

## Лекція 10-11 (10.1)

### ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

**Мета** – набути практичних навичок використання методів експертних оцінок (ЕО) при плануванні виробництва на прикладі формування інтегрованого показника якості при виборі складових ГВС.

#### 10.1. Теоретичні відомості

##### 10.1.1. Коротка інформація щодо сутності методу експертних оцінок

Однією із задач, які розв'язуються при плануванні, моделюванні та верифікації ГВС, є задачі що пов'язані із проектуванням роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ), вибору складових ГВС в цілому тощо. Під цим можна розуміти вибір різного ТО, ОВ, комплектуючих, оснастки, розробку ТП, формування РМСТ тощо. Розв'язування цих задач ускладнюється необхідністю врахування множини різноманітних технічних, економічних показників, що характеризують складові елементи ГВС, які є різними за змістом, кількістю, якістю та мають різний вплив на якість технічних рішень, що приймаються при цьому.

У таких випадках надзвичайної складності, новизни проблеми, недостатності інформації або навпаки її збитковості, складності або взагалі неможливості формалізації процесу вибору складових елементів ГВС при проектуванні, моделюванні та верифікації процесів у ГВС звертаються до методу експертних оцінок, які у таких умовах дають цілком прийнятні результати.

**Метод експертних оцінок (ЕО)** – це розв'язування задачі експертами, їх аргументація, формування кількісних оцінок та обробка останніх формальними методами. Методи ЕО дозволяють, опираючись на досвід, знання та вміння спеціалістів в даній галузі, прийняти найбільш доцільне та обгрунтоване рішення.

**Експерти** (від латинського "*expertus*" – досвідчений) – це особи, які володіють на високому професійному рівні знаннями та вміннями із даної галузі та здатні висловити аргументовану думку з досліджуваного явища.

Процедура отримання оцінок від експертів називається **експертизою**.

**Методи ЕО** – методи організації роботи з фахівцями-експертами і обробки думок експертів. Ці думки зазвичай виражені частково в кількісній, частково в якісній формі. Експертні дослідження проводять з метою підготовки інформації для прийняття рішень особою, яка приймає рішення (ОПР). Для проведення роботи за методом ЕО створюють робочу групу (РГ), яка і організовує за дорученням ОПР діяльність експертів, об'єднаних (формально або по суті) в експертну комісію (ЕК).

Метод ЕО має три складові.

1. **Інтуїтивно-логічний аналіз завдання.** Будується на логічному мисленні та інтуїції експертів, заснований на їх знанні і досвіді. Цим пояснюється високий рівень вимог, що пред'являються до експертів.

2. **Рішення і видача кількісних або якісних оцінок.** Ця процедура являє собою завершальну частину роботи експерта. Експертом формується рішення по розглянутій проблемі і дається оцінка очікуваних результатів.
3. **Обробка результатів рішення.** Отримані від експертів оцінки повинні бути оброблені з метою одержання підсумкової оцінки проблеми. Залежно від поставленого завдання змінюється кількість виконуваних на цьому етапі розрахункових і логічних процедур. Для забезпечення оперативності і мінімізації помилок на даному етапі доцільно використання обчислювальної техніки.

Розрізняють індивідуальні та колективні ЕО. *Індивідуальна* – оцінка, що винесена одним спеціалістом. *Колективна* – та, що сформована групою експертів за допомогою визначених методів.

Існують різні *форми проведення експертизи*:

- дискусія;
- анкетування;
- інтерв'ювання;
- мозковий штурм;
- нарада;
- ділова гра тощо.

Іноді різні форми використовуються в комплексі.

Однією з найбільш перспективних форм проведення експертного оцінювання вважається **метод Дельфи**.

*Метод Дельфи* – це метод групового анкетування, що проводиться із застосуванням певного набору процедур, які виконуються в певній послідовності з метою формування групової думки про проблему, яка характеризується недостатністю інформації для використання інших методів. Ці процедури характеризуються трьома основними рисами:

- анонімністю;
- регульованим зворотнім зв'язком;
- груповою відповідальністю.

Зворотній зв'язок здійснюється за рахунок проведення декількох турів опитування, причому результати кожного туру обробляються статистичними методами і повідомляються експертам. У другому і наступних турах експерти аргументують свої відповіді. Таким чином, в наступних турах експерти можуть переглянути свої первинні відповіді. Від туру до туру відповіді експертів носять все більш стійкий характер і, врешті-решт, перестають змінюватися, що служить підставою для припинення опитувань. Практика показує, що зазвичай проводиться три-чотири тури опитувань, так як в подальшому оцінки перестають змінюватися.

Також одним з популярних методів прийняття рішень є **метод сценаріїв**, що застосовується перш за все для експертного прогнозування. Метод сценаріїв – це метод декомпозиції задачі прогнозування, що передбачає виділення набору окремих варіантів розвитку подій (сценаріїв), які в сукупності охоплюють всі можливі варіанти розвитку. При цьому кожен окремий сценарій повинен допускати можливість досить точного прогнозування.

Третім з найпопулярніших методів прийняття рішень є **мозковий штурм**. Організовується він в два етапи. *Перший етап* організовується як збори експертів, що висловлюють власні міркування, на виступи яких накладено одне, але дуже суттєве обмеження – не можна критикувати пропозиції інших. *Другий етап* мозкового штурму – аналіз висловлених ідей. Зазвичай третина ідей із 100% заслуговує подальшого опрацювання, з 5-6% дають можливість сформулювати

прикладні проекти, а 2-3% в підсумку приносять корисний результат. При цьому інтерпретація ідей є творчим процесом.

### 10.1.2. Етапи підготовки і проведення експертного оцінювання (експертизи)

Якість отриманих ЕО значною мірою залежить від підготовки самої експертизи та методів обробки інформації, одержуваної від експертів.

Технологія проведення експертного оцінювання містить декілька етапів (рис. 10.1).

Основні етапи підготовки та проведення експертизи наступні:

**I етап** формулювання мети експертного аналізу;

**II етап** формування експертної групи;

**III етап** розробка процедур та анкет проведення експертної оцінки;

**IV етап** отримання ЕО;

**V етап** обробка результатів опитування і аналіз отриманих даних;

**VI етап** встановлення ступеню досягнення мети експертизи.

Детальніше розглянемо як здійснюється отримання експертних оцінок, обробка результатів опитування і аналіз отриманих даних.

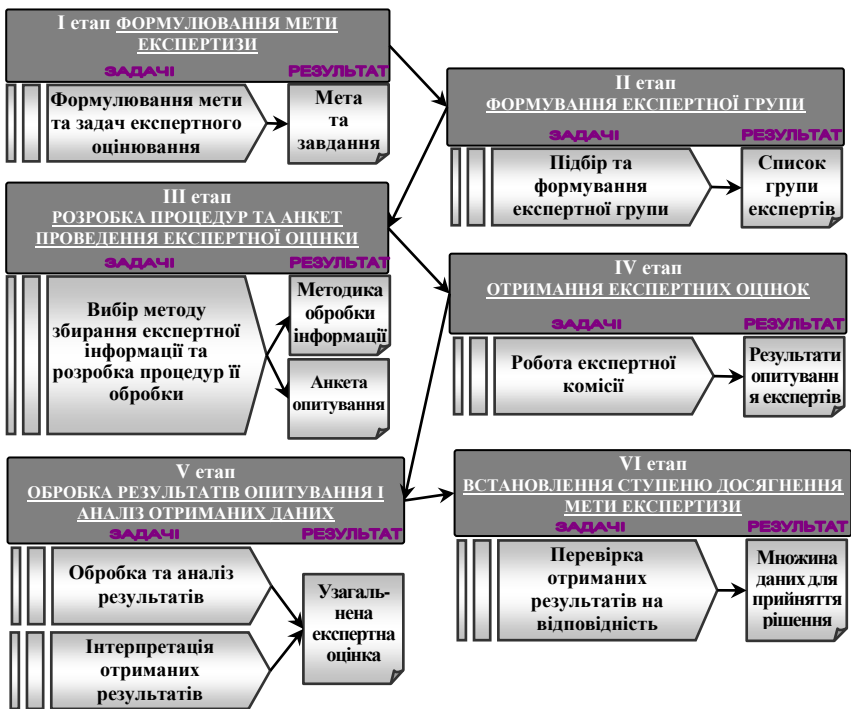


Рис. 10.1. Технологія проведення експертного оцінювання

### 10.1.3. Отримання експертних оцінок

Будь-який елемент ГВС від одиниць ОВ, ТО тощо до їх об'єднання у різноманітні системи, наприклад СООВ, СЗУС тощо описується множиною параметрів, що є різними за змістом, значенням та якістю. Такими параметрами, наприклад, для ПО (див. раніше) є:

- **кількісні показники:**

**технічні:** точність орієнтування, мм; циклова продуктивність, шт./хв. тощо;  
**економічні:** щомісячні витрати, пов'язані із утриманням обладнання, грн. тощо;

- **якісні показники**, наприклад, технологічна гнучкість тощо.

