

Рис. 3.4. Структурна схема алгоритму формування раціональної маршрутної мережі міського пасажирського транспорту [28]

Цільова функція маршрутизації відповідно до вихідних даних дає можливість визначити суму витрат на експлуатацію транспорту за розглянутий період та зміну вартості використання транспорту (зниження продуктивності праці пасажирів на основному виробництві внаслідок транспортної стомлюваності) і в загальному виді виглядає таким чином [28]:

$$\sum_i^N \sum_j^N \sum_z^n \left( h_{ijz} \sum_K^M A \cdot t_{oc,k} + B \cdot t_{mp,k} \cdot \gamma_{dk} \right) + \sum_i^G C_{nep,i} \cdot V + C_{nocm,i} \cdot \bar{N}_{ai} \cdot T_n \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

де  $N$  – кількість транспортних районів у місті;  $n$  – кількість можливих варіантів шляху проходження із  $i$  в  $j$ ;  $h_{ijz}$  – кількість пасажирів, що їдуть по шляху  $z$  з району  $i$  в район  $j$ ;  $M$  – кількість посадок (маршрутних поїздок) на шляху  $z$ ;  $A, B$  – коефіцієнти інтенсивності дорожнього руху;  $t_{oc,k}$  – час очікування  $k$ -тої посадки;  $t_{mp,k}$  – тривалість  $k$ -тої маршрутної поїздки;  $\gamma_{dk}$  – динамічний коефіцієнт використання місткості;  $G$  – кількість марок транспортних засобів, що працюють на маршрутах;  $C_{nep,i}$ ,  $C_{nocm,i}$  – перемінні та постійні витрати на експлуатацію  $i$ -тої марки транспортного засобу відповідно;  $\bar{N}_{ai}$  – потрібна кількість транспортних засобів  $i$ -тої марки;  $T_n$  – тривалість розрахункового

періоду.

Наступний етап алгоритму – формування множини конкурентоспроможних маршрутів. Кращі результати функціонування маршрутної мережі досягаються при формуванні маршрутів з урахуванням найкоротшого шляху між кінцевими пунктами за умови раціонального розподілу транспортних засобів між маршрутами. Однак, така однозначність веде до невиправданого звуження множини конкурентоспроможних маршрутів. Існує певна похибка при формуванні топологічної схеми міста, що виникає через помилки при вимірюванні довжини ділянок вулично-дорожньої мережі. Крім того, певна неточність відображення об'єктів закладена у самій природі топологічної схеми як моделі внаслідок деякого спрощення транспортної системи міста. У зв'язку з цим передбачена можливість розширення множини конкурентоспроможних маршрутів за рахунок включення до їх кількості маршрутів, довжина яких перевищує найкоротший шлях між кінцевими пунктами не більше ніж у  $\Delta$  разів (1,05–1,20) від найкоротшого шляху [28].

До множини конкурентоспроможних маршрутів, що формується, включаються всі маршрути, які відповідають таким обмеженням:

1. Довжина маршруту ( $L_m$ ) повинна знаходитися в технологічно припустимих межах, тобто  $L_{min} \leq L_m \leq L_{max}$ .

2. Кінцеві зупинні пункти маршрутів мають належати множині транспортних районів, в яких дозволена організація кінцевих зупинних пунктів відповідного виду міського пасажирського транспорту.

3. Довжина маршруту не повинна перевищувати найкоротший шлях між кінцевими зупинними пунктами ( $L_{kn}$ ) більше ніж на заздалегідь визначену величину, тобто  $L_m \leq L_{kn}\Delta$ .

Перше обмеження продиктоване труднощами організації роботи на занадто коротких і довгих маршрутах, однак воно не є незмінним. Величини  $L_m$  можуть змінюватися у досить широких межах від 0 до кількох десятків кілометрів.

Друге обмеження пояснюється тим, що в реальних умовах міста

практично неможлива організація кіл маршрутів електричного транспорту у всіх транспортних районах або вузлах через недостатню кількість площ. Тому на кількість кінцевих зупинних пунктів накладене обмеження. Вибір раціонального сполучення кіл є одним із засобів формування раціональної маршрутної мережі.

Структурна схема алгоритму формування множини конкурентоспроможних маршрутів наведена на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Структурна схема алгоритму формування множини конкурентоздатних маршрутів

Після формування первинного варіанту множини конкурентоспроможних маршрутів може виявитися, що не всі транспортні райони і ділянки вулично-дорожньої мережі, по яких прокладено маршрути існуючої мережі, будуть охоплені маршрутами. Така ситуація визначається конфігурацією транспортної мережі та розташуванням кінцевих зупинних пунктів. У цьому випадку виконання розрахунків припиняється з видачею відповідного скорочення, і проектувальник повинен внести необхідні корективи у вихідні дані.

Існує кілька способів усунення зазначеного недоліку. Найбільш перспективним є цілеспрямований підбір сполучень між кінцевими зупинними пунктами маршрутів з метою зміни кількості конкурентоспроможних маршрутів. При виборі кінцевих зупинних пунктів існує обмеження лише на їх кількість (організація кінцевих зупинних пунктів можлива в будь-якому

транспортному районі або вузлі топологічної схеми).

Другим способом (що однак дає незначні результати) є зміна обмеження на оптимальну довжину маршруту, що дозволяє організувати коротші маршрути, існування яких, незважаючи на технологічні труднощі, виправдане виконанням обмежень на транспортне обслуговування населення. Цей спосіб не погіршує значення цільової функції.

Третім способом є збільшення значення величини  $\Delta$ , що дає змогу значно розширити множину конкурентоспроможних маршрутів за рахунок призначення довших маршрутів між кінцевими зупинними пунктами. Цей спосіб досить простий, однак він означає певне відхилення від поставленої мети і обумовлює погіршення значення цільової функції.

Після формування множини конкурентоспроможних маршрутів, що відповідає всім описаним вище обмеженням, виконується розрахунок пасажиропотоків по маршрутній мережі міста.

Розподіл пасажиропотоків по маршрутній мережі міста. Визначення пасажиропотоків на маршрутній мережі міського пасажирського транспорту є необхідним елементом транспортного планування і багато в чому визначає точність одержаних результатів. У той же час, ця задача є найбільш трудомісткою з погляду кількості обчислень, тому що імовірність вибору пасажиром шляху проходження залежить від багатьох факторів. При формуванні нової маршрутної мережі використовується поетапна процедура визначення пасажиропотоків, першим етапом якої є розподіл пасажиропотоків по маршрутній мережі міста в матричній формі [28].

Результатом виконання описаної процедури є матриця маршрутних кореспонденцій, складена на основі врахування кількості пасажирів, що виконують маршрутну поїздку між відповідними районами в розглянутий період часу.

При розрахунку часу повідомлення визначаються найкоротші шляхи проходження між районами –  $\varepsilon$ . Величина  $\varepsilon$  приймається рівною 1,25, тобто розглядаються тільки ті шляхи з  $i$  в  $j$ , час проходження по яких відрізняється від

мінімально можливого не більше ніж на 25 %. Імовірність вибору пасажиром того або іншого шляху визначається із залежності [28]:

$$P_i = \frac{1,25 \cdot t_{\min} - t_i}{\sum_i^m 1,25 \cdot t_{\min} - t_i}, \quad (3.3)$$

де  $m$  – кількість альтернативних варіантів шляху проходження;  $t_i$  – час пересування по  $i$ -тому шляху;  $t_{\min}$  – мінімальний час поїздки з  $i$  в  $j$ .

