,47	1,00
2	Експерт 2	0,24	0,61	0,43	0,63	0,56	0,83	0,54	0,94	0,55	0,94	0,49	0,83	0,32	0,94
3	Експерт 3	0,09	0,61	0,16	0,83	0,34	0,99	0,62	0,99	0,82	0,99	0,81	0,94	0,61	0,61
4	Експерт 4	0,30	0,61	0,57	0,94	0,81	0,83	0,85	0,63	0,68	0,94	0,41	0,83	0,18	0,83
5	Експерт 5	0,30	0,99	0,38	0,63	0,56	0,63	0,73	0,61	0,69	0,94	0,49	0,94	0,26	0,99
6	Експерт 6	0,36	0,99	0,65	0,63	0,88	0,99	0,91	0,63	0,70	0,83	0,41	0,83	0,18	0,99
7	Експерт 7	0,28	0,99	0,51	0,63	0,68	0,94	0,67	0,94	0,50	0,83	0,38	0,61	0,25	0,83
8	Експерт 8	0,08	0,63	0,20	0,63	0,47	0,83	0,76	0,61	0,92	0,61	0,84	0,99	0,59	0,63
9	Експерт 9	0,25	0,61	0,50	0,63	0,75	0,63	0,84	0,94	0,71	0,63	0,45	0,63	0,22	0,94
10	Експерт 10	0,09	0,94	0,17	0,83	0,34	0,83	0,63	0,61	0,82	0,61	0,81	0,99	0,60	0,83
11	Експерт 11	0,07	0,63	0,18	0,94	0,32	0,63	0,41	0,99	0,56	0,94	0,67	0,63	0,59	0,94
12	Експерт 12	0,16	0,94	0,40	0,61	0,71	0,61	0,93	0,99	0,93	0,61	0,73	0,99	0,44	0,83
13	Експерт 13	0,11	0,63	0,21	0,94	0,31	0,99	0,50	0,63	0,71	0,94	0,73	0,99	0,56	0,83

14	Експерт 14	0,18	0,61	0,35	0,99	0,49	0,94	0,52	0,61	0,57	0,63	0,55	0,83	0,39	0,61
15	Експерт 15	0,12	0,99	0,28	0,63	0,50	0,83	0,66	0,94	0,66	0,83	0,49	0,94	0,37	0,94
16	Експерт 16	0,05	0,61	0,18	0,63	0,41	0,61	0,71	0,94	0,94	0,61	0,96	0,83	0,75	0,63

Табл. 4.3. Експертні оцінки показнику «*Степінь довіри до пропозиції*»

№	Експерт	Степінь довіри до пропозиції													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Надзвичайно низька		Дуже низька		Низька		Середній рівень		Висока		Дуже висока		Надзвичайно висока	
		μ_{k1}	ν_{k1}	μ_{k2}	ν_{k2}	μ_{k3}	ν_{k3}	μ_{k4}	ν_{k4}	μ_{k5}	ν_{k5}	μ_{k6}	ν_{k6}	μ_{k7}	ν_{k7}
1	Експерт 1	0,03	0,63	0,11	0,94	0,27	0,63	0,50	0,99	0,70	0,94	0,73	0,94	0,59	0,83
2	Експерт 2	0,06	0,94	0,18	0,83	0,39	0,61	0,64	0,94	0,79	0,61	0,73	0,83	0,51	0,63
3	Експерт 3	0,06	0,61	0,14	0,99	0,27	0,99	0,37	0,94	0,54	0,61	0,69	0,99	0,65	0,83
4	Експерт 4	0,04	0,99	0,12	0,83	0,29	0,61	0,53	0,99	0,72	0,99	0,74	0,83	0,57	0,83
5	Експерт 5	0,03	0,94	0,08	0,83	0,15	0,94	0,32	0,83	0,59	0,99	0,79	0,99	0,80	0,61
6	Експерт 6	0,04	0,99	0,11	0,63	0,19	0,63	0,37	0,63	0,64	0,63	0,80	0,99	0,75	0,61
7	Експерт 7	0,03	0,63	0,09	0,61	0,19	0,63	0,30	0,99	0,48	0,61	0,69	0,63	0,72	0,83
8	Експерт 8	0,05	0,83	0,11	0,94	0,20	0,99	0,38	0,94	0,65	0,63	0,80	0,94	0,74	0,99
9	Експерт 9	0,05	0,94	0,13	0,94	0,21	0,61	0,40	0,63	0,66	0,99	0,79	0,83	0,71	0,94
10	Експерт 10	0,02	0,61	0,07	0,61	0,21	0,61	0,47	0,61	0,76	0,83	0,94	0,83	0,90	0,94
11	Експерт 11	0,03	0,61	0,12	0,99	0,31	0,61	0,59	0,83	0,87	0,99	0,98	0,94	0,86	0,99
12	Експерт 12	0,03	0,61	0,11	0,94	0,27	0,83	0,50	0,94	0,70	0,94	0,73	0,63	0,58	0,83
13	Експерт 13	0,05	0,83	0,16	0,99	0,34	0,83	0,57	0,99	0,69	0,63	0,64	0,94	0,45	0,94
14	Експерт 14	0,05	0,61	0,14	0,61	0,30	0,61	0,49	0,83	0,59	0,63	0,54	0,63	0,49	0,94
15	Експерт 15	0,04	0,61	0,12	0,99	0,28	0,61	0,51	0,99	0,71	0,99	0,74	0,94	0,58	0,83
16	Експерт 16	0,05	0,63	0,14	0,94	0,33	0,99	0,59	0,61	0,80	0,83	0,81	0,99	0,63	0,99

Табл. 5. Ваги показників об'єктів

	Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції
W_{np}	0,20	0,25	0,40	0,15

Необхідно:

⇒ Провести аналіз узгодженості експертних оцінок для кожного показника кожного об'єкту з урахуванням компетентності та впевненості експертів та апіорно заданим радіусом довірчого інтервалу \hat{R}^{T_1} приймаючи рівень узгодженості оцінок не менш ніж S^* .

⇒ Визначити експертну узгоджену оцінку для кожного показника кожного об'єкту.

⇒ Визначити пріоритетність впровадження кожного з заходів та проранжувати їх, враховуючи ваги показників.

⇒ На основі проведеного аналізу надати об'єктивну інформацію щодо

заходів для досягнення цілі та відповідні рекомендації.

Розв'язок:

Розглянемо процедуру формування узгоджених експертних оцінок на прикладі показника I_{11} — «Ефективність» заходу O_1 — «Заміна застарілих локомотивів на нові». Графічна інтерпретація результатів експертного оцінювання даного показника, що приведені в Табл. 4.1 представлена на Рис. 1.

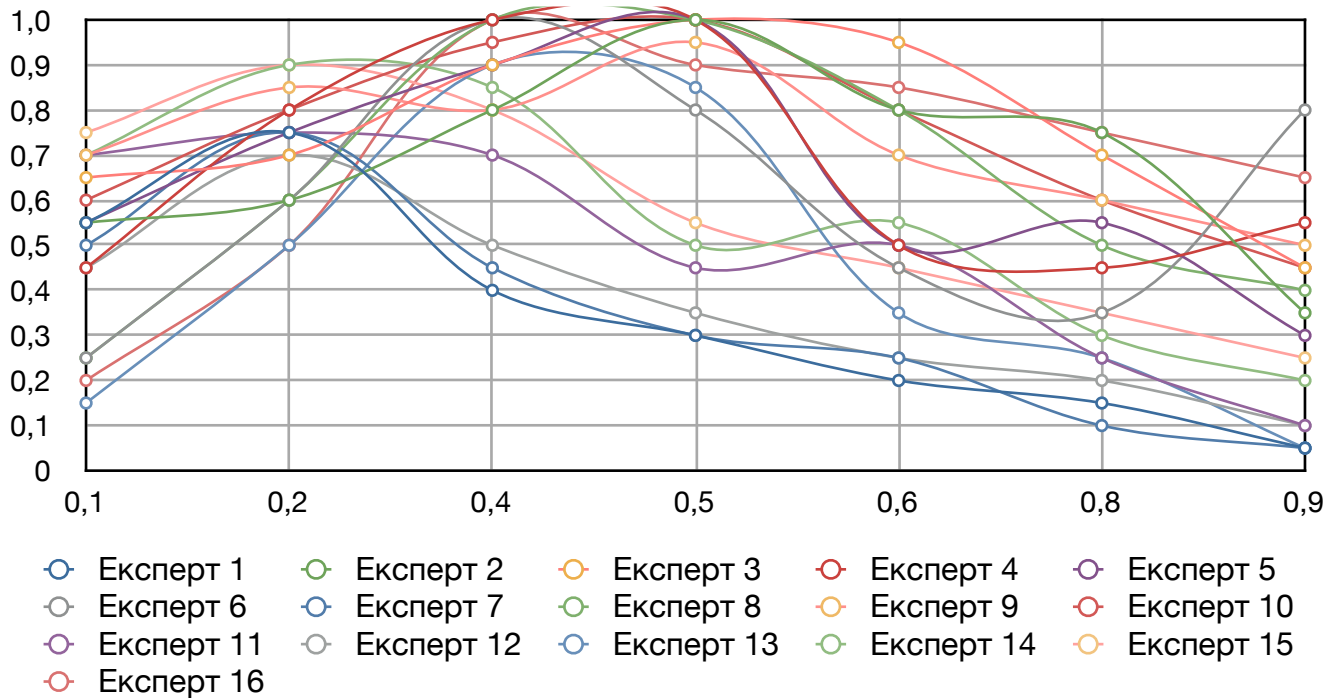


Рис. 1. Точкові експертні оцінки

Формування результуючої оцінки критерію досліджуваного заходу виконаємо за допомогою побудови інтервальних оцінок для кожного експерта.