При формуванні інтегрального показника якості системи, що містить сукупність всіх показників, які описують систему, вплив кожного показника, може бути визначений методами ЕО. Крім того, всі якісні показники повинні мати кількісну форму. В такому випадку експерти оцінюють якісні показники у балах за відповідною шкалою.

**Шкала** – це інструмент (прийнята система правил) оцінки (вимірювання) будь-яких об'єктів або явищ.

Розрізняють чотири типи шкал.

1. **Номінальна шкала.** Реалізує найпростіший тип вимірювання. У цьому випадку проводиться порівняння властивостей об'єкта (явища) з яким-небудь еталоном. Результатом є впорядкування по двоелементній шкалі, де кожному з об'єктів (явищ) присвоюється бал, рівний нулю або одиниці.

Прикладом вимірювання за номінальною шкалою може служити проведення заліку у ЗВО (раніше ВНЗ). У цьому випадку експерт-викладач оцінює рівень знань студентів і виносить рішення: наприклад, для недиференційованого заліку (об'єкту-студенту присвоюється бал, рівний одиниці) або незалік (об'єкту-студенту присвоюється бал, рівний нулю).

2. **Порядкова шкала.** Мета полягає в упорядкуванні об'єктів (явищ), а точніше, у виявленні за допомогою експертів прихованої упорядкованості, яка, за припущенням, властива множині об'єктів. Результатом оцінки є рішення про те, що який-небудь об'єкт (явище) кращий іншого по відношенню до деякого критерію.

Прикладом може служити *визначення журі переможців* та призерів якогось конкурсу. Тут експерти повинні вирішити, що учасник, який посів перше місце, виявився кращим (з точки зору цілей конкурсу) учасника, що посів друге місце. Учасник, що зайняв друге місце, у свою чергу, визнається кращим по відношенню до третього і т.д.

3. **Інтервальна шкала.** Оцінка за даною шкалою дозволяє не тільки визначити, що один об'єкт (явище) кращий іншого, але також визначити: на скільки кращим. Нульова точка і одиниця виміру вибираються при цьому довільно.

Прикладом оцінювання за інтервальною шкалою є *проведення іспиту*. Тут експерт-викладач, оцінюючи рівень знань студентів, повинен не тільки вирішити, що один студент знає матеріал краще іншого, але сказати: на скільки краще. Вимірювання фактично проводиться за шкалою з чотирьох балів

("незадовільно", "задовільно", "добре", "відмінно"). При цьому рівень знань, відповідний нульовому балу (нульова точка) не відомий.

Вимірювання за інтервальною шкалою використовується при виставленні експертами-суддями оцінок в таких видах спорту, як фігурне катання, стрибки у воду, художня та спортивна гімнастика тощо.

**4. Шкала відношення.** У даному випадку передбачається, що відомо абсолютне значення властивостей об'єкта, тобто відома істинна нульова точка. Шкала використовується для тих чинників, які можуть бути представлені кількісно.

Наприклад, за допомогою такої шкали експерти можуть оцінити *розмір прибутку*, який може бути отриманий в результаті реалізації якого-небудь проекту.

В залежності від сутності досліджуваних об'єктів для їх оцінки можуть бути використані різні шкали.

Такі параметри як витрати, прибуток, час можуть бути оцінені по шкалі відношення або за інтервальною шкалою (наприклад, в грошовому еквіваленті, днях, балах тощо).

Для оцінки таких параметрів як термін окупності, порівняльна ефективність, гнучкість може бути використана інтервальна або порядкова шкала.

#### **10.1.4. Способи вимірювання параметрів об'єктів**

При проведенні експертизи найчастіше використовуються інтервальна або порядкова шкала експертного оцінювання. При оцінці об'єктів за цими шкалами найчастіше використовуються ранжування, парне порівняння, безпосередня оцінка.

**1. Ранжування** – це розташування об'єктів у порядку зростання або зменшення деякої притаманної їм властивості. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності факторів або параметрів найбільш суттєвий.

Результатом проведення ранжування є *ранжований ряд*.

Якщо є  $n$  об'єктів, то в результаті їх ранжування  $j$ -им експертом кожен об'єкт отримує оцінку  $x_{ij}$  – *ранг*, що приписується  $i$ -му об'єкту  $j$ -им експертом (на практиці позначення індексів можуть бути любі).

Значення  $x_{ij}$  знаходяться в інтервалі від **1** до  $n$ . Ранг найважливішого показника дорівнює одиниці, найменш значимого – числу  $n$  або навпаки.

*Ранжуванням  $j$ -го експерта* називається послідовність рангів  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}$ .

Перевагою методу є його простота, а недоліком – обмежені можливості використання, що обумовлюється складністю його використання при оцінці великої кількості об'єктів. В такому випадку експертам дуже важко будувати ранжований ряд, оскільки доводиться враховувати множинну складних зв'язків.

Від цього недоліку вільний наступний метод.

**2. Парне порівняння** – це встановлення переваги об'єктів при порівнянні всіх можливих пар. Прикладом цього методу може служити так зване парне порівняння Сааті. Тут не потрібно, як при ранжуванні, впорядковувати всі об'єкти, а необхідно в кожній з пар виявити більш значущий об'єкт або встановити їх рівність.

Парне порівняння можна проводити при великій кількості об'єктів, а також у тих випадках, коли відмінність між об'єктами настільки незначна, що практично неможливо провести їх ранжування.

При використанні цього методу найчастіше складається матриця розміром  $n \times n$ , де  $n$  – кількість порівнюваних об'єктів. Загальний вигляд матриці парних порівнянь представлений на рис. 10.2.

Об'єкти	1	2	...	$j$	...	$n$	$\Sigma$
1							
2							
...							
$i$							
...							
$n$							

Рис. 10.2. Загальний вигляд матриці парних порівнянь

При парному порівнянні об'єктів матриця заповнюється елементами  $a_{ij}$  наступним чином (може бути запропонована і інша схема заповнення):

$$a_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{якщо об'єкт } i \text{ є більш значущим, ніж об'єкт } j \text{ } (i > j); \\ 1, & \text{якщо об'єкти рівні } (i = j); \\ 0, & \text{якщо об'єкт } j \text{ є більш значущим, ніж об'єкт } i \text{ } (i < j). \end{cases} \quad (10.1)$$

Сума  $\sum_{j=1}^n a_{ij}$  (за  $i$ -им рядком) в даному випадку дозволяє оцінити відносну

значимість об'єктів. Той об'єкт, для якого сума  $\sum_{j=1}^n a_{ij}$  буде найбільшою, може бути визнаний найбільш важливим (значущим).

Додавання можна проводити і за стовпчиками ( $\sum_{i=1}^n a_{ji}$ ), тоді найбільш значущим буде об'єкт, що набере найменшу кількість балів.

**3. Безпосередня оцінка.** Використовується при необхідності не тільки впорядкування (ранжування об'єктів аналізу), але і визначення, на скільки один об'єкт (фактор, параметр об'єкта) є більш значущим порівняно з іншими.

У цьому випадку інтервал зміни характеристик об'єкта розбивається на окремі інтервали, кожному з яких приписується певна оцінка (бал), наприклад, від 0 до 10.

Саме тому метод безпосередньої оцінки інколи іменують також **бальним методом**.

Сутність *бального методу* полягає в тому, що експерт розміщує кожен з аналізованих об'єктів в певному інтервалі (приписує бал). Вимірником при цьому є ступінь володіння об'єктом тією чи іншою властивістю.

Кількість інтервалів, на які розбивається діапазон зміни властивості, може бути різним для різних експертів. Крім того, метод дозволяє давати одну і ту ж оцінку (тобто розміщувати в одному і тому ж інтервалі) різним об'єктам.

Наприклад, метод безпосередньої оцінки використовувався при проведенні оцінювання показника технологічної гнучкості при виборі ПО (див. попередній матеріал). Інтервал, що характеризував рівень гнучкості ПО, умовно був розбитий на 5 інтервалів (див. рис. 10.3). Найвища оцінка – 5 балів – надавалась ПО з високою технологічною гнучкістю, тобто ПО, що мали можливість орієнтування ОВ з широким інтервалом розмірів, форми та розташування конструктивних елементів. У випадку часткового обмеження технологічної гнучкості, наприклад, для ПО, що здійснювали орієнтування ОВ тільки за деякими різними розмірами і мали середню технологічну гнучкість, цей параметр оцінювався оцінкою 3.



Рис. 10.3. Приклад розбиття діапазону вимірювання характеристик об'єкта на інтервали

### 10.1.5. Обробка результатів експертного опитування

На базі оцінок експертів отримується узагальнена інформація про досліджуваний об'єкт (явище) і формується рішення, що задається метою експертизи. При обробці індивідуальних оцінок експертів використовують різні кількісні та якісні методи. Вибір того чи іншого методу залежить від складності вирішуваної проблеми, форми, в якій представлені ЕО, мети експертизи.

Найчастіше при обробці результатів опитування використовуються методи математичної статистики.

При обробці ЕО розв'язуються такі задачі:

1. формування узагальноної ЕО;
2. визначення відносних ваг об'єктів;
3. встановлення ступеня узгодженості думок експертів та ін.