У результаті формується матриця маршрутних поїздок, у якій фігурують лише безпересадочні поїздки. Ця матриця є вихідною інформацією для формування раціональної маршрутної мережі.

Розподіл кореспонденцій і транспортних засобів між маршрутами. Задача формування раціональної маршрутної мережі полягає у виборі такого сполучення потужностей міських маршрутів, при яких забезпечується досягнення найкращого значення за критерієм критерію оптимізації.

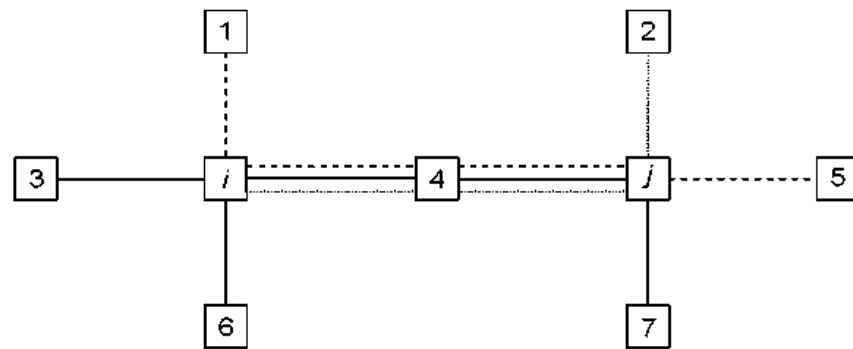
Для визначення значення критерію, що відповідає поточному варіанту маршрутної мережі, спочатку потрібно розрахувати параметри кожного маршруту, тобто марку і потрібну кількість транспортних засобів, що залежать від максимального пасажиропотоку на маршруті. У свою чергу, імовірність вибору пасажиром того або іншого маршруту, а отже і пасажиропотоки на ньому, є функцією від частоти руху транспортних засобів. Для розв'язання цієї невизначеності на даному етапі застосовується ітеративна процедура, на першому кроці якої інтенсивність руху транспорту на всіх маршрутах вважається однаковою, і визначаються відповідні пасажиропотоки на маршрутах. На цій підставі розраховуються нові значення видів і кількості транспортних засобів на маршрутах, що служать основою для виконання наступного етапу розрахунків. Максимально за три кроки досягається бажана точність розрахунків, за якої наступний крок не дає змін у пропускній здатності маршрутів.

При розрахунку пасажиропотоків на маршрутах використовується імовірнісний підхід до визначення кількості пасажирів, що користуються  $k$ -тим маршрутом  $h_{ijk}$ , при здійсненні поїздки із  $i$  в  $j$ :

$$h_{ijk} = h_{ij} \cdot P_{ijk}, \quad (3.4)$$

де  $P_{ijk}$  – імовірність використання  $k$ -того маршруту при поїздки з  $i$  в  $j$ .

Для пояснення механізму визначення  $P_{ijk}$  розглянемо фрагмент маршрутної мережі (рис. 3.6).



— — маршрут 1; ----- — маршрут 2; ..... — маршрут 3

Рис. 3.6. Фрагмент маршрутної мережі

У цьому випадку імовірність вибору відповідно 1, 2 і 3-го маршруту для пари транспортних районів  $i$  та  $j$  буде визначатися за такими залежностями:

$$P_{ij1} = \frac{I_1}{I_1 + I_2 + I_3}, P_{ij2} = \frac{I_2}{I_1 + I_2 + I_3}, P_{ij3} = \frac{I_3}{I_1 + I_2 + I_3}, \quad (3.5)$$

де  $I_1, I_2, I_3$  – відповідно інтенсивність руху на маршрутах 1, 2, 3, од./год.

Результатом виконання описаної процедури є раціональний розподіл рухомого складу по маршрутах, що дає досить повну інформацію для виконання наступного етапу розрахунків.

Далі необхідно перейти до обґрунтування рекомендацій щодо підвищення надійності функціонування транспортної мережі, що досягається шляхом врахування фактору ризику.

### **3.2 Моделювання маршрутної мережі з урахуванням фактору відмови в роботі**

У результаті проведення розрахунків за приведеною вище методикою отримується базовий варіант маршрутної мережі. Наступним етапом є формування раціональної маршрутної мережі міського пасажирського транспорту із множини конкурентоспроможних маршрутів. У тому випадку, якщо розглядалася вся сукупність конкурентоспроможних маршрутів, процес формування раціональної маршрутної мережі ще не закінчений, тому що значна частина маршрутів після розподілу транспортних засобів між усіма конкурентоспроможними маршрутами не відповідає вимогам щодо потужності маршрутів. Результати такого розрахунку є базовими і повинні бути збережені, тому що раціональною буде вважатися та маршрутна мережа, значення критерію ефективності якої як мінімум на 10 % менше від базового рівня [28].

Тому для формування остаточного варіанту раціональної маршрутної мережі проводиться ліквідація маршрутів, що отримали недостатню або занадто високу кількість транспортних засобів, за вимогою дотримання раціонального значення інтервалу руху [1]:  $J_{\min} \leq J_1 \leq J_{\max}$ , де  $J_1$  – раціональне значення.

При ліквідації маршрутів із множини конкурентоспроможних, має враховуватися також коефіцієнт заповнення салону транспортних засобів, що характеризує ефективність його використання і ступінь дублювання маршрутів, що у деяких випадках може істотно вплинути на ефективність мережі. Маршрути, при виключенні яких порушуються обмеження щодо повного транспортного обслуговування населення міста, залишаються в маршрутній мережі, навіть якщо не виконується ця умова [28].

Виключення і включення маршрутів у їх раціональну сукупність виконується (із подальшим розрахунком потужностей маршрутів і показників роботи маршрутної мережі) доти, доки не буде досягнуте бажане значення критерію ефективності. Отриманий варіант маршрутної мережі є остаточним і має бути зафіксований [28].

До основних показників, що характеризують ефективність функціонування міської пасажирської транспортної мережі, можна віднести економічні і техніко-експлуатаційні. До першої групи слід віднести доходи системи, витрати системи, прибуток системи, обсяг доплат системи. До техніко-експлуатаційних показників варто віднести час очікування пасажирами транспортного засобу, час поїздки в транспортному засобі, коефіцієнт пересадності зміни маршруту, рівень заповнення салону.

Доходи системи можуть бути визначені як сума добутків обсягів перевезень за період та тариф для даного маршруту [28, 31, 32]:

$$D = \sum_{i=1}^n Q_i T_i, \quad (3.6)$$

де  $D$  – доходи МПТС за розрахунковий період, грн;  $Q$  – об'єм перевезень на маршруті за період, пас.;  $T$  – тариф на маршруті, грн;  $n$  – кількість маршрутів у мережі МПТС.