1. Інтервальні оцінки

На основі точкових оцінок з Табл. 4.1 побудуємо інтервальні оцінки \bar{Q}_{np} (див. Табл. 6.) з урахуванням впевненості експертів ν_k у відповідях, за формулою:

$$d_{npks} = [d_{npks}^-, d_{npks}^+] = [\max(0, |\mu_{npks} - \mu_{npks}(1 - \nu_{npks})K|), \min(1, (\mu_{npks} + \mu_{npks}(1 - \nu_{npks})K))]]$$

враховуючи коефіцієнт $K = 0,8$.

Наприклад, для Експерта №6 інтервальна оцінка за рівнем $s = 1$

обчислюється наступним чином:

$$d_{61} = [\max(0, 1, 0,25 - 0,25(1 - 0,9)0,8); \min(1, 1, 0,25 + 0,25(1 - 0,9)0,8)] = [0,23; 0,27]$$

Табл. 6. Інтервальні оцінки експертів

№	Експерт	1			2			3			4			5			6			7		
		d_{k1}^-	μ_{k1}	d_{k1}^+	d_{k2}^-	μ_{k2}	d_{k2}^+	d_{k3}^-	μ_{k3}	d_{k3}^+	d_{k4}^-	μ_{k4}	d_{k4}^+	d_{k5}^-	μ_{k5}	d_{k5}^+	d_{k6}^-	μ_{k6}	d_{k6}^+	d_{k7}^-	μ_{k7}	d_{k7}^+
1	Експерт 1	0,55	0,55	0,55	0,57	0,75	0,93	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05
2	Експерт 2	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,76	1,00	1,00	0,67	0,80	0,93	0,75	0,75	0,75	0,27	0,35	0,43
3	Експерт 3	0,65	0,65	0,65	0,64	0,70	0,76	0,90	0,90	0,90	0,60	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	0,59	0,70	0,81	0,27	0,45	0,63
4	Експерт 4	0,41	0,45	0,49	0,48	0,80	1,00	0,92	1,00	1,00	0,84	1,00	1,00	0,30	0,50	0,70	0,27	0,45	0,63	0,46	0,55	0,64
5	Експерт 5	0,51	0,55	0,59	0,57	0,75	0,93	0,83	0,90	0,97	0,92	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,42	0,55	0,68	0,28	0,30	0,32
6	Експерт 6	0,23	0,25	0,27	0,50	0,60	0,70	0,92	1,00	1,00	0,67	0,80	0,93	0,34	0,45	0,56	0,29	0,35	0,41	0,67	0,80	0,93
7	Експерт 7	0,30	0,50	0,70	0,63	0,75	0,87	0,41	0,45	0,49	0,25	0,30	0,35	0,19	0,25	0,31	0,07	0,10	0,13	0,03	0,05	0,07
8	Експерт 8	0,23	0,25	0,27	0,60	0,60	0,60	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40
9	Експерт 9	0,64	0,70	0,76	0,85	0,85	0,85	0,74	0,80	0,86	0,80	0,95	1,00	0,64	0,70	0,76	0,60	0,60	0,60	0,42	0,50	0,58
10	Експерт 10	0,60	0,60	0,60	0,67	0,80	0,93	0,95	0,95	0,95	0,84	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,50	0,60	0,70	0,38	0,45	0,52
11	Експерт 11	0,64	0,70	0,76	0,75	0,75	0,75	0,64	0,70	0,76	0,41	0,45	0,49	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,09	0,10	0,11
12	Експерт 12	0,41	0,45	0,49	0,64	0,70	0,76	0,50	0,50	0,50	0,32	0,35	0,38	0,23	0,25	0,27	0,17	0,20	0,23	0,09	0,10	0,11
13	Експерт 13	0,13	0,15	0,17	0,50	0,50	0,50	0,76	0,90	1,00	0,85	0,85	0,85	0,29	0,35	0,41	0,23	0,25	0,27	0,05	0,05	0,05
14	Експерт 14	0,70	0,70	0,70	0,90	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20
15	Експерт 15	0,75	0,75	0,75	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,55	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,35	0,35	0,35	0,25	0,25	0,25
16	Експерт 16	0,20	0,20	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,75	0,65	0,65	0,65

Графічно інтервальні оцінки для експертів №1, №4, №6, №7 представлені на

Рис. 2.

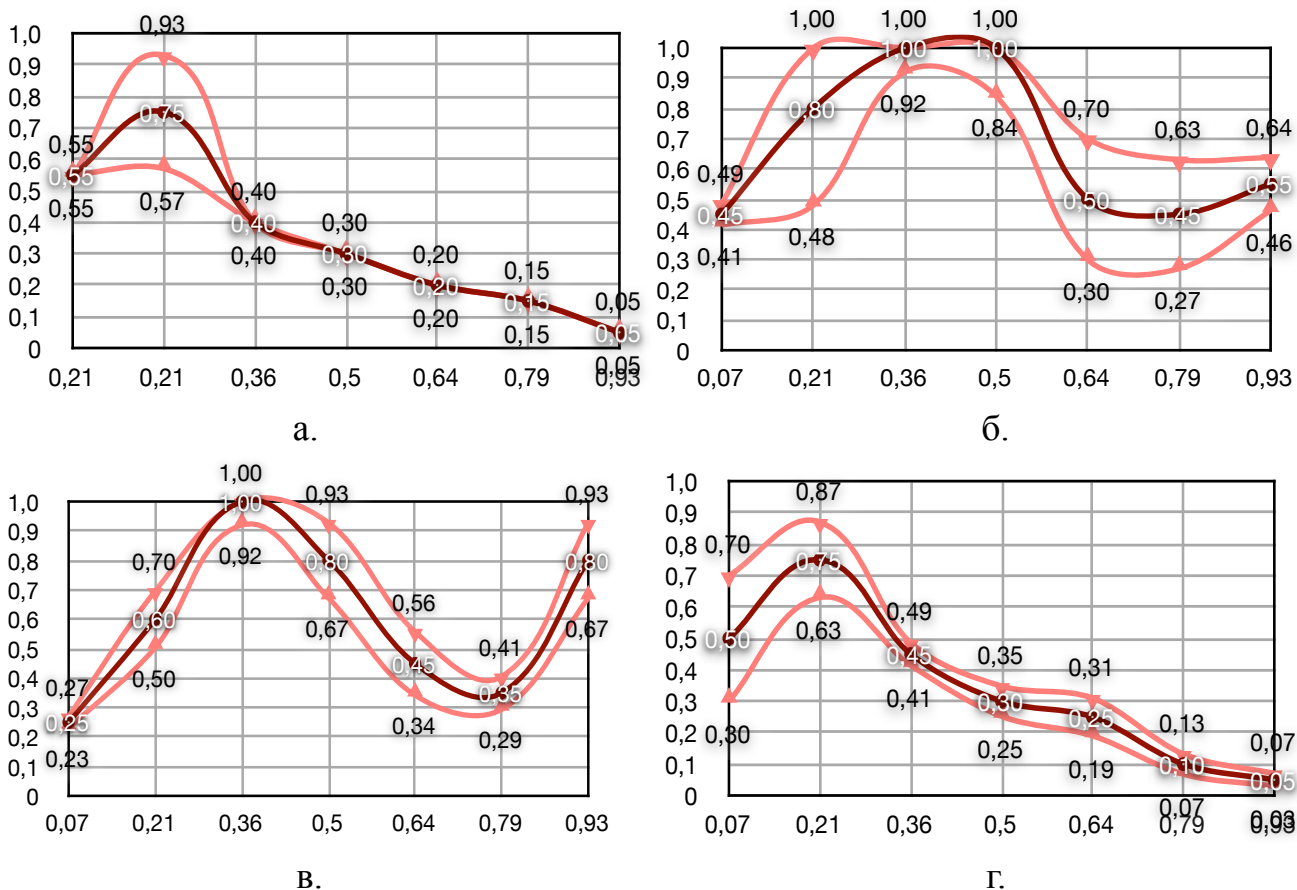


Рис. 2. Інтервальні експертні оцінки:

2. Обчислення функціоналу якості

2.1. Математичне середнє

Для побудови інтегральної експертної оцінки та розрахунку функціоналу якості знайдемо математичне середнє інтервальних експертних оцінок для кожного s -рівня за формулами:

$$\bar{M}_{nps}^- = M\bar{Q}_{nps}^- = \frac{1}{K} \sum_{k=1, \bar{K}} \bar{Q}_{npks}^-; \quad \bar{M}_{nps}^+ = M\bar{Q}_{nps}^+ = \frac{1}{K} \sum_{k=1, \bar{K}} \bar{Q}_{npks}^+$$

Наприклад, для рівня $s=1$ значення математичного очікування буде наступним:

$$M\bar{Q}_{111}^- = \frac{1}{16}(0,55 + 0,55 + \dots + 0,2) = 0,47; \quad M\bar{Q}_{111}^+ = \frac{1}{16}(0,55 + 0,55 + \dots + 0,2) = 0,54$$

Аналогічно з урахуванням інших рівнів отримуємо (див. Рис. 3):

$$M\bar{Q}_{11} = [[0,47; 0,53], [0,63; 0,79], [0,77; 0,83], [0,66; 0,77], [0,51; 0,60], [0,39; 0,47], [0,28; 0,37]]$$

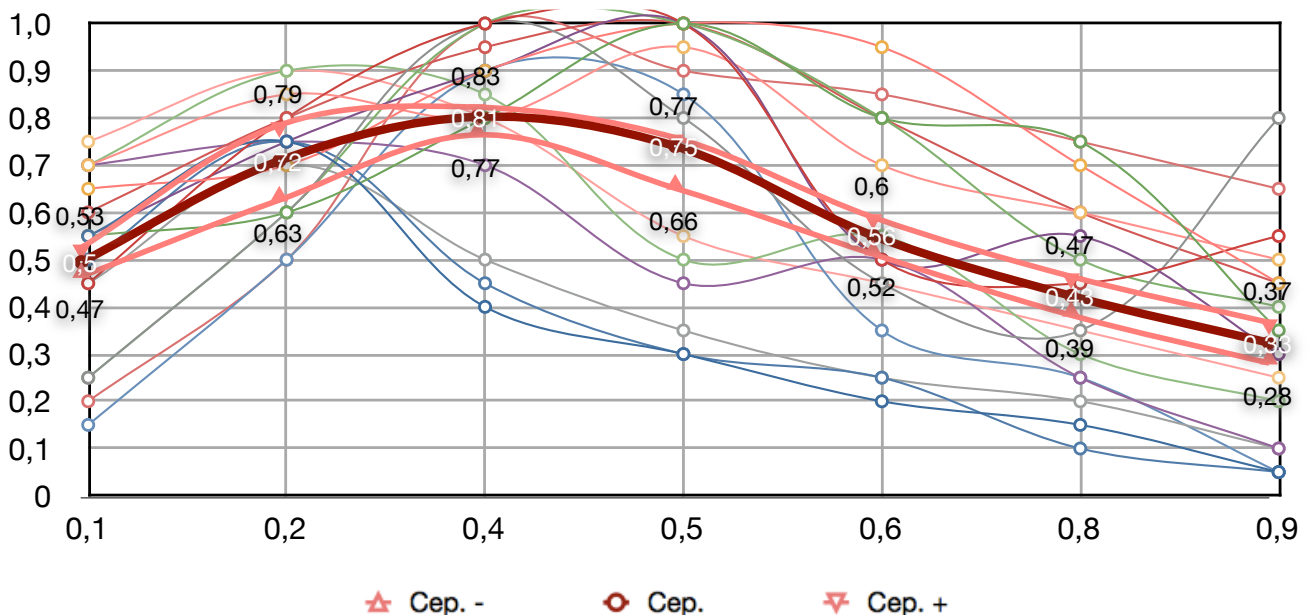


Рис. 3. Інтервальне математичне середнє інтервальних оцінок

2.2. Інтервальна інтегровна оцінка

Побудуємо інтервальну інтегровну експертну оцінку приймаючи на кожному s -рівні експертну оцінку, що найменш віддалена від обчисленого

математичного середнього:

$$\bar{\bar{Q}}_{nps}^{-} = \arg \min_{\bar{Q}_{npks}} (|\bar{Q}_{npks} - \bar{M}_{nps}^{-}|); \quad \bar{\bar{Q}}_{nps}^{+} = \arg \min_{\bar{Q}_{npks}} (|\bar{Q}_{npks} - \bar{M}_{nps}^{+}|)$$

Наприклад, значення нижньої границі інтервалу для рівня $s=1$ інтегрованої експертної оцінки буде обчислюватись наступним чином:

$$\bar{\bar{Q}}_{nps}^{-} = \arg \min_{\bar{Q}_{nps}} (|0,55 - 0,47|, |0,55 - 0,47|, \dots, |0,2 - 0,47|) = \arg \min_{\bar{Q}_{nps}} (0,04) = 0,50$$

Аналогічно з урахуванням інших рівнів отримуємо (див. Рис. 4):

$$\bar{\bar{Q}}_{11} = [[0,50; 0,55], [0,63; 0,76], [0,76; 0,85], [0,67; 0,85], [0,56; 0,6], [0,50; 0,47], [0,40; 0,37]]$$

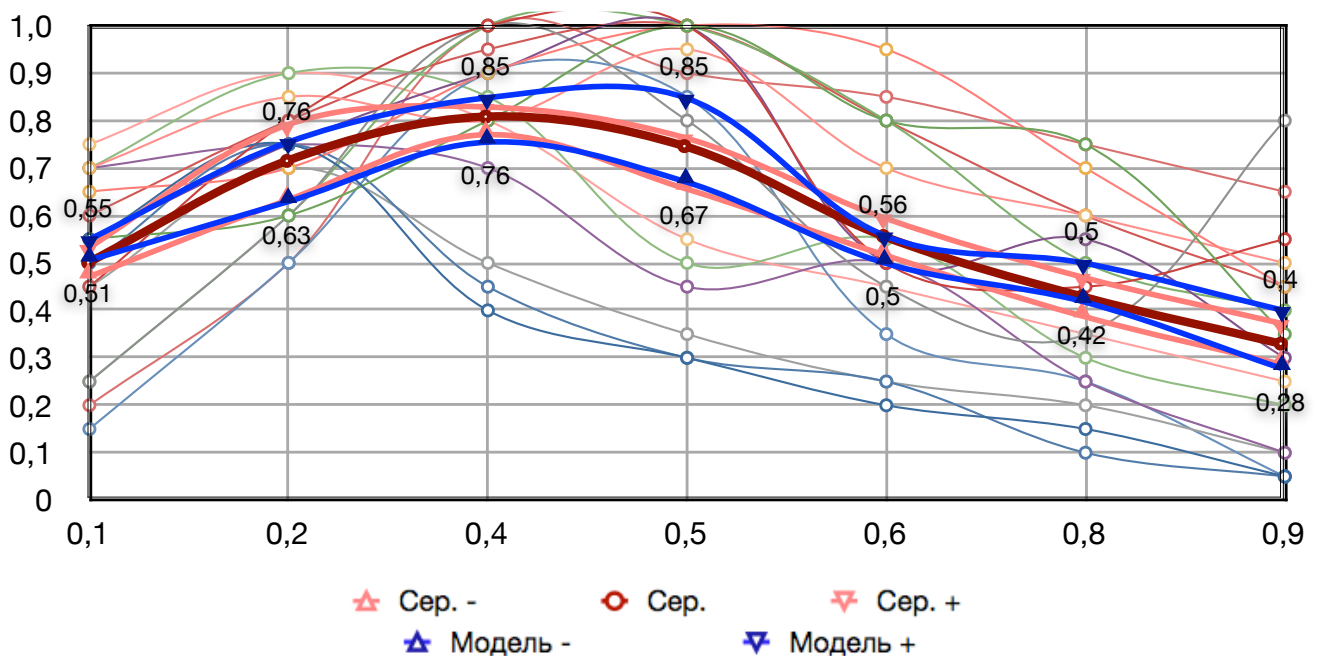


Рис. 4. Інтервальна інтегрована експертна оцінка

Як можна бачити з Рис. 4 інтегрована експертна оцінка - це математичне середнє скориговане на реальні експертні оцінки, за яким далі будемо будувати дискретизовану інтервальну гауссівську щільність.