#### 1. Формування узагальноної ЕО

Якщо група експертів оцінила деякий об'єкт, то  $x_j$  – оцінка  $j$ -го експерта,  $j = \overline{1, m}$  де  $m$  – кількість експертів. Для формування узагальноної оцінки групи експертів проводять усереднення відповідей експертів. Для цього найчастіше використовуються середні величини. Як правило використовують метод *середніх арифметичних рангів* та метод *медіан рангів*. Для більшої стійкості узагальноної ЕО доцільно використовувати одночасно обидва методи – і метод середніх арифметичних рангів (балів), і метод медіанних рангів в зв'язку з тим,

що загальні висновки залежать від суб'єктивізму ОПР, яка обирає метод обробки вихідних ЕО і тому можуть змінюватись від методу до методу.

**Метод середніх арифметичних рангів** реалізується наступною послідовністю дій:

- 1) обчислюється середнє арифметичне рангів, що були присвоєні об'єктам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}, \quad (13.2)$$

де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне оцінок групи експертів;

$x_j$  – оцінка  $j$ -го експерта,  $j = \overline{1, m}$ ;

$m$  – кількість експертів.

- 2) за середніми рангами будується підсумкова ранжований ряд (тобто упорядкування), виходячи із принципу – чим меншим є середній ранг, тим кращий проект.

**Метод медіан рангів** реалізується наступною послідовністю дій:

- 1) для одного об'єкта із аналізованої множини ранги, присвоєні експертами, розташовуються в порядку зростання із записом всієї кількості значень, що повторюються;
- 2) в якості медіани приймається така оцінка, по відношенню до якої кількість оцінок, що отримали більше значення, дорівнює кількості оцінок, що отримали менше значення, тобто визначається значення рангу, який розташований на центральному місці всієї послідовності рангів;
- 3) за медіанами рангів будується підсумкова ранжований ряд за принципом: чим меншою є медіана рангу, тим кращим є проект (або навпаки в залежності від попередньо визначених пріоритетів щодо важливості рангів).

## 2. Визначення відносних ваг об'єктів

Як зазначалось раніше, всі елементи ГВС описуються множиною параметрів, що мають різний вплив на якість системи. При цьому одні із них є найбільш важливими, інші менше. В такому випадку необхідним є визначення важливості того чи іншого фактору (параметру, об'єкту) за відповідним критерієм, тобто необхідним є визначення *ваги* кожного фактора.

Один із методів визначення ваг полягає в наступному. Нехай  $x_{ij}$  – оцінка  $i$ -го фактора, дана  $j$ -им експертом,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $n$  – кількість об'єктів, що порівнюються;  $m$  – кількість експертів. Тоді вага  $i$ -го об'єкта, що розрахована за оцінками всіх експертів ( $w_i$ ), дорівнює:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{m}; \quad i = \overline{1, n}, \quad (10.3)$$



де  $w_i$  – вага  $i$ -го об'єкта, розрахована за оцінками всіх експертів;  
 $w_{ij}$  – вага  $i$ -го об'єкта, розрахована за оцінками  $j$ -го експерта відповідно до виразу (10.4);  
 $i$  – порядковий номер об'єкта, що розглядається;  
 $m$  – кількість експертів;  
 $n$  – кількість об'єктів, що порівнюються;

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (10.4)$$

де  $w_{ij}$  – вага  $i$ -го об'єкта, розрахована за оцінками  $j$ -го експерта;  
 $x_{ij}$  – оцінка фактора  $i$ , дана  $j$ -им експертом;  
 $m$  – кількість експертів;  
 $n$  – кількість об'єктів, що порівнюються.

### 3. Встановлення степені узгодженості ЕО

У випадку участі в експертизі декількох експертів в їх оцінках будуть розбіжності. Важливе значення має величина цих розбіжностей. Групова ЕО може вважатися достатньо надійною тільки за умови хорошої узгодженості відповідей окремих експертів.

Для аналізу розбіжності та узгодженості ЕО застосовуються статичні характеристики – *міри розкиду*:

– *варіаційний розмах R*:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (10.5)$$

де  $x_{\max}$  – максимальна оцінка об'єкту;  
 $x_{\min}$  – мінімальна оцінка об'єкту;

– *середнє квадратичне відхилення  $\sigma$* :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2}{m - 1}}, \quad (10.6)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення ЕО;  
 $x_j$  – оцінка, надана  $j$ -им експертом;  
 $\bar{x}$  – середнє арифметичне оцінок групи експертів, розраховується за виразом (10.2);  
 $m$  – кількість експертів;

– *коефіцієнт варіації*  $V$ , який зазвичай виражається у відсотках:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (10.7)$$

де  $V$  – коефіцієнт варіації;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення ЕО за виразом (10.6);

$\bar{x}$  – середнє арифметичне оцінок групи експертів за виразом (10.2).

Якщо параметри об'єкта оцінювались методом ранжування (див. п. 10.1.4), то узгодженість між ранжованими рядами *двох експертів* визначають за допомогою *коефіцієнта рангової кореляції Спірмена*  $\rho$ :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (13.8)$$

де  $\rho$  – коефіцієнт рангової кореляції Спірмена:  $\rho = (-1; 1)$ ;

–  $\rho = 1$  відповідає повному збігу оцінок,

–  $\rho = -1$  відповідає найбільшому розходженню в думках експертів;

$x_{ij}$  – ранг, присвоєний  $i$ -му об'єкту  $j$ -им експертом;

$x_{ik}$  – ранг, присвоєний  $i$ -му об'єкту  $k$ -им експертом;

$n$  – кількість об'єктів, що порівнюються;

$d_i$  – різниці між рангами, присвоєними  $i$ -му об'єкту:  $d_i = x_{ij} - x_{ik}$ .

При визначенні узгодженості в ранжованій рядках *великої (більше двох) кількості експертів* розраховується так званий *коефіцієнт конкордації Кендалла*  $W$  – загальний коефіцієнт рангової кореляції для групи, що складається з  $m$  експертів:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}; \quad (10.9)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right]^2,$$

де  $m$  – кількість експертів;

$n$  – кількість об'єктів, що порівнюються;

$x_{ij}$  – ранг, присвоєний  $i$ -му об'єкту  $j$ -им експертом.

Коефіцієнт конкордації  $W$  змінюється в інтервалі від  $0$  до  $1$ . Якщо  $W = 1$ , то це означає, що всі експерти присвоїли об'єктам однакові ранги. Чим ближче значення коефіцієнта  $W$  до нуля, тим менш узгодженими є оцінки експертів.

### 10.1.6. Приклад формування узагальненої експертної оцінки



При проектуванні деякого ТП аналізувались вісім моделей ПР: ПР1, ..., ПР8.

Аналіз проводили 12 експертів, які присвоїли відповідні ранги кожному ПР у відповідності із особистим уявленням щодо доцільності

використання кожної моделі ПР у ТП.

Необхідно сформувати узагальнену ЕО методами середніх арифметичних рангів та медіан рангів.

Вихідні дані приведені в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

**Ранги моделей ПР за їх привабливістю для використання у ТП**

№ експерта	Ранги моделей ПР							
	ПР1	ПР2	ПР3	ПР4	ПР5	ПР6	ПР7	ПР8
1	5	3	1	2	8	4	6	7
2	5	4	3	1	8	2	6	7
3	1	7	5	4	8	2	3	6
4	6	4	2,5	2,5	8	1	7	5
5	8	2	4	6	3	5	1	7
6	5	6	4	3	2	1	7	8
7	6	1	2	3	5	4	8	7
8	5	1	3	2	7	4	6	8
9	6	1	3	2	5	4	7	8
10	5	3	2	1	8	4	6	7
11	7	1	3	2	6	4	5	8
12	1	6	5	3	8	4	2	7

*Примітка.* Експерт № 4 вважає, що ПР3 та ПР4 рівноцінні, але поступаються ПР6. Тому ПР3 та ПР4 повинні бути розміщені на другому та третьому місцях та отримати бали 2 та 3. Оскільки вони рівноцінні, то отримують середній бал  $(2+3)/2 = 5/2 = 2,5$

**Розв'язування методом середніх арифметичних рангів**

Відповідно до послідовності дій методу (див. п. 10.1.5) перш за все була обчислена сума рангів, присвоєних кожній моделі ПР (див. табл. 10.1). Потім ця сума була розділена на кількість експертів, в результаті був розрахований середній арифметичний ранг за формулою (10.2). За середніми рангами будується підсумковий ранжований ряд (тобто проводиться упорядкування), виходячи з принципу – чим менше середній ранг, чим привабливішою є модель ПР щодо її застосування у розроблюваному ТП. Найменший середній ранг, рівний 2,625, у ПР4. Отже, в підсумковій ранжованій послідовності він отримує ранг 1. Наступна за величиною сума, рівна 3,125, у ПР3 – і він отримує підсумковий ранг 2. ПР2 і ПР6 мають однакові суми (рівні 3,25), це вказує на те що, з точки зору експертів вони рівноцінні (при розглянутому способі узагальнення думок експертів), а тому вони повинні були б стояти на 3 і 4 місцях і тому отримують середній бал  $(3 + 4) / 2 = 3,5$ .