Витрати МПТС можуть бути визначені з використанням значень постійних та змінних витрат, довжини маршрутної мережі та експлуатаційної швидкості рухомого складу [28, 31, 32]:

$$B = \sum_{i=1}^n \left( T_{нік} \cdot A^j \left( C_{змін}^j \cdot L_i + C_{пост}^j \cdot \frac{L_i}{V_e} \right) \right), \quad (3.7)$$

де  $B$  – витрати МПТС за розрахунковий період, грн;  $C_{змін}^j$  – змінні витрати для  $j$ -



тої марки ТЗ, що експлуатується на маршруті, грн/км;  $C_{ном}^j$  – постійні витрати для  $j$ -тої марки ТЗ, що експлуатується на маршруті, грн./год;  $L_m$  – довжина маршруту, км;  $A^j$  – кількість ТЗ  $j$ -тої марки на маршруті;  $T_{пик}$  – тривалість розрахункового періоду, год.

Прибуток системи може бути визначений як різниця між доходами та витратами [28, 31, 32]:

$$\begin{cases} \Pi = 0 & \text{при } \mathcal{D} - B \leq 0 \\ \Pi = \mathcal{D} - B & \text{при } \mathcal{D} - B > 0 \end{cases}, \quad (3.8)$$

Обсяг доплат МПТС визначається за умови, що витрати системи не повинні перевищувати доходи. У випадку, якщо це так, необхідно поповнювати доходну частину за рахунок доплат з бюджету [28, 31, 32]:

$$\begin{cases} \mathcal{D} = 0 & \text{при } \mathcal{D} - B \geq 0 \\ \mathcal{D} = -\mathcal{D} - B & \text{при } \mathcal{D} - B > 0 \end{cases}, \quad (3.9)$$

де  $\mathcal{D}$  – обсяг доплат МПТС за розрахунковий період, грн.

Час очікування пасажирами транспортного засобу визначається із залежності [28, 31, 32]:  $t_{оч} = \frac{I}{2}$ , де  $t_{оч}$  – час очікування, хв;  $I$  – інтервал руху ТЗ на маршруті, хв.

Середній час очікування пасажирами транспортного засобу визначається як середньозважене значення із залежності [28, 31, 32]:

$$t_{оч} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{оч} \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (3.10)$$

де  $t_{оч}$  – середній час очікування, хв;  $Q$  – об'єм перевезень на маршруті за

період, пас.;  $n$  – кількість маршрутів у мережі МПТС.

Середній час поїздки у транспортному засобі на маршрутах, які входять до мережі міської транспортної системи [28, 31, 32]:

$$\bar{t}_{\text{позд.}} = 60 \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij} L_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij} V_e} \quad (3.11)$$

Коефіцієнт пересадності визначається за залежністю [28, 31, 32]:

$$K_{\text{пер}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij}} \quad (3.12)$$

Середній рівень заповнення салону транспортного засобу, який характеризує кількість пасажирів, що припадає на один квадратний метр площі салону, визначаємо за формулою [28, 31, 32]:

$$q\gamma_{\text{д}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij}}{\sum_{x=1}^R A_x V_{xe} S_x T_{\text{ник}}} \quad (3.13)$$

де  $q\gamma_{\text{д}}$  – середнє значення рівня заповнення салону, пас./м<sup>2</sup>;  $S$  – площа салону транспортного засобу, м<sup>2</sup>.

Розрахунок інтегральних показників дозволяє оцінити рівень ефективності функціонування маршрутної мережі МПТС. Сформована раціональна маршрутна мережа включає: матрицю найкоротших відстаней, матрицю маршрутних кореспонденцій, параметри роботи маршрутів (рис. 3.7) та результати роботи маршрутної мережі (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

## Приклад результатів роботи маршрутної мережі

№	Показники роботи	Значення
1	Кількість транспортних районів	65
2	Допустиме відхилення трас маршрутів	1,05
3	Загальна кількість маршрутів у мережі	30
4	Критерій ефективності мережі, у. о.	4617
5	Середній час очікування транспорту, хв	2,93
6	Середній час поїздки у транспорті, хв	9,40
7	Коефіцієнт пересадності	1,31
8	Коефіцієнт нерівномірності потоків	1,54
9	Коефіцієнт заповнення салону	0,53
10	Загальна кількість пересувань пасажирів, пас.	17 204
11	Обсяг перевезень за період, пас.	22 471
12	Середня відстань поїздки, км	3,13
13	Загальна протяжність маршрутів	243,1
14	Потрібна кількість транспортних засобів $q_{\text{потр.}} = 10/13$ пас.	74
	$q_{\text{потр.}} = 45$ пас.	82
	$q_{\text{потр.}} = 60$ пас.	35
	$q_{\text{потр.}} = 90$ пас.	7
	$q_{\text{потр.}} = 110$ пас.	37
	$q_{\text{потр.}} = 150$ пас.	0

Отримані результати роботи маршрутної мережі за визначеною потрібною кількістю та місткістю ТЗ дають можливість визначити їх вид та марку. Пасажиромісткість ТЗ визначається на підставі максимального пасажиропотоку на ділянках маршрутної мережі й рекомендованого типу транспортних засобів для цього значення пасажиропотоку (табл. 3.4, 3.5).

Таблиця 3.4

## Класи місткості транспортних засобів [29, 30]

Класи місткості	Габаритна довжина, м	Міські перевезення		
		Місця для сидіння	Місця для проїзду стоячи	Усього
I	до 5	10	-	10
II	від 6 до 7,5	18 – 22	10 – 15	28 – 37
III	від 8 до 9,5	20 – 25	30 – 35	50 – 60
IV	від 10 до 12	25 – 35	55 – 75	80 – 110
V	16,5 і більше	35 – 45	86 – 100	120 і більше

Таблиця 3.5

Раціональна пасажиромісткість транспортних засобів відповідно до  
пасажиропотоків [29, 30]

Пасажиропотік, пас./рік	Загальна місткість ТЗ, пас.	Класи місткості	Типовий вид, марка ТЗ	Ймовірність затору на маршруті $P_{затору}$
200 – 1000	40	II,III	<b>Автобус:</b> Богдан, БАЗ та ін.	Рух у загальному потоці 0,15....0,20
1000 – 1800	65	III,IV	<b>Автобус:</b> Богдан, БАЗ та ін.	Рух у загальному потоці 0,15....0,20
1800 – 2600	80	IV	<b>Автобус:</b> Богдан, БАЗ, ЛіАЗ, КАВЗ 4239 та ін. <b>Тролейбус:</b> ЗИУ-682; ЛАЗ-Е183	Рух у загальному потоці 0,15....0,20
2600 – 3800	110	IV,V	<b>Автобус* :</b> ЛіАЗ 525646, КАВЗ, МАЗ та ін. <b>Тролейбус:</b> ROCAR- Е217; ЗИУ-682; ЛАЗ- Е183 <b>Трамвай:</b> ТЗ-ВПА Tatra-T3SU	Рух у загальному потоці 0,15....0,20  Відокремлений рух 0,03....0,05
3800 і більше	180	V	<b>Автобус* :</b> ЛиАЗ 6212 та ін. <b>Тролейбус:</b> ROCAR-Е217; ЛАЗ- Е301D1 <b>Трамвай:</b> Tatra-T6B5 КТМ-19 (71-619)	Рух у загальному потоці 0,15....0,20  Відокремлений рух 0,03....0,05

\* Слід зауважити, що мобільність автобусів дозволяє організовувати автобусні маршрути при великих потужностях пасажиропотоків, незважаючи на труднощі транспортного сполучення навіть із найвіддаленішими районами міста, при цьому організація маршрутів міського електричного транспорту потребує сталих пасажиропотоків великих потужностей та розвинених транспортних шляхів сполучення.