2.3. Інтервальна гауссівська щільність

Для побудови інтервальної гауссівської щільності обчислимо коефіцієнт нормування побудованої інтегральної експертної оцінки за формулою:

$$K_{np}^{-} = \frac{1}{S(Q_{np}^{-})}; \quad K_{np}^{+} = \frac{1}{S(Q_{np}^{+})}$$

В нашому випадку з урахуванням значення відповідних рівнів $x_s \in [0,07; 0,21; 0,36; 0,5; 0,64; 0,79; 0,93]$ отримаємо:

$$K_{np}^{-} = \frac{1}{((0,07 - 0) * 0,50 / 2) + \dots + (1 - 0,93) * 0,28 / 2)} = 1,96;$$

$$K_{np}^{+} = \frac{1}{((0,07 - 0) * 0,55 / 2) + \dots + (1 - 0,93) * 0,40 / 2)} = 1,66;$$

Дискретизовану інтервальну гауссівську щільність необхідно будувати таким чином, щоб відстань від неї до інтегральної експертної оцінки була мінімальною, тобто:

$$\sum_{s=1}^S \rho(\tilde{Q}_{nps}; \bar{Q}_{nps}) \rightarrow \min.$$

З урахуванням функції щільності нормального розподілу:

$$\tilde{Q}_{nps}^{-} = \frac{1}{K_{np}^{-} \sqrt{2\pi \tilde{D}^{-}}} e^{\frac{-(x_s - \tilde{M}^{-})^2}{2\tilde{D}^{-}}}, \quad \tilde{Q}_{nps}^{+} = \frac{1}{K_{np}^{+} \sqrt{2\pi \tilde{D}^{+}}} e^{\frac{-(x_s - \tilde{M}^{+})^2}{2\tilde{D}^{+}}}$$

задача оптимізації зводиться до наступної задачі:

$$\sum_{s=1}^S \left(\left| \frac{1}{K_{np}^{-} \sqrt{2\pi \tilde{D}^{-}}} e^{\frac{-(x_s - \tilde{M}^{-})^2}{2\tilde{D}^{-}}} - \bar{Q}_{nps}^{-} \right| \right) \rightarrow \min$$

$$\sum_{s=1}^S \left(\left| \frac{1}{K_{np}^{+} \sqrt{2\pi \tilde{D}^{+}}} e^{\frac{-(x_s - \tilde{M}^{+})^2}{2\tilde{D}^{+}}} - \bar{Q}_{nps}^{+} \right| \right) \rightarrow \min,$$

тобто до пошуку таких математичного сподівання та дисперсії гауссівської щільності щоб задовольнялась вказана умова.

Поставлену задачу оптимізації можна розв'язувати декількома способами.

Один з найпростіших шляхів розв'язання - це побудова дискретизованої інтервальної гауссівської щільності методом рівномірного пошуку. Таким чином, отримуємо наступні значення математичного очікування та дисперсії:

$$M\tilde{Q}_{nps}^{-} = 0,38; \quad D\tilde{Q}_{nps}^{-} = 0,073; \quad M\tilde{Q}_{nps}^{+} = 0,38; \quad D\tilde{Q}_{nps}^{+} = 0,078$$

$$\tilde{Q}_{111}^{-} = \frac{1}{1,96 * \sqrt{2 * 3,14 * 0,073}} e^{\frac{-(0,05-0,38)^2}{2*0,073}} = 0,03;$$

$$\tilde{Q}_{111}^{+} = \frac{1}{1,66 * \sqrt{2 * 3,14 * 0,078}} e^{\frac{-(0,05-0,38)^2}{2*0,078}} = 0,47$$

Інтервальна гауссівська щільність, що побудована на інтегровній експертній оцінці, з урахуванням знайдених математичного очікування та дисперсії має наступний вигляд (див. Рис. 5):

$$\tilde{Q}_{nps} = [[0,39;0,47];[0,62;0,72];[0,74;0,86];[0,68;0,79];[0,47;0,56];[0,25;0,30];[0,10;0,13]]$$

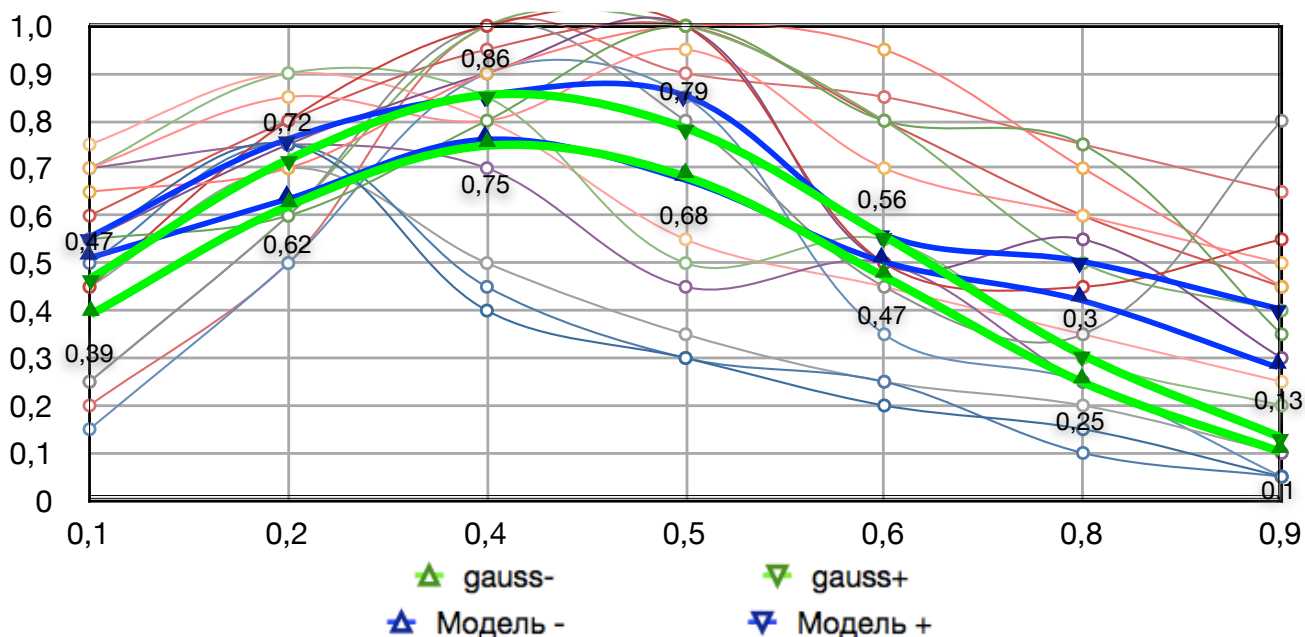


Рис. 5. Дискретизована інтервальна гауссівська щільність

2.4. Обчислення функціоналу якості

Таким чином, з урахуванням проведених вище обчислень отримуємо функціонали якості для кожного експерту з урахуванням компетентності за наступною формулою:

$$\omega_{np}(\bar{Q}_{npk}) = (1 - \rho(\bar{Q}_{npk}, \tilde{Q}))\chi_{npk}, k = \overrightarrow{1, K_{np}}$$

За проведеними у теоретичній частині формулами обчислюємо відстань між побудованою інтервальною гауссівською щільністю та кожною оцінкою експерту:

$$\rho(\bar{Q}_{npks}, \tilde{Q}_{npks}) = \max(|\bar{Q}_{npks} - \tilde{Q}_{npks}|, |\bar{Q}_{npks} - \tilde{Q}_{npks}|); \quad \rho(\bar{Q}_{npk}, \tilde{Q}_{npk}) = \frac{1}{S} \sum_s \rho(\bar{Q}_{npks}, \tilde{Q}_{npks})$$

Наприклад, знайдемо відстань між інтервальною гауссівською щільністю та інтервальною оцінкою Експерта №1 і отримуємо наступне значення функціоналу якості для Експерта №1:

$$\omega_{11}(\text{Expert 1}) = (1 - ((\max(|0,55-0,39|, |0,55-0,47|)) + \dots + (\max(|0,2-0,10|, |0,2-0,13|))))/7 * 1 = 0,73$$

Аналогічно отримуємо значення функціоналів якості для оцінки кожного експерта:

$w_{11}(\text{Експерт 1}) = 0.73$	$w_{11}(\text{Експерт 2}) = 0.60$	$w_{11}(\text{Експерт 3}) = 0.52$
$w_{11}(\text{Експерт 4}) = 0.45$	$w_{11}(\text{Експерт 5}) = 0.73$	$w_{11}(\text{Експерт 6}) = 0.76$
$w_{11}(\text{Експерт 7}) = 0.75$	$w_{11}(\text{Експерт 8}) = 0.60$	$w_{11}(\text{Експерт 9}) = 0.37$
$w_{11}(\text{Експерт 10}) = 0.47$	$w_{11}(\text{Експерт 11}) = 0.43$	$w_{11}(\text{Експерт 12}) = 0.58$
$w_{11}(\text{Експерт 13}) = 0.55$	$w_{11}(\text{Експерт 14}) = 0.74$	$w_{11}(\text{Експерт 15}) = 0.65$
$w_{11}(\text{Експерт 16}) = 0.64$		