Дані результати наведені в табл. 10.2.

**Метод медіан рангів**

Відповідно до послідовності дій методу (див. п. 10.1.5) необхідно взяти відповіді всіх експертів, що стосуються однієї з моделей ПР, наприклад, ПР1. Для цієї моделі ранги становлять 5, 5, 1, 6, 8, 5, 6, 5, 6, 5, 7, 1 (див. табл. 10.1). Потім їх треба розташувати в порядку неспадання (простіше було б сказати – "в порядку зростання", але оскільки деякі відповіді збігаються, то доводиться використовувати незвичний термін "неспадання").

Таблиця 10.2

**Результати обчислення узагальненої ЕО методом середніх арифметичних рангів моделей ПР за їх привабливістю для використання у ТП**

№ експерта	Ранги моделей ПР							
	ПР1	ПР2	ПР3	ПР4	ПР5	ПР6	ПР7	ПР8
<b>1</b>	5	3	1	2	8	4	6	7
<b>2</b>	5	4	3	1	8	2	6	7
<b>3</b>	1	7	5	4	8	2	3	6
<b>4</b>	6	4	2,5	2,5	8	1	7	5
<b>5</b>	8	2	4	6	3	5	1	7
<b>6</b>	5	6	4	3	2	1	7	8
<b>7</b>	6	1	2	3	5	4	8	7
<b>8</b>	5	1	3	2	7	4	6	8
<b>9</b>	6	1	3	2	5	4	7	8
<b>10</b>	5	3	2	1	8	4	6	7
<b>11</b>	7	1	3	2	6	4	5	8
<b>12</b>	1	6	5	3	8	4	2	7
<b>Сума рангів</b>	<b>60</b>	<b>39</b>	<b>37,5</b>	<b>31,5</b>	<b>76</b>	<b>39</b>	<b>64</b>	<b>85</b>
<b>Середній арифметичний ранг</b>	<b>5</b>	<b>3,25</b>	<b>3,125</b>	<b>2,625</b>	<b>6,333</b>	<b>3,25</b>	<b>5,333</b>	<b>7,083</b>
<b>Підсумковий ранг</b>	<b>5</b>	<b>3,5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3,5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Загальний вигляд ранжованого ряду</b>	ПР4 < ПР3 < {ПР2, ПР6} < ПР1 < ПР7 < ПР5 < ПР8							
<i>Примітка.</i> Запис типу "ПР4 < ПР3" означає, що модель ПР4 передре моделі ПР3 (тобто модель ПР4 краще моделі ПР3). Оскільки моделі ПР2 та ПР6 отримали однакову суму балів, то за даним методом вони еквівалентні, а тому об'єднані в групу фігурними дужками {}.								

Отримаємо послідовність: 1, 1, 5, 5, 5, **5, 5**, 6, 6, 6, 7, 8. На центральних місцях – шостому і сьомому – стоять 5 і 5 (виділено жирним). Отже, медіана оцінок для моделі ПР1 дорівнює 5. Медіани сукупностей з 12 рангів, які відповідають певним моделям ПР, наведені в передостанньому рядку підсумкової таблиці (див. табл. 10.3). При цьому медіани обчислені за звичайними правилами статистики як середнє арифметичне центральних членів варіаційного ряду).

Аналіз отриманих ранжованих рядів за методами середніх арифметичних рангів та медіан рангів показує їх близькість. Найявна розбіжність вказує на похибки методів. Для покращення результатів може бути проведена додаткова обробка даних, наприклад, встановлення степені узгодженості ЕО за кожним методом (див. п. 10.1.5, пп. 3).

**Результати обчислення узагальноної ЕО методом медіан рангів моделей ПР за їх привабливістю для використання у ТП**

№ експерта	Ранги моделей ПР							
	ПР1	ПР2	ПР3	ПР4	ПР5	ПР6	ПР7	ПР8
1	5	3	1	2	8	4	6	7
2	5	4	3	1	8	2	6	7
3	1	7	5	4	8	2	3	6
4	6	4	2,5	2,5	8	1	7	5
5	8	2	4	6	3	5	1	7
6	5	6	4	3	2	1	7	8
7	6	1	2	3	5	4	8	7
8	5	1	3	2	7	4	6	8
9	6	1	3	2	5	4	7	8
10	5	3	2	1	8	4	6	7
11	7	1	3	2	6	4	5	8
12	1	6	5	3	8	4	2	7
Медіани рангів	5	3	3	2,25	7,5	4	6	7
Підсумковий ранг	5	2	2	1	8	4	6	7
Загальний вигляд ранжованого ряду	ПР4 < {ПР2, ПР3} < ПР6 < ПР1 < ПР7 < ПР8 < ПР5							
<i>Примітка.</i> Запис типу "ПР4 < ПР3" означає, що модель ПР4 передре моделі ПР3 (тобто модель ПР4 краще моделі ПР3). Оскільки моделі ПР2 та ПР3 отримали однакову суму балів, то за даним методом вони еквівалентні, а тому об'єднані в групу фігурними дужками {}.								

### 10.1.7. Приклади встановлення степені узгодженості експертних оцінок

#### Приклад 1



Ефективність роботи ПР при відпрацюванні деякого ТП була описана 12 параметрами, що характеризують роботу як його схвату (Сх), так і самого ПР, оцінка яких проводилась двома експертами методом ранжування.

Дані експертного опитування наведено в табл. 10.4.

Необхідно визначити узгодженість між ранжованими рядами експертів шляхом розрахунку коефіцієнта рангової кореляції Спірмена.

Таблиця 10.4

## Вихідні дані та проміжкові результати розрахунків за виразом (10.8)

Параметри Сх ПР	Значення рангів, що присвоїли експерти		Різниця між рангами $d_i$ ( $d_i = x_{i1} - x_{i2}$ )	Квадрат різниці між рангами $d_i^2$
	№1 ( $x_{i1}$ )	№2 ( $x_{i2}$ )		
Швидкість переміщень	7	6	1	1
Кількість точок позиціонування	8	4	4	16
Відстань переміщень	2	1	1	1
Надійність роботи	1	3	-2	4
Точність позиціонування	9	11	-2	4
Обсяг робочої зони ПР	3	2	1	1
Кількість ступенів рухомості	12	12	0	0
Прискорення	11	10	1	1
Продуктивність ПР	4	5	-1	1
Маса ПР	10	9	1	1
Вантажопідйомність	6	7	-1	1
Величина споживаної потужності ПР	5	8	-3	9
$\Sigma$	-	-	-	40

За виразом (10.8) обчислюється коефіцієнт рангової кореляції Спірмена:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \cdot 40}{12(12^2 - 1)} \approx 0,86.$$

Значення коефіцієнта Спірмена 0,86 свідчить про високу узгодженість оцінок експертів.

## Приклад 2



Ефективність роботи ПО при відпрацюванні деякого ТП була описана 7 параметрами, оцінка яких проводилась п'ятьма експертами методом ранжування.

Дані експертного опитування наведено в табл. 10.5.

Перевірити узгодженість ранжованих рядів, використовуючи коефіцієнт конкордації Кендалла  $W$ .

За виразом (10.9) обчислюється коефіцієнт конкордації Кендалла  $W$ :

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 498}{5^2 \cdot (7^3 - 7)} \approx 0,711.$$

Значення коефіцієнта конкордації  $W \approx 0,711$  є близьким до 1, що вказує на узгодженість ЕО.

## Вихідні дані та проміжкові результати розрахунків за виразом (10.9)

Параметри ПО	Значення рангів, що присвоїли експерти					Сума рангів	Відхилення від середньої суми $\Delta = (x_j - \bar{x})$	Квадрат відхилення $\Delta^2 = (x_j - \bar{x})^2$
	№1	№2	№3	№4	№5			
Точність орієнтування	1	1	2	3	1	8	-12	144
Циклова продуктивність	2	2	1	1	2	8	-12	144
Технологічна гнучкість	6	7	6	5	6	30	10	100
Надійність роботи	4	6	4	6	4	24	4	16
Величина одноразових витрат	7	3	7	4	5	26	6	36
Величина щомісячних витрат	3	5	5	7	7	27	7	49
Споживана потужність	5	4	3	2	3	17	-3	9
–	–	–	–	–	–	$\bar{x} = 20$	–	$\Sigma = 498$

### 10.1.7. Приклад застосування методів експертних оцінок для вибору промислових роботів при синтезі роботизованих механоскладальних технологій

#### Коротка інформація щодо сутності роботизованих механоскладальних технологій, вибору ПР та оптимальної траєкторії переміщення схвата ПР

При синтезі роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ), що здійснюється в рамках планування, моделювання та верифікації процесів у ГВС, виникає необхідність вибору ПР та формуванні оптимальної траєкторії переміщень його схвата (Сх). Цей процес є багатоетапним та досить трудомістким і очевидно, що ефективність технологічних рішень, які приймаються при виборі ПР та формування оптимальних траєкторій переміщення Сх ПР, суттєво впливає на ефективність функціонування ГВС в цілому.