При формуванні маршрутної мережі міського електричного транспорту слід зважати на імовірність затору на маршруті (табл. 3.5), яка для трамваїв з відокремленим рухом буде значно нижчою, ніж при русі у загальному потоці. Тобто, при значних ймовірностях заторів привабливість має рельсовий міський

пасажирський транспорт із відокремленим рухом мережею міста відносно інших його учасників.

Сформуємо систему моделей для визначення ймовірності відмови в роботі маршруту міського електричного транспорту. Перша складова – ймовірність відмови в роботі маршруту внаслідок відмови транспортного засобу.

Припустимо, що на маршруті працює  $n$  трамваїв, при відмові однієї одиниці робота маршруту зупиняється. Маршрут працює, якщо всі транспортні засоби працюють (подія  $T$ ), та припиняє свою роботу, якщо настане хоча б одна подія  $T_i$  (аварія чи поломка  $i$ -того транспортного засобу), при цьому події  $T_i$  у сукупності є незалежними.

Ймовірність відмови (аварії)  $i$ -того транспортного засобу становить:

$P(T_i) = p_i$ , де  $p_i$  – ймовірність відмови (аварії)  $i$ -того транспортного засобу.

Ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -того транспортного засобу становить:

$$P(\bar{T}_i) = 1 - p_i = q_i \quad (3.14)$$

де  $q_i$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -того транспортного засобу. Ймовірність зупинки роботи маршруту становить:

$$P(A) = 1 - P(\bar{T}) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (3.15)$$

де  $n$  – кількість транспортних засобів на маршруті.

Якщо на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови  $p_i = p$ , то ймовірність відмови маршруту можна визначити таким чином:

$$P(A) = 1 - (1 - p)^n \quad (3.16)$$

Слід зазначити, що імовірність події «один транспортний засіб не працює, інші працюють» можна визначити за формулою:

$$P(B_i) = p_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - p_j) \quad (3.17)$$

з подальшим пошуком імовірності появи тільки однієї події, що описується таким чином:

$$P\left(\sum_{i=1}^n B_i\right) = \sum_{i=1}^n p_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - p_j) \quad (3.18)$$

Розглянемо ситуацію, коли на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови  $p_i = p$  (3.23), при цьому розглянемо маршрути з  $n = 5, \dots, 10$  одиниць рухомого складу. Розрахунки представлені в табл. 3.6 та на рис. 3.7.

Таблиця 3.6

## Імовірності відмови в роботі маршруту

Імовірність відмови (аварії) $i$ -того ТЗ, $p_i$	Кількість транспортних засобів на маршруті					
	5	6	7	8	9	10
0,100	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,65
0,120	0,47	0,54	0,59	0,64	0,68	0,72
0,140	0,53	0,60	0,65	0,70	0,74	0,78
0,160	0,58	0,65	0,70	0,75	0,79	0,83
0,180	0,63	0,70	0,75	0,80	0,83	0,86
0,200	0,67	0,74	0,79	0,83	0,87	0,89
0,220	0,71	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92
0,240	0,75	0,81	0,85	0,89	0,92	0,94
0,260	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95
0,280	0,81	0,86	0,90	0,93	0,95	0,96
0,300	0,83	0,88	0,92	0,94	0,96	0,97
0,320	0,85	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98
0,340	0,87	0,92	0,95	0,96	0,98	0,98
0,360	0,89	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99
0,380	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99
0,400	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99
0,420	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00

0,440	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
0,460	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,480	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,500	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00
0,520	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,540	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,560	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,580	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,600	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,620	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,640	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,660	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,680	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,720	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

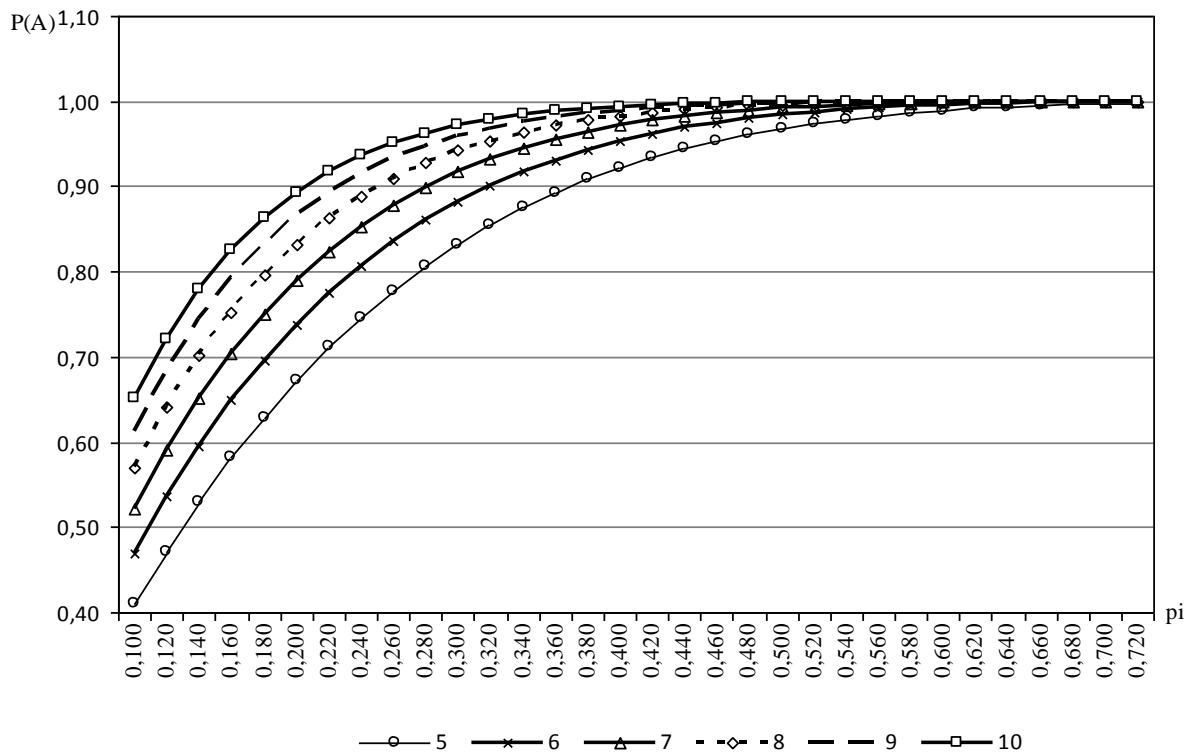


Рис. 3.7. Імовірності відмови в роботі маршруту при різній кількості транспортних засобів на маршруті

Друга складова – імовірність відмови в роботі маршруту з урахуванням імовірності затору на маршруті. При такому випадку імовірність зупинки роботи маршруту можна визначити як:

$$P_{\text{відмови}} = 1 - P_{\text{затору}} \prod_{i=1}^n q_i = 1 - P_{\text{затору}} \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \tag{3.19}$$

де  $n$  – кількість транспортних засобів на маршруті;  $P_{затору}$  – імовірність виникнення затору на маршруті.

Якщо на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови  $p_i = p$ , то імовірність відмови маршруту можна визначити таким чином:

$$P(A) = 1 - (1 - P_{затору})(1 - p)^n. \quad (3.20)$$

Виходячи з табл. 3.6, приймаємо імовірність затору на трамвайному маршруті з відокремленим рухом рівною 0,05.