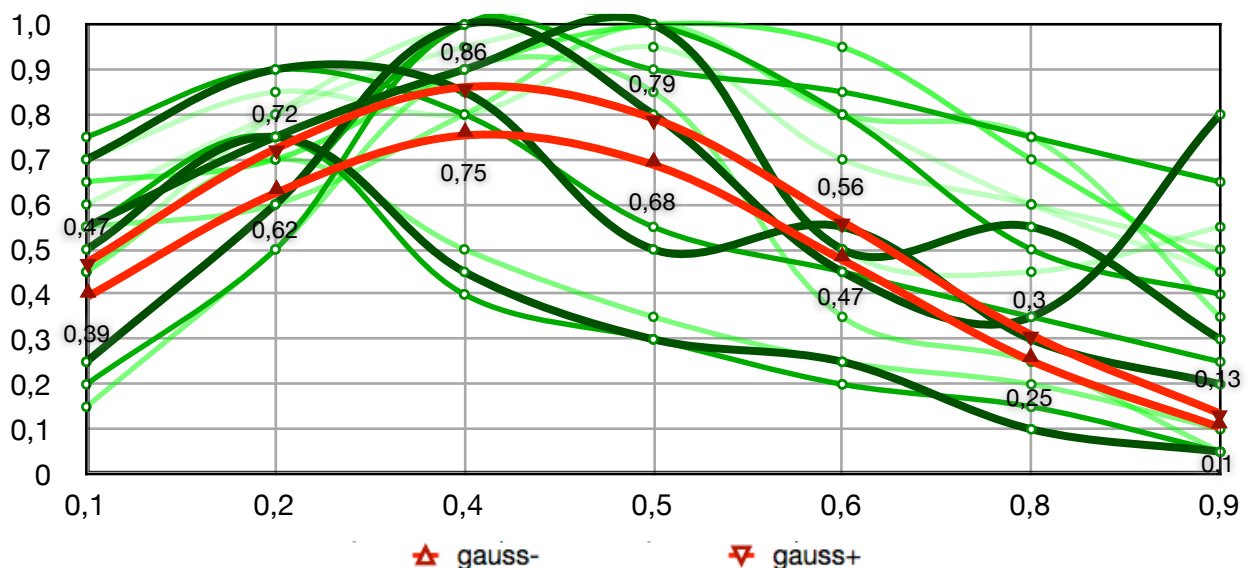


Рис. 6. Оцінки експертів за найвищим та найнижчим функціоналом якості

Звернемо увагу, що оцінка експерту № 7 найбільш наближена, а № 9 найбільш віддалена від інтервальної гауссівської щільності. Оцінки експертів №9, №4, №10 найбільш віддалені від інтервальної гауссівської щільності (див. Рис. 6),

тому необхідно знизити вплив вказаних оцінок на результати експертизи на етапі обчислення довірчого інтервалу. На Рис. 6 представлено ранжування експертних оцінок за значенням функціоналу якості. Експерти з найвищим функціоналом якості, тобто ті, що знаходяться найближче до інтервальної гауссівської щільності, позначені більш темним кольором.

3. Обчислення медіани кластеру

Для обчислення медіани побудуємо спочатку матрицю відстаней між інтервальними оцінками за метрикою $d_{npk_1k_2} = \rho(Q_{npk_1}, Q_{npk_2})$. Для кожного рівня відстань обчислюється наступним чином: $d_{k_1k_2s} = \max(|d_{k_1s}^- - d_{k_2s}^-|, |d_{k_1s}^+ - d_{k_2s}^+|)$, наприклад, для рівня $s=4$ отримаємо: $d_{124} = \max(|0,3 - 0,8|, |0,3 - 1,0|) = 0,7$.

Відстань між оцінками експертів №1 та №2 за формулою $\rho_{d_{npk_1}, d_{npk_2}} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \rho_{d_{npk_1k_2s}}$

становитиме:

$$d_{12} = \frac{1}{7}(0 + 0,33 + 0,4 + 0,7 + 0,728 + 0,6 + 0,384) = \frac{3}{7} = 0,45$$

Таким чином, матриця відстаней всіх експертних оцінок у загальному випадку має наступний вигляд:

Експерт 1	0,00	0,45	0,50	0,44	0,35	0,47	0,09	0,46	0,46	0,43	0,20	0,10	0,33	0,25	0,26	0,52
Експерт 2	0,45	0,00	0,16	0,27	0,23	0,29	0,46	0,18	0,15	0,16	0,33	0,40	0,33	0,29	0,29	0,22
Експерт 3	0,50	0,16	0,00	0,28	0,23	0,31	0,51	0,25	0,19	0,13	0,36	0,44	0,42	0,31	0,32	0,26
Експерт 4	0,44	0,27	0,28	0,00	0,15	0,19	0,43	0,25	0,23	0,18	0,35	0,39	0,34	0,34	0,33	0,28
Експерт 5	0,35	0,23	0,23	0,15	0,00	0,28	0,36	0,20	0,20	0,14	0,25	0,33	0,28	0,24	0,24	0,28
Експерт 6	0,47	0,29	0,31	0,19	0,28	0,00	0,44	0,23	0,30	0,28	0,37	0,38	0,26	0,36	0,33	0,26
Експерт 7	0,09	0,46	0,51	0,43	0,36	0,44	0,00	0,48	0,44	0,45	0,21	0,10	0,33	0,30	0,31	0,58
Експерт 8	0,46	0,18	0,25	0,25	0,20	0,23	0,48	0,00	0,22	0,18	0,34	0,39	0,23	0,30	0,30	0,16
D= Експерт 9	0,46	0,15	0,19	0,23	0,20	0,30	0,44	0,22	0,00	0,13	0,26	0,41	0,35	0,23	0,22	0,29
Експерт 10	0,43	0,16	0,13	0,18	0,14	0,28	0,45	0,18	0,13	0,00	0,33	0,41	0,38	0,27	0,28	0,21
Експерт 11	0,20	0,33	0,36	0,35	0,25	0,37	0,21	0,34	0,26	0,33	0,00	0,16	0,26	0,10	0,12	0,47
Експерт 12	0,10	0,40	0,44	0,39	0,33	0,38	0,10	0,39	0,41	0,41	0,16	0,00	0,26	0,23	0,24	0,50
Експерт 13	0,33	0,33	0,42	0,34	0,28	0,26	0,33	0,23	0,35	0,38	0,26	0,26	0,00	0,28	0,29	0,32
Експерт 14	0,25	0,29	0,31	0,34	0,24	0,36	0,30	0,30	0,23	0,27	0,10	0,23	0,28	0,00	0,05	0,41
Експерт 15	0,26	0,29	0,32	0,33	0,24	0,33	0,31	0,30	0,22	0,28	0,12	0,24	0,29	0,05	0,00	0,41
Експерт 16	0,52	0,22	0,26	0,28	0,28	0,26	0,58	0,16	0,29	0,21	0,47	0,50	0,32	0,41	0,41	0,00

Обчислюємо вектор, кожна координата якого дорівнює сумі всіх елементів

відповідної строки матриці по формулі $S_{np} = \{S_{npk} \mid S_{npk} = \sum_{k_1=1}^{K_{np}} d_{npk_1 k_2}, k = \overrightarrow{1, K_{np}}\}$:

S=	0,00	+	0,45	+	...	+	0,26	+	0,52	6,79	Експерт 11
	0,45	+	0,00	+	...	+	0,29	+	0,22	7,09	
	0,50	+	0,16	+	...	+	0,32	+	0,26	7,94	
	0,44	+	0,27	+	...	+	0,33	+	0,28	7,57	
	0,35	+	0,23	+	...	+	0,24	+	0,28	6,61	
	0,47	+	0,29	+	...	+	0,33	+	0,26	7,48	
	0,09	+	0,46	+	...	+	0,31	+	0,58	7,16	
	0,46	+	0,18	+	...	+	0,30	+	0,16	6,80	
	0,46	+	0,15	+	...	+	0,22	+	0,29	7,16	
	0,43	+	0,16	+	...	+	0,28	+	0,21	7,10	
	0,20	+	0,33	+	...	+	0,12	+	0,47	6,14	
	0,10	+	0,40	+	...	+	0,24	+	0,50	6,30	
	0,33	+	0,33	+	...	+	0,29	+	0,32	6,52	
	0,25	+	0,29	+	...	+	0,05	+	0,41	6,25	
	0,26	+	0,29	+	...	+	0,00	+	0,41	6,31	
	0,52	+	0,22	+	...	+	0,41	+	0,00	8,06	