На рис. 10.1 показаний зміст та місце задачі вибору ПР та формування оптимальної траєкторії Сх ПР при синтезі РМСТ в рамках проектування, моделювання та верифікації технологічних процесів у ГВС.

РМСТ передбачає впорядковане виконання маніпуляційних рухів Сх ПР з/без ОВ певного технологічного змісту і складу при технологічному обслуговуванні (завантаженні – розвантаженні) ОТО і ДТО та міжагрегатному переміщенні Сх з/без ОВ між робочими позиціями (РП) ГВК.

Тобто зовнішнім проявом РМСТ є траєкторія переміщень Сх ПР при виконанні ним (ПР) технологічних операцій міжагрегатного переміщення ОВ між робочими позиціями, що сформовані ОТО та ДТО, та траєкторія технологічного обслуговування ОТО та ДТО.

Траєкторія переміщень Сх ПР – маршрут, який проходить Сх ПР виконуючи переміщення між ОТО та ДТО з/без ОВ у рамках виконуваного (аналізованого, проєктованого, синтезованого) ТП. Траєкторія переміщення Сх ПР в ручному режимі часто встановлюється графічно прокреслюванням із врахуванням вимог забезпечення найкоротшого шляху та мінімізації кількості задіяних при цьому ступенів рухомості ПР і залежить від:

- форми, розмірів та розташування робочих просторів технологічного обладнання, що обслуговується;
- кількості робочих позицій;
- планування гнучких виробничих комірок (ГВК);
- способу завантаження/розвантаження кожної робочої позиції;
- розташування при закріпленні ОВ на ній;
- інших техніко-економічних параметрів, наприклад:
  - кількості точок позиціонування Сх ПР;
  - технологічної надійності ПР;
  - споживаної потужності ПР тощо.

Тому визначення оптимальної траєкторії та техніко-економічних показників, що мають вплив на її формування, є необхідною і важливою складовою синтезу РМСТ в рамках планування та моделювання процесів в ГВС в цілому.

На формування траєкторії переміщень Сх ПР впливає множина різних за своїм змістом та сутністю параметрів, одночасне кількісне збільшення та зменшення яких по різному відображається на технічних показниках та економічній ефективності функціонування ПР. Це вказує на необхідність визначення множини критеріїв, що впливають на траєкторні переміщення Сх ПР та певних обмежень, а також визначення цільової функції для генерування та вибору оптимальної траєкторії Сх ПР щодо прийнятого критерію оптимізації як інтегрованого показника якості РМСТ.

Процес вибору будь-якого обладнання для реалізації ТП у ГВС, наприклад, ПР, та оптимальної траєкторії Сх ПР при синтезі РМСТ є трудомістким та багатостадійним процесом, послідовність якого схематично представлена на рис. 13.2.

На **першому етапі** вибирають один із аналізованих ПР із множини можливих ПР, який задовольнятиме відповідним економічним та технічним вимогам.

На **другому етапі** для вибраного ПР із попередньо сформованої множини траєкторій, які він може відпрацювати в межах робочої зони для забезпечення заданого ТП, визначається деяка оптимальна траєкторія.

### **Аналіз параметрів, що впливають на траєкторію Сх ПР та вибір ПР**

На вибір ПР та траєкторію Сх ПР впливає множина різноманітних параметрів, які в свою чергу можуть бути поділені за своїм змістом та проявом на групи, наприклад, на технічні та економічні. Ці параметри можуть бути виділені з нормативно-технічної документації ПР та іншого ТО, що взаємодіє з



ПР у проектованому ТП, а також економічної документації підприємства (калькуляційні статті основних та накладних витрат підприємства) тощо.

Основні технічні показники ПР визначаються можливою областю застосування та умовами виробництва, для яких призначається ПР.

### Техніко-економічні параметри ПР

Технологічні можливості та конструкцію ПР можуть описувати такі основні параметри: швидкість переміщень Сх ПР  $v$  (м/с), кількість точок позиціонування  $r$  (шт), величини лінійних переміщень  $l$  (м), надійність  $N$  (год), похибка позиціонування  $\Delta$  (мм), форма робочої зони  $V$  (м<sup>3</sup>), кількість ступенів рухомості маніпуляційної системи (МС) ПР  $n$  (шт.), продуктивність  $Q$  (шт./год.), прискорення  $a$  (м/с<sup>2</sup>), вантажопідйомність Сх ПР  $g$  (кг), маса ПР  $m$  (кг) тощо.

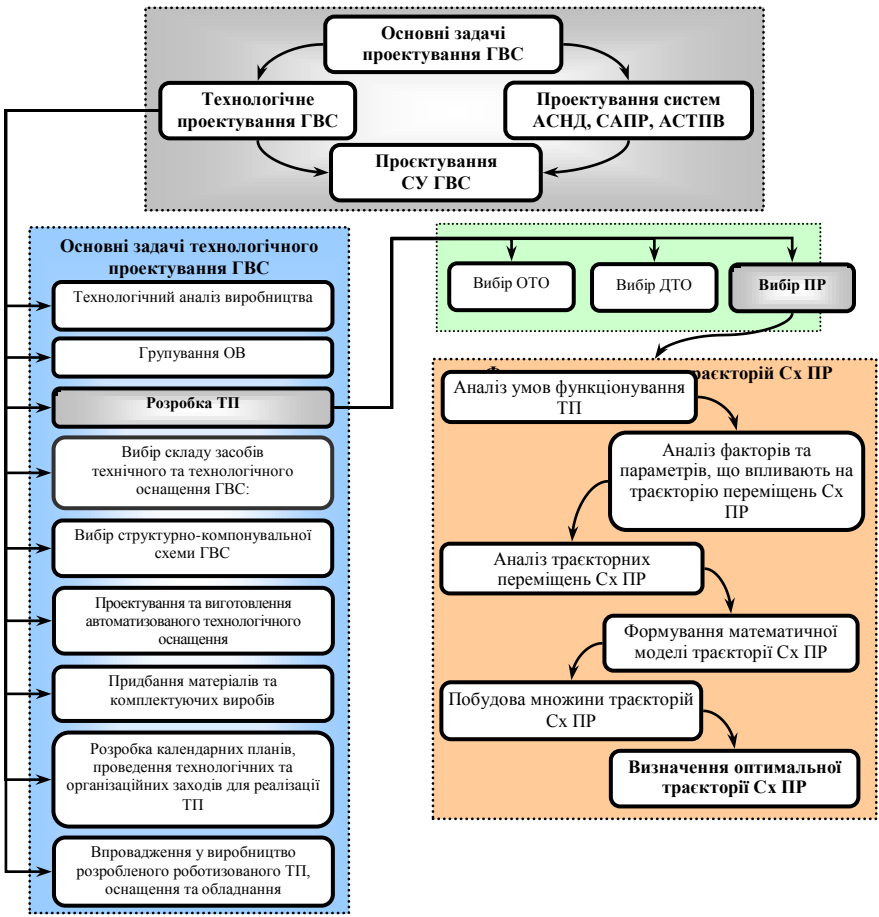


Рис. 10.1. Зміст та місце задачі формування оптимальної траєкторії СхПР та РМСТ при проектуванні ГКС

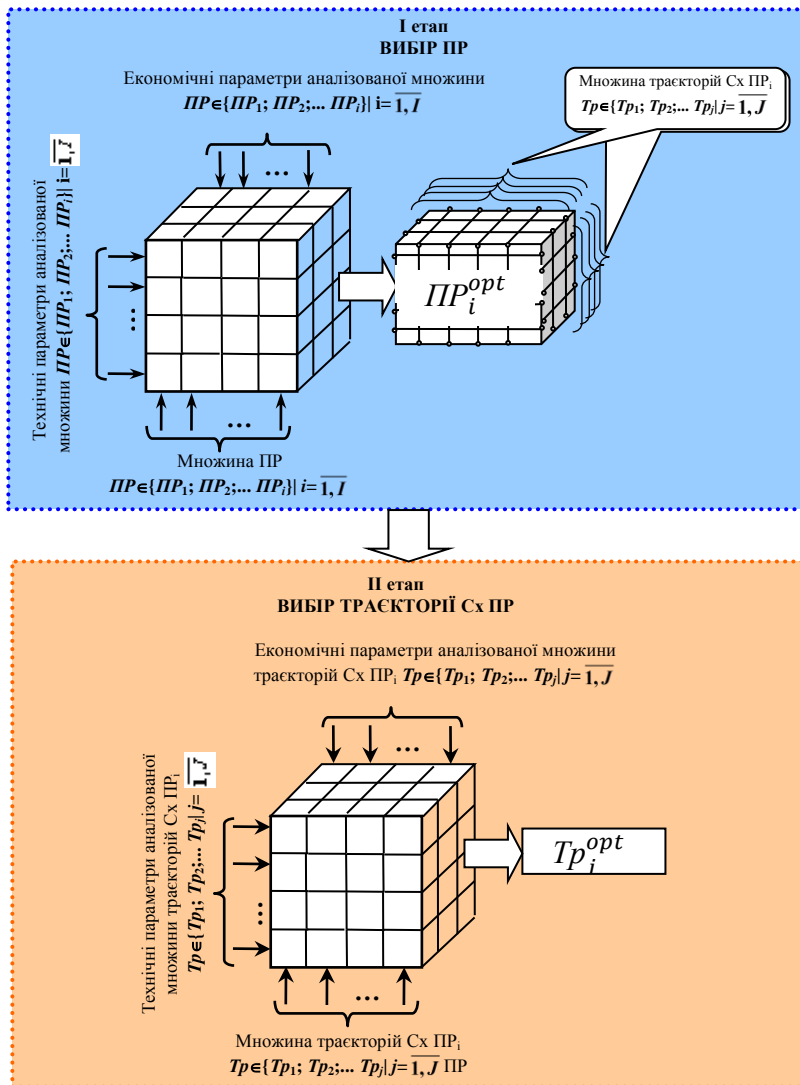


Рис. 10.2. Спрощена схема послідовності вибору ПР та оптимальної траєкторії Сх ПР при синтезі РМСТ

*Швидкість переміщень Сх ПР  $v$  (м/с)* – встановлюють виходячи із вимог продуктивності, які залежать від траєкторії переміщень ОВ, планування ГВС, часових обмежень можливих простоїв обладнання тощо. Дані про швидкість можна отримати з паспортних даних та іншої технічної документації на ПР. Загалом швидкість визначається із міркувань призначення максимально можливої за результатом розв’язування прямої та зворотної задач динаміки.