Розглянемо ситуацію, коли на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови  $p_i = p$  (3.20), при цьому розглянемо маршрути з  $n = 5, \dots, 10$  одиниць рухомого складу. Розрахунки наведені в табл. 3.7 та на рис. 3.8.

Таблиця 3.7

Імовірності відмови в роботі маршруту з урахуванням імовірності затору, коли

$$P_{затору} = 0,05$$

Імовірність відмови (аварії) $i$ -того транспортного засобу, $p_i$	Кількість транспортних засобів на маршруті					
	5	6	7	8	9	10
0,100	0,44	0,50	0,55	0,59	0,63	0,67
0,120	0,50	0,56	0,61	0,66	0,70	0,74
0,140	0,55	0,62	0,67	0,72	0,76	0,79
0,160	0,60	0,67	0,72	0,76	0,80	0,83
0,180	0,65	0,71	0,76	0,81	0,84	0,87
0,200	0,69	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
0,220	0,73	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92
0,240	0,76	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94
0,260	0,79	0,84	0,88	0,91	0,94	0,95
0,280	0,82	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96
0,300	0,84	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97
0,320	0,86	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98
0,340	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99
0,360	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99
0,380	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99



0,400	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
0,420	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00
0,440	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
0,460	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,480	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,500	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,520	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,540	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,560	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,580	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,600	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,620	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,640	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,660	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,680	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,720	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

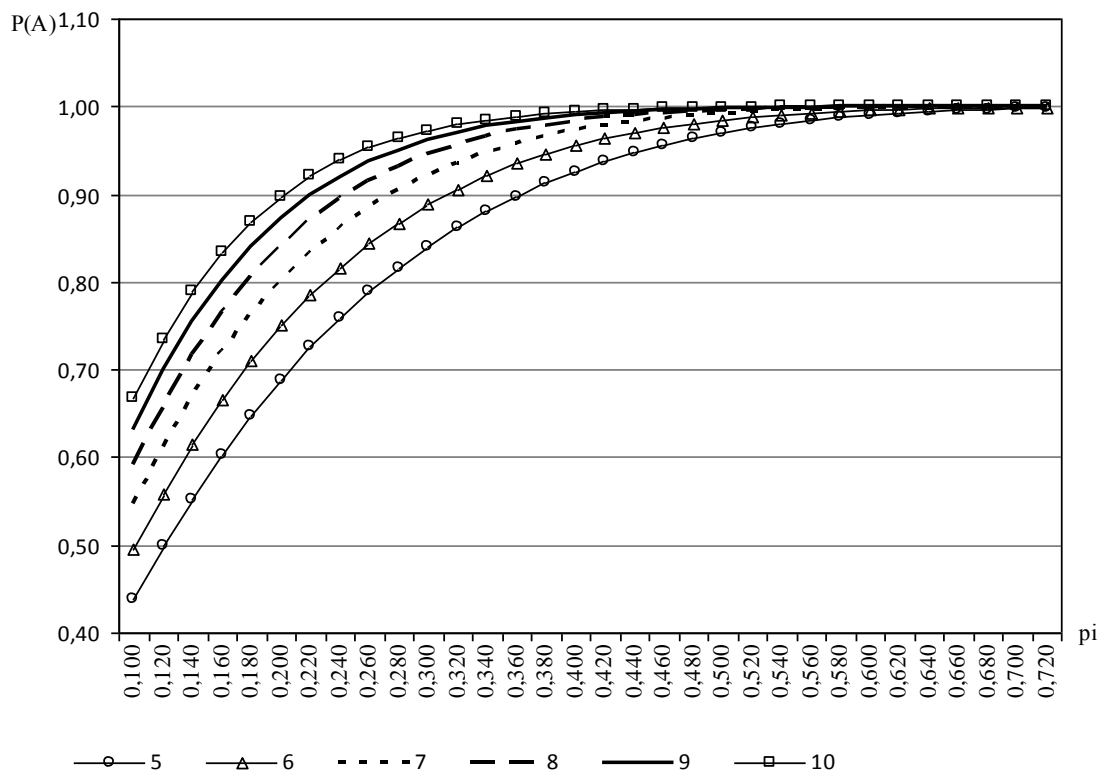


Рис. 3.8. Імовірності відмови в роботі маршруту з урахуванням імовірності затору, коли  $P_{затору} = 0,05$

У доповнення до моделей і оцінок «відмов на маршруті» виконаємо інформаційно-аналітичне моделювання компенсаційних заходів на стабілізацію транспортних потоків у місті.

Сьогодні, коли майже весь парк транспортних засобів зносився, підприємства не можуть його утримувати в належному стані. Усе частіше виходить з ладу рухомий склад, який необхідно було зняти з експлуатації, що створює на автошляхах загрози серйозних аварій. Критеріями оцінки ресурсу транспорту може бути вік і пробіг, що він здійснив.

Наприклад, ресурс автобуса дорівнює 10 рокам експлуатації і пробігу в 500 тис. км. Отже, економічна безпека підприємств буде залежати від оновлення транспортних засобів і частини обладнання для проведення різних видів ремонтів.

Зараз значна кількість пасажирів у містах України та на міжміських маршрутах перевозиться трамваями і тролейбусами, а також мікроавтобусами різних зарубіжних фірм. Ресурс останніх визначити досить складно. Ці мікроавтобуси належать приватним особам, і їх технічний стан, ресурс, техногенну та екологічну безпеку перевіряє Державна автомобільна інспекція (ДАІ). Однак, певну характеристику проблеми підвищення надійності МЕТ можна визначити.

Приймемо, що:

$M$  – кількість пасажирів, перевезених за зміну;

$T$  – тривалість зміни (год.);

$N$  – кількість одиниць рухомого складу на маршруті;

$n$  – кількість одиниць відмови;

$n_1$  – кількість одиниць з резерву;

$k$  – коефіцієнт запасу;

$s$  – довжина маршруту (км);

$t$  – час проходження маршруту одиницею рухомого складу;

$v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$  – середня швидкість на маршруті (км/год.);

$s_i$  – довжина ділянки між зупинками;

$t_i$  – час проходження ділянки;

$\frac{t}{N}$  – інтервал часу між одиницями рухомого складу на маршруті;

$\frac{M}{N}$  – кількість пасажирів, що перевозяться однією одиницею за зміну;

$\frac{M}{N-n}$  – кількість пасажирів, що перевозяться однією одиницею за зміну

при відмові ( $> \frac{M}{N}$ )

$\frac{M}{N-n \cdot \bar{k}}$  – кількість пасажирів, що перевозяться однією одиницею за зміну

при відмові з урахуванням коефіцієнту запасу.

Якщо  $\frac{M}{N} < \frac{M}{N-n \cdot \bar{k}}$ , то відмова не ліквідована.

Вживаються такі заходи:

1) виведення із резерву  $n_1$  одиниць рухомого складу.