Отже, медіана $M_{np} = \arg \min_{k=1, K^1} (S_{npk})$ - це висновок експерта, що найменш

віддалений від оцінок інших експертів, тобто - це оцінка Експерта №11:

$$M_{11} = \arg \min_{k=1, K^1} (6,789 \quad 7,088 \quad \dots \quad 8,060) = \text{Expert 11} (6,140)$$

Нижче приведена медіана інтервальної оцінки з урахуванням впевненості експертів у відповідях:

$M_{11} = ([0,64; 0,76], [0,75; 0,75], [0,64; 0,76], [0,41; 0,49], [0,5; 0,5], [0,25; 0,25], [0,092; 0,11])$ - оцінка Експерта 11

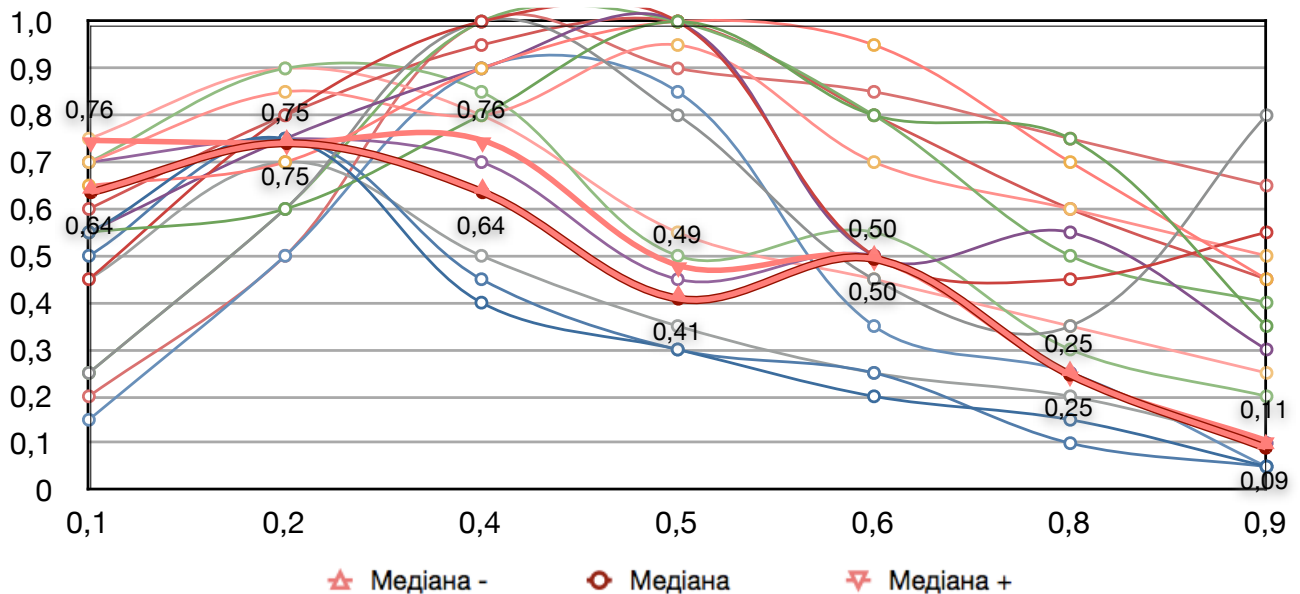


Рис. 7. Медіана інтервальних оцінок

Як показано на Рис. 7 оцінка Експерта № 11 найменш віддалена від оцінок

інших експертів та у випадку збіжності експертних думок дана оцінка буде груповою узгодженою для показника оцінюємого об'єкту.

5. Формування довірчого інтервалу

Обчислюємо довірчий інтервал використовуючи формулу:

$$\rho(Q_{npk}, M_{np})(2 - \omega_{npk}) \leq R^{T_0}$$

$$\rho(Q_{111}, M_{11})(2 - \omega_{111}) = 0,2 * (2 - 0,73) = 0,25 < 0,5$$

Таким чином Експерт № 1 не увійшов до довірчого інтервалу. За аналогією отримуємо:

$$\begin{array}{ll} \rho(Q_{111}, M_{11})(2 - \omega_{111}) = 0,25 < 0,5 & \rho(Q_{112}, M_{11})(2 - \omega_{112}) = 0,46 < 0,5 \\ \rho(Q_{113}, M_{11})(2 - \omega_{113}) = 0,53 > 0,5 & \rho(Q_{114}, M_{11})(2 - \omega_{114}) = 0,54 > 0,5 \\ \rho(Q_{115}, M_{11})(2 - \omega_{115}) = 0,31 < 0,5 & \rho(Q_{116}, M_{11})(2 - \omega_{116}) = 0,46 < 0,5 \\ \rho(Q_{117}, M_{11})(2 - \omega_{117}) = 0,26 < 0,5 & \rho(Q_{118}, M_{11})(2 - \omega_{118}) = 0,47 < 0,5 \\ \rho(Q_{119}, M_{11})(2 - \omega_{119}) = 0,42 < 0,5 & \rho(Q_{110}, M_{11})(2 - \omega_{110}) = 0,51 > 0,5 \\ \rho(Q_{1111}, M_{11})(2 - \omega_{1111}) = 0,00 < 0,5 & \rho(Q_{1112}, M_{11})(2 - \omega_{1112}) = 0,22 < 0,5 \\ \rho(Q_{1113}, M_{11})(2 - \omega_{1113}) = 0,37 < 0,5 & \rho(Q_{112}, M_{1114})(2 - \omega_{1114}) = 0,13 < 0,5 \\ \rho(Q_{1115}, M_{11})(2 - \omega_{1115}) = 0,16 < 0,5 & \rho(Q_{1116}, M_{11})(2 - \omega_{1116}) = 0,63 > 0,5 \end{array}$$

Як показано на Рис. 8 у довірчий інтервал не увійшли оцінки Експертів №3, №4, №10 та №16.