*Кількість точок позиціонування  $r$  (шт.)* – кількість проміжних позицій, потрібних для переміщення Сх ПР з початкового місця положення в кінцеве, які залежать від метрики та структури (довжини та кількості ланок) МС ПР. Визначаються експериментально з траєкторних обмежень та ступенів рухомості ПР при формуванні траєкторій з врахуванням обмежень щодо кількості ступенів рухомості та величин переміщень кожної узагальненої координати.

*Величина переміщень Сх ПР  $l$  (м)* – відстань між проміжними позиціями ТО. Розраховується експериментально з нормативної документації при плануванні ГВС.

*Надійність ПР  $N$  (год)* – тривалість часу напрацювання на відмову, як один із потужної множини показників надійності. Даний показник можна визначити з паспортних даних та технічної документації на ПР.

*Похибка позиціонування  $\Delta$  (мм)* – похибка, яка визначається вимогами щодо точності виконання основної технологічної операції або максимально можливим відхиленням деталі від базувальних поверхонь пристрою. Похибку позиціонування Сх ПР можна отримати з паспортних даних та технічної документації на ПР.

*Обсяг робочої зони ПР  $V$  (м<sup>3</sup>)* – визначається метрикою та структурою МС ПР та розраховується за паспортними даними ПР та/або з конструкторської документації планування та проектування ГВС.

*Кількість ступенів рухомості МС ПР  $n$  (шт)* – визначається конструкцією МС ПР, обирається з врахуванням призначення ПР, змістом маніпуляційних дій, розмірами робочої зони і вибраною структурно-кінематичною схемою ПР.

*Продуктивність ПР  $Q$  (шт./год.)* – кількість готових виробів, що випускаються за одиницю часу за безпосередньої участі ПР в аналізованій технологічній структурі і залежить від швидкісних показників кожної активної ланки МС ПР. Продуктивність ПР в межах ГВК визначається з виразу:

$$Q = \frac{n_{ОВ}}{t}, \quad (10.10)$$

де  $n_{ОВ}$  – кількість готових виробів;

$t$  – одиниця часу.

*Прискорення Сх ПР  $a$  (м/с<sup>2</sup>)* – зміна швидкості переміщення Сх ПР за одиницю часу. Визначається із виразу:

$$a = \frac{v}{t}, \quad (10.11)$$

де  $v$  – швидкість руху Сх ПР;

$t$  – одиниця часу.

Маса ПР  $m$  (кг) – маса ПР, визначається за паспортними даними.

Вантажопідйомність Сх ПР  $g$  (кг) – найбільше значення маси об'єктів маніпулювання, включаючи масу робочого органа ПР, які можуть переміщатися "рукою" ПР при заданих умовах. Визначається за паспортними даними ПР.

Наведені параметри можуть складати зміст множини технічного критерію ( $T_{ПР}$ ), за яким проводиться вибір ПР:

$$T_{ПР} = \{v, r, l, N, \Delta, V, n, a, Q, m, g, \dots\}. \quad (10.12)$$

Очевидно, що враховуючи інші параметри та задачі ТП, ГВС тощо, зміст технічного критерію  $T_{ПР}$  може бути змінений.

При плануванні ГВС велику роль відіграють економічні показники ефективності ТП, що в свою чергу визначаються комбонуванням ГВК, вартісними показниками окремих складових та вартісними показниками експлуатації технологічної структури для забезпечення виконання цього ТП. Тому, при виборі ПР слід приділяти значну увагу економічним показникам, серед яких можна виділити:

- величину споживаної потужності  $P$  (кВт/год);
- собівартість ПР  $S$  (грн);
- приведені витрати  $F$  (грн);
- витрати, що припадають на одиницю випущеної продукції  $D$  (грн) тощо.

Величина споживаної потужності  $P$  (кВт/год.) – кількість енергії, яку споживає ПР при виконанні операцій ТП. Визначається паспортними даними, експлуатаційними показниками функціонування ПР та нормативно-технічною документацією на ПР.

Собівартість ПР  $S$  (грн.) – вартість ПР та затрати на його амортизацію та модернізацію.

Приведені витрати  $F$  (грн.) – економічна категорія, яка відображає величину повних витрат на виробництво.

Витрати, що припадають на одиницю випущеної продукції  $D$  (грн.) – ввизначаються приведеними витратами на виготовлення певної кількості продукції.

Приведені вище параметри, в свою чергу, можуть складати зміст множини економічного критерію ( $E_{ПР}$ ), за яким проводиться вибір ПР:

$$E_{ПР} = \{P, S, F, D, \dots\}, \quad (10.13)$$

де  $P$  – величина споживаної потужності ПР;

$S$  – собівартість ПР;

$F$  – приведені витрати ПР;

$D$  – витрати, що припадають на одиницю випущеної продукції.

Очевидно, що при зміні умов ТП, виробничих задач ГВС, стратегії розвитку підприємства, умов ринку тощо зміст економічного критерію  $E_{ПР}$  може бути доповнений іншими параметрами.

## Техніко-економічні параметри, що впливають на траєкторію Сх ПР

На траєкторію переміщення Сх ПР щодо її технічної ефективності можуть впливати такі основні показники:

- кількість точок позиціонування  $r$  (шт.);
- відстань переміщень  $l$  (м);
- час циклу  $t_u$  (с);
- технологічна надійність  $N_T$  (год).

*Кількість точок позиціонування  $r$  (шт.)* – кількість проміжних позицій, потрібних для переміщення Сх ПР з початкового положення в кінцеве, які залежать від довжини та кількості ланок МС ПР, а також від величин переміщень кожної узагальненої координати. Визначається при синтезі траєкторій з врахуванням обмежень щодо конструктивних особливостей ТО, структури та елементів МС ПР.

*Величина переміщень Сх ПР  $l$  (м)* – відстань між проміжними позиціями ТО. Розраховується експериментально з нормативної документації при плануванні ГВС.

*Час циклу  $t_u$  (с)* – час, що витрачається на відпрацювання ПР всіх технологічних операцій з початкової фіксованої точки до кінцевої при виготовленні однієї одиниці виробу.

*Технологічна надійність  $N_T$  (год.)* – тривалість часу напрацювання на відмову (це один із показників). Даний показник можна отримати з паспортних даних та технічної документації на ПР.

Приведені параметри можуть складати зміст множини технічного критерію ( $T_{Tp}$ ), що впливають на вибір траєкторії Сх ПР:

$$T_{Tp} = \{ r, l, t_u, N_T, \dots \}, \quad (10.14)$$

де  $r$  – кількість точок позиціонування Сх ПР;

$l$  – відстань переміщень Сх ПР;

$t_u$  – час циклу;

$N_T$  – технологічна надійність ПР.

Очевидно, що враховуючи інші параметри та задачі ТП, ГВС тощо зміст технічного критерію  $T_{Tp}$  може бути змінений.

На траєкторію Сх ПР щодо її економічної ефективності впливають і економічні параметри, такі як:

- приведені витрати  $F$  (грн.);
- технологічна собівартість  $S_T$  (грн.);
- споживана потужність  $P$  (кВт/год.).

*Приведені витрати  $F$  (грн.)* – економічна категорія, яка відображає величину повних витрат на виробництво.

*Технологічна собівартість  $S_T$  (грн.)* – це сума витрат на здійснення технологічного процесу виготовлення продукції, за винятком витрат на придбані деталі і вузли.

*Величина споживаної потужності  $P$  (кВт/год.)* – кількість енергії, яку споживає ПР при виконанні операцій технологічного циклу міжагрегатного

транспортування, перевстановлення ОВ в Сх та встановлення / зняття однієї одиниці виробу. Визначається на підставі інформації, що міститься в паспортних даних та нормативно-технічної документації на ПР, а також параметрів аналізованої тракторії.