Якщо  $\frac{M}{N} < \frac{M}{N-n+n_1 \cdot \bar{k}}$ ,

2) то скорочення частини маршруту:  $s \rightarrow s_1$  (де  $s_1$  – довжина скороченого маршруту,  $t_1$  – час проходження скороченого маршруту одиницею рухомого складу) при збереженні середньої швидкості руху одиниці рухомого складу ( $v_{cp} = v_{cp1}$ ) та інтервалу часу між ними

$$\left( \frac{t}{N} = \frac{t_1}{N_1}, N_1 = N - n + n_1 \cdot \bar{k} \right):$$

$$\begin{aligned} s &= v_{cp} \cdot t \\ s_1 &= v_{cp} \cdot t_1 \Rightarrow \frac{s}{s_1} = \frac{t}{t_1} = \frac{N}{N_1} = p \Rightarrow N = N_1 \cdot p \end{aligned}$$

де  $p$  – коефіцієнт підвищення ефективності перевезень за рахунок скорочення протяжності маршруту.

Якщо  $\frac{M}{N} < \frac{M}{N-n+n_1 \cdot \bar{k} \cdot p}$ ,

1) то скорочення часу проходження скороченого маршруту одиницею рухомого складу:  $t_1 \rightarrow t_1^*$  (де  $t_1^*$  – скорочений час проходження скороченого маршруту одиницею рухомого складу (за рахунок скорочення часу простою на зупинках, часу розгону-гальмування, максимального використання по

можливості виділеної смуги для руху міського транспорту і таким чином скорочення часу простою у пробках, на світлофорах тощо), тобто збільшення середньої швидкості руху одиниць рухомого складу ( $v_{cp1} < v_{cp1}^*$ ) і збереження інтервалу часу між одиницями рухомого складу

$$\left( \frac{t_1}{N_1} = \frac{t_1^*}{N_1^*}, N_1^* = N - n + n_1 \cdot \bar{k} \cdot p \right) \quad \frac{t_1}{t_1^*} = \frac{N_1}{N_1^*} = q \Rightarrow N_1 = N_1^* \cdot q$$

де  $q$  – коефіцієнт підвищення ефективності перевезень за рахунок збільшення середньої швидкості руху одиниць рухомого складу (чи за рахунок скорочення часу проходження маршруту одиницею рухомого складу).

Якщо  $\frac{M}{N} \geq \frac{M}{N - n + n_1 \cdot \bar{k} \cdot p \cdot q}$ , то задача перевезення  $M$  пасажирів за зміну виконана.

Для більш повного уявлення про функціонування транспортних мереж в умовах ризику, далі будуть наведені авторські рекомендації, що стосуються визначення ймовірності роботи транспортних мереж для визначення та підвищення рівня надійності їх роботи.

### 3.3 Визначення ймовірності відмови транспортних мереж для оцінки надійності їх роботи

Визначаємо задачу виявлення та усунення небажаних ситуацій в роботі МЕТ. Її можна сформулювати як аналіз надійності систем диспетчеризації транспортного комплексу та техніко-економічні аспекти зниження ризику системних помилок в їх роботі.

Відповідно до теорії ризику можна навести таку спрощену формулу його визначення:

$$R \approx \frac{n}{N}, \quad (3.21)$$

де  $R(t)$  – це ризик небажаної події протягом певного часу;  $t$ ;  $N$  – загальна кількість подій;  $n$  – кількість небажаних подій.

При такому підході можливі класичні варіанти управління ризиком: техніко-економічний; законодавчо-адміністративний; управлінський та ін.

При цьому технічний варіант управління ризиком з метою його зменшення передбачає загальне підвищення надійності системи для недопущення кризової ситуації, тобто, у нашому випадку, відмови, яку транспортне підприємство не здатне ліквідувати власними силами. Окремо розглянемо інтервали часу з моменту виникнення аварії до моменту отримання повідомлення про неї від диспетчерського вузла (системи моніторингу), а також типові параметри аварійних ситуацій за часом їх дестабілізуючого впливу на нормальну роботу транспортного комплексу міста. Наведемо формулу для визначення часу дії таких небезпечних чинників, протягом якого можливий зрив (перешкоди) у роботі транспортної системи ( $T_{НЧ}$ ):

$$T_{НЧ} = t_{роз.} + t_{кр.} + t_n, \quad (3.22)$$

де  $t_{роз.}$  – проміжок часу від моменту виникнення аварії до моменту надходження повідомлення про неї до диспетчерського вузла;  $t_{кр.}$  – проміжок часу, протягом якого рівень сталої роботи всього транспортного комплексу є критичним, що наприкінці цього проміжку призводить до ліквідації наслідків аварії;  $t_n$  – проміжок часу від моменту аварії та моменту повідомлення про неї до диспетчерської системи моніторингу до моменту направлення ремонтної бригади.

Ці проміжки часу значною мірою залежать від людського фактору (швидкості інформування про аварію) та оперативності системи диспетчеризації, а саме: чутливості; швидкості реагування; порогу налаштування; безвідмовності тощо.

При цьому система диспетчеризації повинна бути налаштована таким чином, щоб оповіщення про аварію надходило з такою швидкістю, коли ще

можливе швидке реагування на розвиток аварії на початковому її етапі. Тобто час повідомлення про аварію  $t_n$  не повинен перевищувати часу входу аварії у небезпечну фазу, що вплине на роботу всього транспортного комплексу міста (принаймні значної його частини).

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває задача постійного підвищення надійності систем диспетчеризації, яка визначається як імовірність безвідмовної роботи транспортної системи. При цьому важливим і досить складним завданням є отримання вихідних даних для розрахунку надійності систем диспетчеризації, головною метою якої є моніторинг сталої роботи всього ТК.

Складність цього завдання пов'язана з тим, що методи, які використовуються для його вирішення, мають відповідати низці критеріїв. Зокрема, такі методи повинні забезпечити можливість отримання необхідних для розрахунку надійності достовірних вихідних даних за короткий відрізок часу та з мінімальними матеріальними витратами.

Одним із чинників, що суттєво впливають на надійність роботи системи диспетчеризації, є ступінь фізичного зносу її технічної складової. Виходячи з цього, кількісна оцінка надійності системи диспетчеризації може базуватися на розрахунках цього ступеня.

Для розрахунку ступеня фізичного зносу системи диспетчеризації застосовують різні методи: за обсягом виконаних робіт, за терміном служби, з урахуванням людського фактора та їх комбінації. Кожний із названих методів має переваги і недоліки, що робить доцільним застосування тих або інших методів у певних умовах. Так, ступінь фізичного зносу за обсягом виконаних робіт відповідно до типових методик визначається за формулою:

$$C_z = \frac{T_\phi \Pi_\phi}{T_n \Pi_n} 100, \quad (3.23)$$

де  $C_z$  – ступінь фізичного зносу, %;  $T_\phi$  – фактичний термін служби системи,

років;  $T_n$  – нормативний термін служби, що встановлюється на основі даних технічного паспорта системи, років;  $P_\phi$  – фактична продуктивність системи;  $P_n$  – нормативна продуктивність, встановлена за технічним паспортом системи.

Однак цей параметр характерний не для всіх технічних систем. Універсальним, найбільш простим і поширеним методом визначення ступеня фізичного зносу, що застосовується до всіх технічних систем без винятку, в тому числі і для систем диспетчеризації, є метод терміну служби. Відповідно до цього методу ступінь фізичного зносу ( $C_3$ ) може бути розрахований за такою формулою:

$$C_3 = \frac{T_\phi}{T_n} 100. \quad (3.24)$$

Розрахунок за цією формулою виходить із припущення, що фізичний знос системи відбувається рівномірно протягом усього терміну служби. Якщо фактичний термін служби системи перевищив нормативний, то ступінь її фізичного зносу визначається за формулою:

$$C_3 = \frac{T_\phi}{T_\phi + T_m} 100, \quad (3.25)$$

де  $T_m$  – можливий (наприклад, за експертними оцінками) термін служби, років.