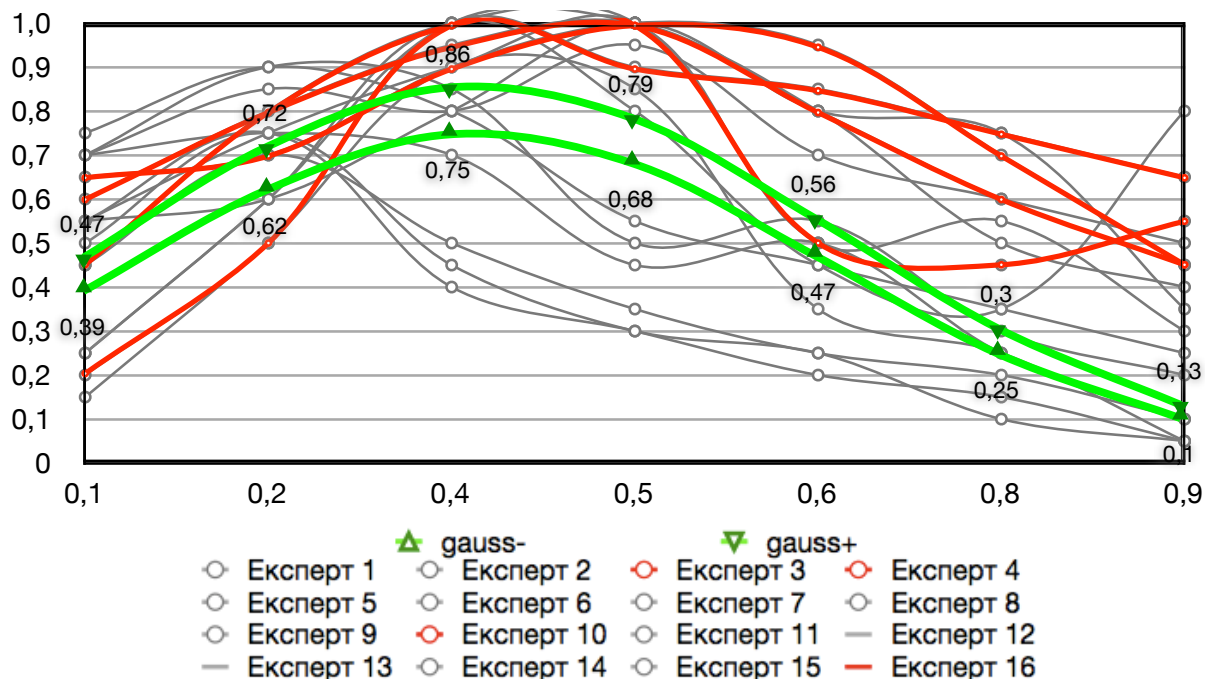


Рис. 8. Експертні оцінки, що не увійшли до довірчого інтервалу

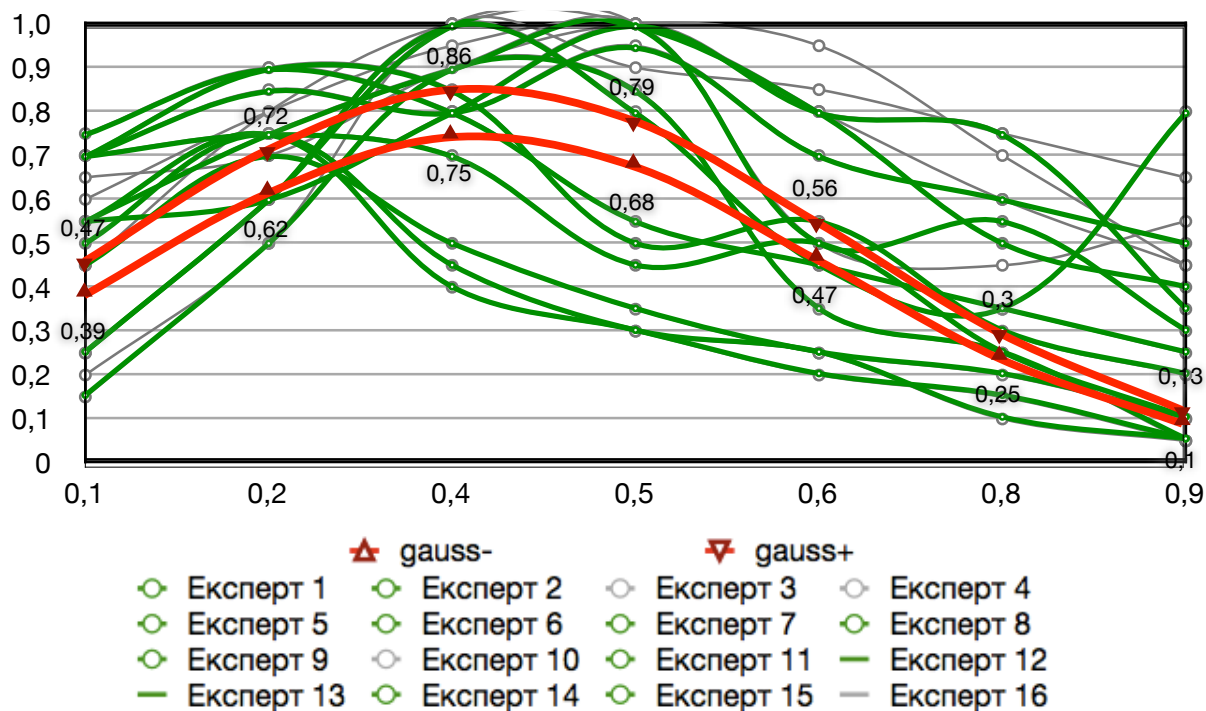


Рис. 9. Експертні оцінки, що увійшли до довірчого інтервалу

Отримуємо довірчий інтервал з інтервальними оцінками (див. Рис. 9):

T_{11} = оцінки Експертів №1, №2, №5, №6, №7, №8, №9, №11, №12, №13, №14, №15.

6. Аналіз узгодженості оцінок у кластері

Критерієм закінчення процедури експертизи для кластеру обрано перевищення показником S^T апіорно заданого рівня $S^* = 0,7$. Таким чином, оцінки :

$$S_{11} = 12/16 = 0.75 > 0.7 \text{ (оцінки у кластері узгоджені)}$$

Узгоджена експертна оцінка - це оцінка, яку обрав медіанний експерт вказавши найбільше значення оцінки серед s рівнів з максимальним рівнем впевненості у поставленій відповіді:

$$s(\hat{Q}_{np}) = s(M_{np}) = \arg \max_{s=1, \bar{S}} (M_{nps}) \wedge \min(|M_{nps}^+ - M_{nps}^-|)$$

$$\hat{Q}_{np} = (M_{nps(\hat{Q}_{np})}^+ + M_{nps(\hat{Q}_{np})}^-) / 2$$

Визначимо узгоджену експертну оцінку в нашому випадку:

$$s(\hat{Q}_{np}) = s(M_{np}) = \arg \max_{s=1, \bar{S}} (0,7; 0,75; \dots 0,1) \wedge \arg \min_{s=1, \bar{S}} (0,11; 0; \dots 0,02) = \arg \max_{s=2} (0,75) \wedge \arg \max_{s=2,5,6} (0) = 2$$

$$\hat{Q}_{np} = (M_{nps(\hat{Q}_{np})}^+ + M_{nps(\hat{Q}_{np})}^-) / 2 = (0,750 + 0,756) / 2 = 0,753$$

Узгоджена експертна оцінка дорівнює 0,753 (див. Рис. 10) та вказує за думкою медіанного експерта на найбільшу можливість прийняття показником значення, що відповідає 2-у рівню з найвищою впевненістю експерта у поставленій відповіді. Це означає, що за узгодженою думкою багатьох експертів захід «Заміна застарілих локомотивів на нові» буде дуже не ефективним по відношенню до головної цілі дослідження.

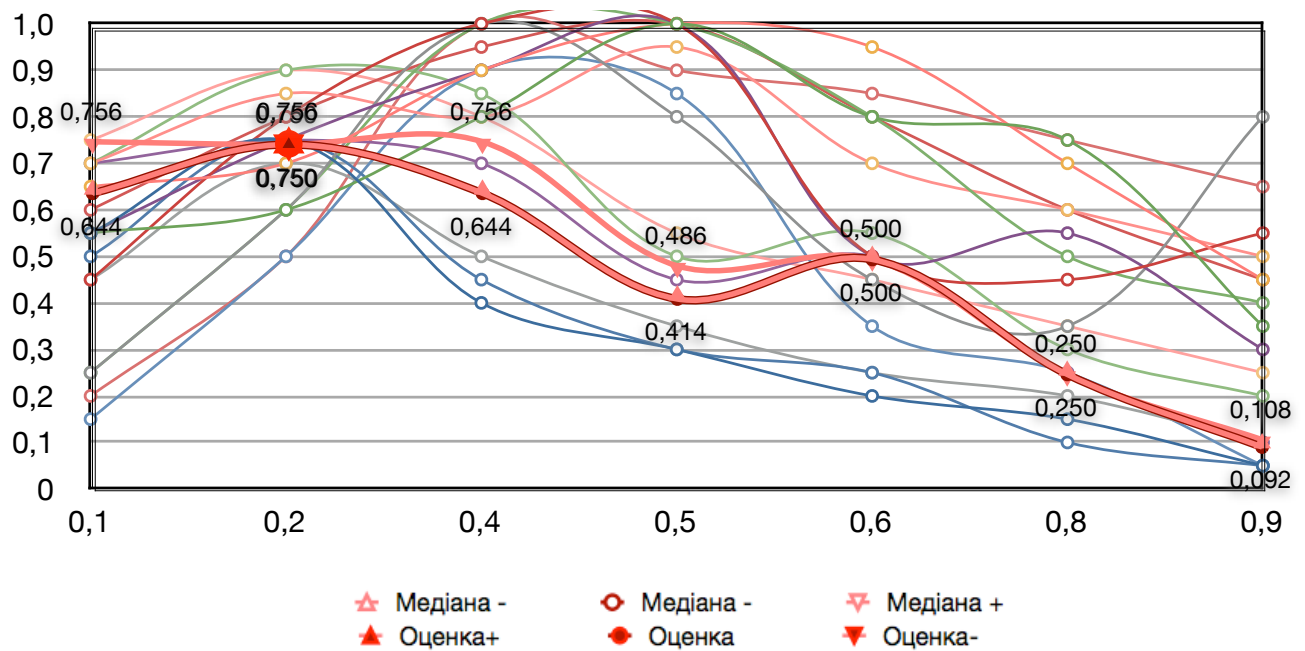


Рис. 10. Узгоджена експертна оцінка

7. Аналіз отриманих результатів

Аналогічним чином проаналізувавши результати експертних відповідей маємо наступні результати за кількістю експертів, що потрапили у довірчу множину, їх процентне відношення до загальної кількості (%), медіана (Mid), коефіцієнт узгодженості оцінок (S), значення узгодженої оцінки (Q), номер рівня, якому відповідає узгоджена оцінка (s) (див. Табл. 7).