Приведені параметри можуть складати зміст множини економічного критерію ( $E_{Tp}$ ), що впливають на вибір тракторії Сх ПР:

$$E_{Tp} = \{P, S_T, F, \dots\}, \quad (10.15)$$

де  $P$  – споживана потужність ПР;  
 $S_T$  – технологічна собівартість ПР;  
 $F$  – приведені затрати.

Очевидно, що при зміні умов ТП, задач ГВС тощо зміст економічного критерію  $E_{Tp}$  може бути доповнений іншими параметрами.

### **Обґрунтування змісту, значення та складу критеріїв вибору ПР методами ЕО**

В прикладі (див. далі) розглядається процедура використання методів ЕО для аналізу множини техніко-економічних параметрів для вибору ПР.

Аналіз множини техніко-економічних параметрів для вибору тракторії Сх ПР методами ЕО виноситься на самостійне опрацювання.

Очевидно, що приведена вище множина параметрів, які складають зміст технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР, мають різний вплив та вагу на результати технічних рішень. Тому необхідно провести повний аналіз щодо їх змісту та значень для складових технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв та визначити доцільність застосування кожного із параметрів. Вказане здійснюється методами ЕО поетапно відповідно до п. 10.1.2 – 10.1.5 (див. вище).

### **І етап. Формулювання мети експертного аналізу**

Мета експертного аналізу: визначення впливу та ваги техніко-економічних параметрів ПР та доцільності їх використання у складі технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР.

Задачі експертного аналізу.

Для досягнення мети експертизи необхідно провести аналіз, наприклад, 15 техніко-економічних показників ПР та розв'язати задачі щодо визначення:

- важливості кожного показника у критеріях вибору ПР, тобто визначити доцільність наявності кожного показника у змісті технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР та їх вагу;
- впливу показників на якість технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР, тобто визначити які з показників є негативними і які позитивними (див. вище).

## II етап. Формування експертної групи

Для проведення експертизи пропонується експертна комісія, наприклад, у складі шести експертів:

Експерт 1; Експерт 2; Експерт 3; Експерт 4; Експерт 5; Експерт 6.

Загалом, кількість експертів залежить від кількості показників (критеріїв) вибору.

## III етап. Розробка процедур та анкет проведення ЕО

Форма проведення ЕО: мозковий штурм або метод Дельфи.

Процедури ЕО. Розв'язання задачі *визначення важливості та ваги кожного показника* у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР проводиться у дві процедури.

**Процедура 1. Визначення важливості показників.**

Оцінка 15 показників за 15-ранговою *порядковою шкалою* для визначення доцільності показника у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР. Найпривабливішому для експерта показнику надається ранг 1. Показнику, що є менше привабливим для експерта порівняно із попереднім, надається ранг 2 і т.д. 15 ранг надається останньому за привабливістю показнику. Пріоритети щодо важливості кожного критерія можуть бути інверсними. Тобто чим більше значення має критерій, тим більший бал він отримує від експерта.

Анкета ЕО за процедурою 1 має табличну форму, наприклад, таку, як табл. 13.6.

**Процедура 2. Визначення ваг показників.**

Кожен показник економічного  $E_{ПР}$  чи технічного  $T_{ПР}$  критерію формує їх зміст має різну важливість. Тому необхідно кожному показнику призначити ваговий коефіцієнт, що буде відображати важливість показника. Оцінка показників проводиться за *шкалою відношення*. За цією шкалою показники оцінюються в інтервалі значень від 0 до 1. Найбільше значення вагового коефіцієнта призначається найважливішому показнику, вплив якого на значення технічного  $T_{ПР}$  або економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР, на думку експерта, є найсуттєвішим, найменше – найменш важливому (або навпаки). Загальна сума вагових коефіцієнтів для кожного показника, що оцінюється одним експертом, не повинна перевищувати 1.

Анкета ЕО за процедурою 2 має табличну форму, наприклад, таку, як табл. 10.7.

Розв'язування задачі *визначення впливу показника* на якість критеріїв вибору ПР проводиться за одну процедуру. Кожен показник має позитивний чи негативний вплив на значення технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР. ЕО проводиться за двозначною номінальною шкалою, за якою кожний з показників може бути оцінений тільки одним із двох значень: "-" – показник має негативний вплив або "+" – показник має позитивний вплив.

Анкета для цих ЕО має табличну форму, наприклад, таку, як табл. 10.8.

#### IV етап та V етап. Отримання ЕО. Обробка результатів опитування та аналіз отриманих даних

**Задача 1. ЕО визначення важливості та ваги кожного показника у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР.**

**Процедура 1. Визначення важливості показників.** ЕО важливості техніко-економічних показників ПР у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР представлені у табл. 10.9.

##### Обробка результатів ЕО

###### 1) Формування узагальненої ЕО

###### Метод середніх арифметичних рангів

- 1) За виразом (10.2) обчислюється середнє арифметичне рангів, що були присвоєні експертами кожному показнику з множини техніко-економічних показників ПР.
- 2) За середніми рангами будується підсумковий ранжований ряд. Отримані дані приведені в табл. 10.9.

Вигляд ранжованого ряду за даними табл. 10.9 наступний:

$$v < l < S < r < \Delta < n < V < F < g < N < Q < a < (m, P) < D.$$

###### Метод медіан рангів

- 1) Визначається медіана рангів ЕО, присвоєних кожному показнику з аналізованої множини техніко-економічних показників ПР.
- 2) За медіанами рангів будується підсумковий ранжований ряд за принципом – чим меншою є медіана рангу, тим кращим є проект (або навпаки).

Отримані дані приведені в табл. 10.9.

Вигляд ранжованого ряду за даними табл. 10.9 наступний:

$$(v, D) < S < (r, \Delta) < n < V < F < g < N < Q < P < (m, a) < D.$$

Порівняння ранжованих значень показує їх близькість. ЕО показників  $v, l, S, r, \Delta, n, V, F, g, N, Q$  повністю співпадають, лише в деяких місцях ранжованих рядів показники мають однакове значення рангів, це обумовлюється похибкою методу ЕО.

Суттєві розбіжності ЕО при визначенні рангів спостерігаються у показників  $P, m, a, D$ , але ці показники є найменш привабливими для експертів щодо їх важливості у змісті критеріїв вибору ПР. Подібні ситуації можуть характеризуватись тим, що за рішенням ОПР їх (показників) в деяких випадках подальше використання та аналіз може бути недоречним, наприклад, як це зроблено нижче.







## 2) Встановлення степені узгодженості ЕО

ЕО техніко-економічних показників ПР проводилось методом ранжування великою кількістю експертів. Тому визначення узгодженості ЕО здійснюється за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла  $W$  (див. п. 10.1.5, 10.1.7) за виразом (10.9).

Результати обчислення коефіцієнта конкордації Кендалла  $W$  приведені в табл. 10.10.

Отриманий коефіцієнт конкордації Кендалла  $W = 0,87$  вказує на **високу узгодженість ЕО**.

### *Процедура 2. Визначення ваг показників*

#### 1) Формування узагальноної ЕО значень вагових коефіцієнтів важливості показників

ЕО ваги кожного з техніко-економічних показників ПР у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР виставлені експертами у балах за шкалою відношення та представлені у табл. 10.11.

За виразами (10.3) та (10.4) обчислюються вагові коефіцієнти кожного показника, які за результатами ЕО складають зміст технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР.

Результати обчислень приведені в табл. 10.11.

#### 3. Встановлення степені узгодженості ЕО

Для ЕО за техніко-економічними показниками ПР, визначеними на попередніх етапах, використовується ранжування.

Вихідні дані ЕО та результати обчислення узагальноної ЕО за кожною процедурою приведено в підсумкових табл. 10.9 – 10.11.

### **Задача 2. Визначення впливу показника на якість критеріїв вибору**

ЕО позитивного чи негативного впливу кожного показника з множини техніко-економічних показників ПР у змісті технічного  $T_{ПР}$  та економічного  $E_{ПР}$  критеріїв вибору ПР представлені у табл. 10.12.

#### **Формування узагальноної ЕО**

ЕО виставляються експертами за двозначною шкалою у вигляді плюсів та мінусів із відповідними позначеннями: “+” та “-”. Значення “+” надається показнику, який на думку експерта має позитивний вплив на систему, а “-” надається показнику, який на думку експерта має негативний вплив на систему. Загальна ЕО впливу показника формується за кількістю набраних “+” та “-”: яка кількість значень буде більшою, відповідно такий і буде вплив аналізованого показника. Результати приведені в табл. 10.12.