Для розрахунку ступеня фізичного зносу системи можуть бути використані й інші розрахунки, наприклад за формулою:

$$C_3 = \frac{A}{O} 100, \quad (3.26)$$

де  $A$  – сума амортизаційних відрахувань, грн;  $O$  – вартість об'єкта, грн.

При визначенні вихідних даних для розрахунку надійності систем іноді використовують й інші методи, зокрема кореляційні, екстраполяційні тощо.

Кореляційні методи базуються на врахуванні впливу значущих факторів. Метод екстраполяції ґрунтується на поширенні на перспективу тенденцій, що мали місце у минулому. Однак, які б методи не використовувалися, отримані дані мають бути ретельно проаналізовані й оброблені з метою оцінки їх вірогідності та забезпечення порівнянності при використанні в подальших розрахунках. Так, наприклад, найбільш достовірну очікувану величину вихідних даних для розрахунку надійності технічних систем можна визначити за допомогою методу стандартного розподілу ймовірностей за формулою:

$$B_{оч} = \frac{B_o + 4B_n + B_p}{6}, \quad (3.27)$$

де  $B_{оч}$  – очікувана величина вихідного показника для розрахунку надійності системи;  $B_o$  – оптимістична величина цього показника, отримана експертним методом;  $B_n$  – найбільш імовірна величина показника, отримана експертним методом;  $B_p$  – песимістична величина показника, отримана експертним методом.

Застосування запропонованої вище методики дає можливість, виходячи з розрахунку ступеня фізичного зносу об'єктів, одержати достовірні дані для визначення надійності технічних систем без їх зупинення (або руйнування) з мінімальними витратами часу і коштів на ремонт та відновлення, а в кінцевому підсумку – матеріальних витрат.

Поліпшення якості роботи системи диспетчеризації, пов'язане з підвищенням її довговічності та надійності, досягається, як правило, збільшенням витрат на її модернізацію та утримання. Однак, не завжди зростання витрат і викликане цим підвищення вартості транспортної роботи можуть бути обґрунтованими й адекватними поліпшенню її якості. Отже, виникають проблеми оптимізації співвідношення «витрати – результат».

Шляхи зниження витрат на утримання транспортного комплексу на належному рівні дуже різноманітні. За своїм характером вони можуть бути



об'єднані в кілька груп: технічні, організаційні й економічні.

Технічні шляхи зниження витрат пов'язані з удосконаленням техніки і технології; організаційні – з поліпшенням організації управління та праці; економічні базуються на раціональному вирішенні різноманітних економічних проблем. Серед них важливе місце належить техніко-економічному обґрунтуванню витрат на підвищення якості транспортної роботи.

Варто підкреслити, що за критеріями рівня небезпеки і ризику, пов'язаними з експлуатацією, технічні системи, які застосовуються, доцільно розділити на дві основні категорії. До першої варто віднести системи, використання яких пов'язане з ризиком і небезпекою. До цих систем належать об'єкти, якість яких визначається вимогами техніки безпеки, екологічної безпеки тощо. Зрозуміло, що при створенні технічних систем, які належать до першої категорії, має бути забезпечена максимальна якість, тому що низька надійність і підвищений ризик при використанні таких систем може створити надзвичайні ситуації різного ступеня складності.

До другої категорії доцільно віднести всі інші технічні системи, робота яких пов'язана з меншим рівнем ризику і небезпеки, а наслідки їх ненадійної роботи не настільки небезпечні.

Характер і масштаби наслідків ненадійної роботи технічних систем цих двох груп непорівнянні, що дає достатньо підстав для їх розподілу на дві категорії. Запропонована класифікація дає змогу забезпечити більш кваліфіковане вирішення проблеми техніко-економічного обґрунтування зниження ризику експлуатації таких систем шляхом урахування специфіки їх використання, ступеня ризику, пов'язаного з їх роботою, а також характеру і масштабів наслідків відмов у процесі їх експлуатації.

Так, зокрема при обґрунтуванні витрат на підвищення якості технічних систем, що належать до другої категорії, достатньо обмежитися корегуванням витрат, викликаних їх виготовленням (експлуатацією), на коригуючий коефіцієнт, що враховує динаміку підвищення довговічності та надійності роботи системи, а також зниження ризику відмови при їх використанні. З цією

метою можна застосувати таку формулу:

$$P = B_{ст} K_{зня} B_n \quad (3.28)$$

де  $P$  – результат поліпшення якості технічної системи (підвищення її довговічності, надійності, зниження ризику відмови при експлуатації), грн;  $B_{ст}$  – витрати на поліпшення якості її роботи, грн;  $K_{зня}$  – коефіцієнт, що враховує зміну показників якості технічної системи;  $B_n$  – витрати на виробництво нового виробу поліпшеної якості, грн.

При цьому  $K_{зня}$  технічної системи, наприклад, за показником довговічності визначається формулою:

$$K_{зня} = \frac{D_n}{D_{ст}}, \quad (3.29)$$

де  $D_n$ ,  $D_{ст}$  – довговічність нової системи поліпшеної якості і старої технічної системи відповідно (термін служби системи), рік.

Однак, для техніко-економічного обґрунтування витрат на підвищення якості систем, які відносять до першої категорії, виконання тільки такого розрахунку недостатньо: не можна обмежитися врахуванням витрат, пов'язаних тільки з виготовленням саме технічної системи. Особливу увагу варто приділити врахуванню можливих витрат і втрат у суміжних сферах діяльності, що можуть виникнути в тому випадку, якщо в результаті ненадійної роботи системи не вдасться уникнути надзвичайної (непередбаченої, аварійної чи несприятливої) ситуації.

У даний час для оцінки якості різних технічних систем використовуються різноманітні одиничні показники, що характеризують одну з їх властивостей. Це вимагає застосування класифікації, яка передбачає такі групи одиничних показників якості: за призначенням; надійністю і довговічністю; технологічністю; ергономічністю; естетичністю; відповідністю стандартам;

економічністю; патентно-правовим забезпеченням тощо.

Для проведення аналізу дієздатності систем диспетчеризації на будь-якому транспортному підприємстві, що займається перевезенням пасажирів, безумовно, найважливішими є критерії надійності та довговічності. Потрібно також звернути увагу на такі показники, як технологічність та відповідність стандартам.

На наш погляд, необхідно удосконалити існуючу класифікацію одиничних показників якості та надійності (безвідмовності) на основі запропонованої класифікації технічних систем і з урахуванням специфіки техніко-економічного обґрунтування витрат на зниження ризику відмови. Для цього доцільно до групи показників надійності і довговічності віднести показники ризику відмови технічних систем. Особливо необхідне введення показників ризику для характеристики якості технічних систем, що належать до першої категорії запропонованої вище класифікації. Експлуатація таких систем пов'язана з надзвичайним ризиком і небезпекою як для людей, так і для рухомого складу.