Табл. 7. Результати аналізу експертного оцінювання методом Делфі

№		Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції
1 Заміна застарілих локомотивів на нові.	чел.	12	14	16	16
	%	75	87,5	100	100
	Mid	Експерт №11	Експерт №7	Експерт №15	Експерт №1
	S	0,75	0,88	1,00	1,00
	Q	0,753	0,776	0,657	0,734

№		Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції
	s	2	4	5	6
2 Капітальний ремонт існуючих локомотивів.	чел.	14	9	15	14
	%	87,5	56,25	93,75	87,5
	Mid	Експерт №8	Експерт №10	Експерт №2	Експерт №12
	S	0,8	0,7	0,75	0,9
	Q	0,83	0,58	0,98	0,75
	s	6	4	7	5
3 Скорочення парку локомотивів.	чел.	5	14	8	9
	%	31,25	87,5	50	56,25
	Mid	Експерт №6	Експерт №14	Експерт №12	Експерт №5
	S	0,8	0,7	0,75	0,9
	Q	0,34	0,88	0,29	0,62
	s	2	7	1	5
4 Впровадження нових технологій чистки вагонів.	чел.	16	5	12	16
	%	100	31,25	75	100
	Mid	Експерт №5	Експерт №7	Експерт №1	Експерт №3
	S	0,8	0,7	0,75	0,9
	Q	0,95	0,24	0,85	0,94
	s	7	2	6	7
5 Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів.	чел.	11	10	10	13
	%	68,75	62,5	62,5	81,25
	Mid	Експерт №11	Експерт №8	Експерт №9	Експерт №4
	S	0,8	0,7	0,75	0,9
	Q	0,47	0,57	0,6	0,7
	s	3	5	5	6

З урахуванням значень середин інтервалів за рівнями шкали Міллера $x_s \in [0,07; 0,21; 0,36; 0,5; 0,64; 0,79; 0,93]$ можемо представити кількісні значення результатів експертного оцінювання (див. Табл. 9).

Табл. 9. Узгоджені кількісні оцінки експертного опитування методом Делфі

	№	Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції	Wп
		0,2	0,25	0,4	0,15	
1 Заміна застарілих локомотивів на нові.	4	0,21	0,5	0,64	0,79	0,208
2 Капітальний ремонт існуючих локомотивів.	1	0,79	0,5	0,93	0,64	0,260
3 Скорочення парку локомотивів.	5	0,21	0,93	0,07	0,64	0,172
4 Впровадження нових технологій чистки вагонів.	2	0,93	0,21	0,79	0,93	0,246
5 Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів.	3	0,5	0,36	0,64	0,79	0,214

Врахування вагових коефіцієнтів критеріїв з Табл. 9 відбуваються наступним чином:

$$W_n = \frac{1}{P} \sum_{p=1, \vec{P}} W_{np} \bar{Q}_{np}$$

Наприклад для першого заходу «Заміна застарілих локомотивів на нові» загальна зважена оцінка буде дорівнювати:

$$W_1 = \frac{1}{4} \sum_{p=1,4} (0,2 * 0,21 + ... + 0,15 * 0,79) = 0,208$$

Отже, замовнику даного експертного опитування можна дати деякі поради та рекомендації щодо впровадження заходів за їх пріоритетом. Н а о с н о в і проаналізованої ситуації представлені заходи можна проранжувати за пріоритетом ефективності впровадження наступним чином:

№1 - Капітальний ремонт існуючих локомотивів.

№2 - Впровадження нових технологій чистки вагонів.

№3 - Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів.

№4 - Заміна застарілих локомотивів на нові.

№5 - Скорочення парку локомотивів.

За одним з **напрямків досягнення головної мети дослідження**: виявлення найбільш ефективних шляхів модернізації інфраструктури металургійного комбінату із прийнятним рівнем достовірності оцінювання не менше 0,7 узгоджені результати представлені у Табл. 8.

Табл. 8. Узгодженні якісні оцінки експертного оцінювання методом Делфі

	Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції
1 Заміна застарілих локомотивів на нові.	Дуже не ефективно	Середній рівень здійсненності	Висока	Дуже висока
2 Капітальний ремонт існуючих локомотивів.	Дуже ефективно	Середній рівень здійсненності	Надзвичайно висока	Висока
3 Скорочення парку локомотивів.	Дуже не ефективно	Повна здійсненність	Надзвичайно низька	Висока
4 Впровадження нових технологій чистки вагонів.	Надзвичайно ефективно	Нездійсненність	Дуже висока	Надзвичайно висока

	Ефективність	Здійсненність	Степінь відношення до проблеми	Степінь довіри до пропозиції
5 Використання у вантажних фронтах електроштовхачів і лебідок замість локомотивів.	Середня ефективність	Можлива здійсненність	Висока	Дуже висока

На Рис. 11 графічно зображено пріоритетність заходів по головним критеріям з урахуванням кількісних узгоджених експертних оцінок.

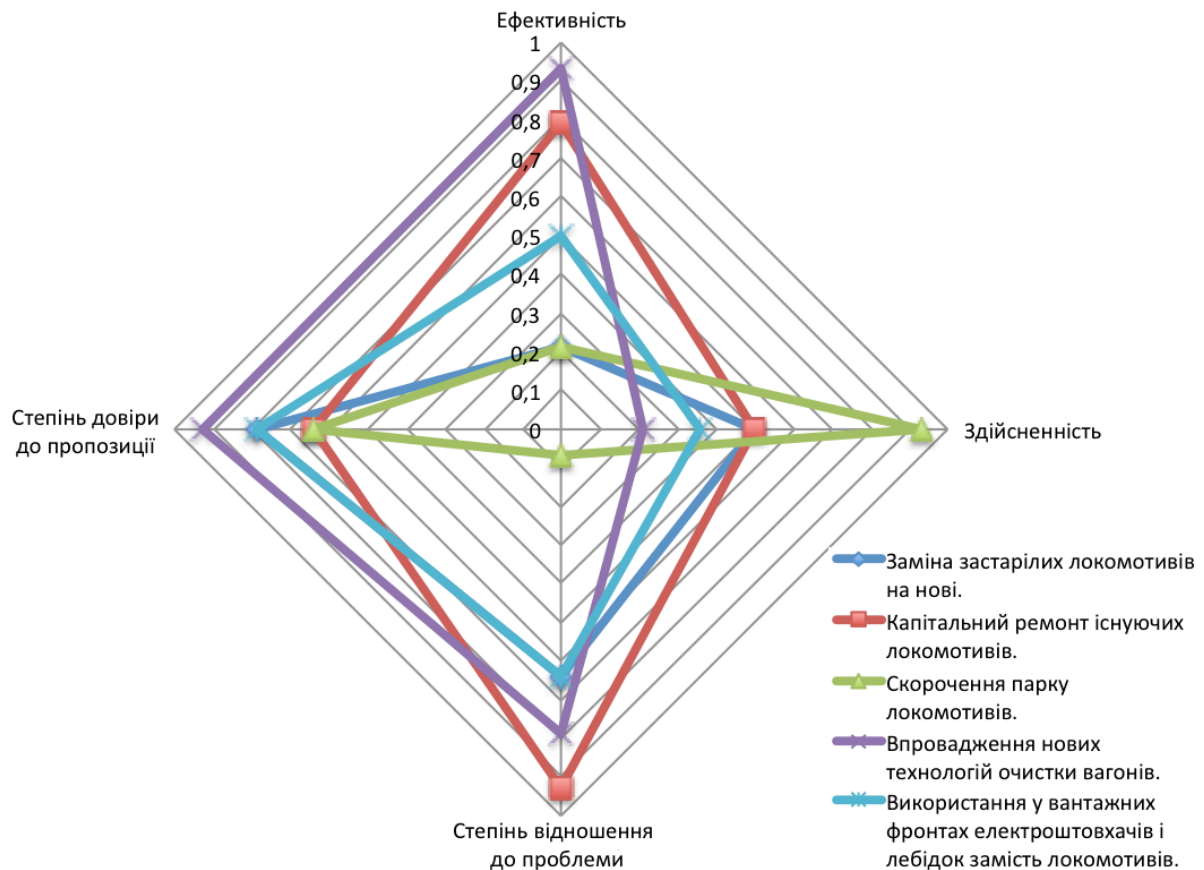


Рис. 11. Пріоритетність заходів по головним критеріям.

Розглянутий у прикладі захід «Заміна застарілих локомотивів на нові» виявився самим неефективним та малоздійсненним, що, можливо, пов'язано із дороговизною даного заходу або іншими об'єктивними умовами.

Більшість експертів вважає, що у приведених контекстних умовах майбутнього один з заходів переоснащення та модернізації комбінату - «Капітальний ремонт існуючих локомотивів» з метою зниження витрат і ресурсоемності виробництва має найбільшу степінь відношення до проблеми та буде мати високу ефективність. Експертні оцінки свідчать про високу степінь

довіри до даної пропозиції. Щодо здійсненності даного заходу у представленному контексті ситуації експертні думки розходяться. Однак сумнів експертів стосовно здійсненності не завадив отримати даному заходу найбільшу зважену оцінку на відміну від заходу *«Впровадження нових технологій чистки вагонів»*.