Таблиця 10.9

Вихідні дані ЕО та узагальнена ЕО важливості техніко-економічних показників у змісті технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР

№ експерта	Маса ПР	Продуктивність ПР	Вантажопідійомність Сх ПР	Швидкість МС	Кількість точок позионування Сх ПР	Величина переміщень Сх ПР	Надійність ПР	Похилка позионування Сх	Об'єм робочої зони ПР	Кількість ступенів рухомості МС	Затрати на одиницю випущеної продукції	Прискорення МС ПР	Сложивана потужність ПР	Собівартість ПР	Приведені затрати
	$m$	$O$	$g$	$v$	$r$	$l$	$N$	$\Delta$	$V$	$n$	$D$	$z$	$P$	$S$	$F$
Експерт 1	14	12	9	1	2	3	10	7	8	4	13	15	11	5	6
Експерт 2	15	13	12	2	5	1	9	4	7	6	14	10	12	3	8
Експерт 3	12	10	12	3	1	2	8	7	6	5	14	13	15	4	9
Експерт 4	10	9	8	1	7	2	12	6	5	4	14	13	15	3	11
Експерт 5	14	12	9	2	5	1	13	3	6	7	15	10	11	4	8
Експерт 6	12	11	8	2	5	4	9	3	10	6	15	14	13	1	7
<b>Узагальнена ЕО</b>															
<b>Метод середніх арифметичних рангів</b>															
Сума рангів	77	67	58	11	25	13	61	30	42	32	85	75	77	20	49
Середній арифметичний ранг	12,833	11,167	9,6667	1,8333	4,1667	2,1667	10,167	5	7	5,3333	14,167	12,5	12,833	3,3333	8,1667
Підсумковий ранг	13	11	9	1	4	2	10	5	7	6	15	12	13	3	8
Вигляд ранжованого ряду	$v < l < S < r < \Delta < n < V < F < g < N < Q < a < (m, P) < D$														
<b>Метод медіан рангів</b>															
Медіани рангів	13	11,5	9	2	5	2	9,5	5	6,5	5,5	14	13	12,5	3,5	8
Підсумковий ранг	13	11	9	1	4	1	10	4	7	6	15	13	12	3	8
Вигляд ранжованого ряду	$(v, l) < S < (r, \Delta) < n < V < F < g < N < Q < P < (m, a) < D$														

Таблиця 10.10

Вихідні дані ЕО, проміжкові та підсумкові результати обчислення коефіцієнта конкордації ЕО важливості техніко-економічних показників у змісті технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору PP

№ експерта	Маса PP $m$	Продуктивність PP $Q$	Вантажопідійомність Sx PP $g$	Швидкість МС $v$	Кількість точок позионування Sx PP $r$	Величина переміщень Sx PP $l$	Надійність PP $N$	Похибка позионування Sx $\Delta$	Об'єм робочої зони PP $V$	Кількість ступенів рухомості МС $n$	Затрати на одиницю випущеної продукції $D$	Прискорення МС PP $a$	Споживана потужність PP $P$	Собівартість PP $S$	Приведені затрати $F$
Експерт 1	14	12	9	1	2	3	10	7	8	4	13	15	11	5	6
Експерт 2	15	13	12	2	5	1	9	4	7	6	14	10	12	3	8
Експерт 3	12	10	12	3	1	2	8	7	6	5	14	13	15	4	9
Експерт 4	10	9	8	1	7	2	12	6	5	4	14	13	15	3	11
Експерт 5	14	12	9	2	5	1	13	3	6	7	15	10	11	4	8
Експерт 6	12	11	8	2	5	4	9	3	10	6	15	14	13	1	7
Сума рангів	77	67	58	11	25	13	61	30	42	32	85	75	77	20	49
Середня сума $\bar{x}$	48,133														
Відхилення від середньої суми ( $x_j - \bar{x}$ )	28,8667	18,8667	9,86667	-37,133	-23,133	-35,133	12,8667	-18,133	-6,133	-16,133	36,8667	26,8667	28,8667	-28,133	0,86667
Квадрат відхилення ( $x_j - \bar{x}$ ) <sup>2</sup>	833,284	355,951	97,3511	1378,88	535,151	1234,35	165,551	328,818	37,6178	260,284	1359,15	721,818	833,284	791,484	0,75111
Сума відхилень	8933,73														
Коефіцієнт конкордації $W$	0,87														

## VI етап. Встановлення ступеню досягнення мети експертизи

Проведений експертний аналіз техніко-економічних показників ПР, що узагальнено поданий в табл. 10.11 та 10.12, дає можливість остаточно сформулювати технічний  $T_{ПР}$  та економічний  $E_{ПР}$  критерії вибору ПР наступного змісту:

$$T_{ПР} = (v \cdot a_v; l \cdot b_l; r \cdot b_r; \Delta \cdot b_{\Delta}; n \cdot a_n; V \cdot a_v; g \cdot a_g; N \cdot a_N; Q \cdot a_Q), \quad (10.16)$$

де  $v$  – швидкість ланок МС ПР;

$l$  – відстань переміщень Сх ПР;

$r$  – кількість точок позиціонування Сх ПР;

$\Delta$  – похибка позиціонування Сх ПР;

$n$  – кількість ступенів рухомості МС ПР;

$V$  – об'єм робочої зони ПР;

$g$  – вантажопідйомність Сх ПР;

$N$  – надійність ПР;

$Q$  – продуктивність ПР;

$a_v; a_n; a_v; a_g; a_N; a_Q$  – вагові коефіцієнти важливості технічних показників  $a_v; n; V; g; N; Q$  відповідно, що мають позитивний вплив відповідно до табл. 3.3.12. Числові значення вагових коефіцієнтів важливості показників приведені в табл. 10.11;

$b_l; b_r; b_{\Delta}$  – вагові коефіцієнти важливості технічних показників  $l; r; \Delta$  відповідно, що мають негативний вплив відповідно до табл. 10.12. Числові значення вагових коефіцієнтів важливості показників приведені в табл. 10.11;

$$E_{ПР} = \{S \cdot b_S; F \cdot b_F\}, \quad (10.17)$$

де  $S$  – собівартість ПР;

$F$  – приведені витрати;

$b_S; b_F$  – вагові коефіцієнти важливості економічних показників  $S; F$  відповідно, що мають негативний вплив відповідно до табл. 10.12.

Числові значення вагових коефіцієнтів важливості показників приведені в табл. 10.11.

Таблиця 10.11

Вихідні дані ЕО та узагальнена ЕО вагових коефіцієнтів важливості техніко-економічних показників у змісті технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР за шкалою відношення

№ експерта	Величина перемищів Сх ПР	Вантажо-підйомність Сх ПР	Швидкість Сх ПР	Надійність ПР	Похибка позиціонування Сх ПР	Об'єм робочої зони ПР	Кількість ступенів рухомості МС ПР	Собівартість ПР	Приведені затрати	Продуктивність ПР	Кількість точок позиціонування Сх ПР	Примітка
ЕО показників у балах: $x_{ij}$												$\sum_{i=1}^n x_{ij}$
Експерт 1	7	8	9	1	2	10	11	3	4	5	6	66
Експерт 2	8	7	6	1	1	5	4	2	2	1	3	40
Експерт 3	10	11	9	2	1	8	8	3	3	1	7	63
Експерт 4	9	8	7	2	1	3	4	1	1	1	5	42
Експерт 5	11	5	6	2	1	5	6	2	3	1	4	46
Експерт 6	5	4	4	2	1	8	10	3	2	1	11	51
Вагові значення ЕО показників: $w_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$												$\sum$ ваг
Експерт 1	0,10606	0,12121	0,13636	0,01515	0,0303	0,15152	0,16667	0,04545	0,06061	0,07576	0,09091	1
Експерт 2	0,20000	0,17500	0,15000	0,02500	0,02500	0,12500	0,10000	0,05000	0,0500	0,02500	0,07500	1
Експерт 3	0,15873	0,17460	0,14286	0,03175	0,01587	0,12698	0,12698	0,04762	0,04762	0,01587	0,11111	1
Експерт 4	0,21429	0,19048	0,16667	0,04762	0,02381	0,07143	0,09524	0,02381	0,02381	0,02381	0,11905	1
Експерт 5	0,23913	0,10870	0,13043	0,04348	0,02174	0,10870	0,13043	0,04348	0,06522	0,02174	0,08696	1
Експерт 6	0,09804	0,07843	0,07843	0,03922	0,01961	0,15686	0,19608	0,05882	0,03922	0,01961	0,21569	1
Сума ваг $\sum_{j=1}^m w_{ij}$	1,02	0,85	0,8	0,2	0,14	0,74	0,82	0,27	0,29	0,18	0,7	-
Вага показника	0,17	0,14	0,13	0,03	0,02	0,12	0,14	0,05	0,05	0,03	0,12	1

Таблиця 10.12

Вихідні дані ЕО та узагальнена ЕО впливу (позитивного та негативного) техніко-економічних показників на значення технічного  $T_{PP}$  та економічного  $E_{PP}$  критеріїв вибору ПР за двозначною номінальною шкалою

№ експерта	Відстань перемищів ПР	Вантажо-підйомність ПР	Швидкість Сх ПР	Надійність ПР	Похибка позиціонування Сх ПР	Об'єм робочої зони ПР	Кількість ступенів рухомості МС ПР	Собівартість ПР	Приведені затрати	Продуктивність ПР	Кількість точок позиціонування Сх ПР
Експерт 1	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
Експерт 2	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
Експерт 3	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
Експерт 4	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-
Експерт 5	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
Експерт 6	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
Загальна ЕО	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-