Використання запропонованої класифікації технічних систем за критеріями рівня ризику і небезпеки, пов'язаними з експлуатацією, а також за характером наслідків ненадійної роботи цих систем, дає змогу уточнити систему показників для оцінки якості роботи транспортного підприємства та удосконалити методикау техніко-економічного обґрунтування витрат на підвищення надійності їх роботи і зниження ризику відмов.

Умовно визначимо три основні складові підвищення технічної надійності:

- оптимальний вибір складових системи міського транспорту;
- вчасне і якісне проведення обслуговування та ремонту;
- забезпечення безвідмовності роботи системи шляхом використання резерву.

Одним із основних показників надійності є кількість відмов пристроїв різних типів (конструкцій, систем) у процесі їх експлуатації. Разом із тим, цей показник є випадковою величиною. У зв'язку з цим актуальним є завдання

визначення відносної надійності пристроїв різних типів за кількістю відмов.

Нехай маємо  $N_1$  пристроїв першого типу і  $N_2$  пристроїв другого типу. У процесі штатної експлуатації за той самий проміжок часу число відмов серед пристроїв першого типу склало  $m_1$ , а серед пристроїв другого типу –  $k_2$ . Числа  $m_1$  і  $k_2$  порівняні тільки за умови, що  $N_1 = N_2$ . Якщо зазначена рівність не дотримується, то порівняння відмов пристроїв різних типів досягається шляхом використання частоти відмов:

$$\omega_1 = m_1 / N_1 \text{ і } \omega_2 = k_2 / N_2. \quad (3.30)$$

Частоти відмов (3.30) є випадковими величинами. Тому навіть при різних значеннях  $\omega_1$  і  $\omega_2$  надійність пристроїв може бути однаковою. У зв'язку з цим виникає задача про імовірність одержання значень частот відмов за умови однакової надійності пристроїв. Якщо в результаті розрахунків виявиться, що зареєстрована розбіжність в частотах має відносно велику імовірність, то в міру останньої можна вважати, що надійність обох типів пристроїв однакова. Якщо ж отримана розбіжність в частотах має незначну імовірність за умов гіпотези однакової надійності пристроїв, то в міру цієї імовірності можна вважати, що більш надійним є той пристрій, у якого частота відмов менша.

Для одержання зазначеної вище імовірності, виходячи з (3.31), введемо величину  $m_2$  порівняну з  $m_1$ . Різниця кількості приладів першого і другого типів виражається співвідношенням:

$$\Delta N = N_1 - N_2. \quad (3.31)$$

Не порушуючи спільності, будемо вважати, що  $\Delta N \geq 0$ . Тоді порівнянню з  $m_1$  величиною буде величина

$$m_2 = k_2 + \Delta N \omega_2. \quad (3.32)$$

Повне число відмов серед пристроїв першого і другого типів тепер слід вважати рівним  $n = m_1 + m_2$ .

Зазначимо, що імовірність помилки при процедурі, обумовленій рівностями (3.31) і (3.32), буде тим меншою, чим сильніше нерівність

$$N_2 > \Delta N \quad \text{і} \quad N_2 \gg 1. \quad (3.33)$$

Припустимо, що пристрої першого і другого типів мають однакову надійність. Це означає, що висувається гіпотеза реалізації такого рівняння:

$$\lim \omega_1 = m/N_1 = \lim \omega_2 = k_2/N_2 \quad (3.34)$$

при  $N_1$  та  $N_2 \rightarrow \infty$ . Внаслідок цього  $m_1$  та  $k_2$  також  $\rightarrow \infty$ . У співвідношенні (3.34) збіжність передбачається в імовірнісному сенсі, а не в математичному.

Згідно з (3.34), імовірність  $P(n, m_1)$  відмов  $m_1$  при заданому  $n$  повинна бути того ж порядку, що й імовірність  $P(m_1 = m_2)$  для випадку, коли дорівнює нулю різниця  $\Delta m = m_1 - m_2$  і відповідно рівні частоти  $\omega_1 = \omega_2$ . Якщо ж виявиться, що

$$P(n, m_1) \ll P(m_1 = m_2), \quad (3.35)$$

то імовірність виконання рівності (3.34) тим менша, чим більша нерівність (3.35). При цьому з огляду на нерівність (3.36) можна вважати, що більш надійним є той тип пристроїв, у якого частота відмов виявиться меншою.

Для одержання імовірності  $P(n, m_1)$  напишемо вирази для імовірності  $P_A(n, m_1)$  того, що певна подія  $A$  в результаті  $n$  незалежних іспитів з імовірністю  $P_A$  відбудеться  $m_1$  разів. Відносно прості міркування приводять до такого результату:

$$P_A(n, m_1) = C_n^{m_1} P_A^{m_1} q_A^{n-m_1}, \quad (3.36)$$

де  $C_n^{m_1} = \frac{n!}{m_1! (n - m_1)!}$  – число комбінацій з  $n$  по  $m_1$ , а  $q_A = 1 - P_A$  – імовірність того,

що подія  $A$  не відбудеться.

Формула (3.36) має простий зміст. Імовірність  $P_A(n, m_1)$  дорівнює числу подій  $C_n^{m_1}$ , якими можна  $m_1$  появ події  $A$  розмістити серед усіх  $n$  спроб, помножених на добуток ймовірностей  $P_A^{m_1}$  (того, що подія  $A$  відбудеться  $m_1$  разів) на  $q_A^{n - m_1}$  (того, що подія  $A$  не відбудеться  $n - m_1$  разів).

Назвемо спробою реєстрацію відмови будь-якого пристрою, а подією  $A$  – відмову пристрою першого типу. Припустимо, що прилади першого і другого типів мають однакову надійність. Тоді імовірність події  $A$  – того, що відмовляє прилад 1-го типу –  $P_A = \frac{1}{2}$ . Повне число зареєстрованих відмов (повне число іспитів) вважаємо рівним  $n$ , а число появ події  $A$  вважаємо рівним  $m_1$ . Тоді згідно з (3.36) для визначення імовірності маємо таке співвідношення:

$$P_{n, m_1} = \frac{n!}{m_1! (n - m_1)!} \left(\frac{1}{2}\right)^n. \quad (3.37)$$

Результат (3.37) дає змогу зіставити надійності пристроїв першого і другого типів за викладеною вище схемою.

Обчислення за формулою (3.37) пов'язані зі складностями обчислення результату при великих значеннях  $n$  і  $m_1$ . У зв'язку з цим викликає інтерес більш простий асимптотичний вираз, що, як буде показано нижче, дасть дуже простий критерій для порівняння надійності пристроїв першого і другого типів.

При великих  $n$  і  $m_1$  можна скористатися відомою формулою Стірлінга:

$$n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n}. \quad (3.38)$$

Виходячи зі (3.37) співвідношення (3.38) можна привести до вигляду:

$$\tilde{P}_A(n, m_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi P_A q_A n}} e^{-\frac{nx^2}{2P_A q_A}}, \quad (3.39)$$

де

$$x = \frac{m_1}{n} - P_A \quad (3.40)$$

це відхилення відносної частоти  $m_1/n$  від найбільш імовірного значення  $P_A$ .

Згідно з (3.40), інтервал припустимих значень  $x$  обмежений подвійною нерівністю:

$$-P_A \leq x \leq q_A. \quad (3.41)$$

При одержанні (3.40) з (3.41) поряд з (3.42) передбачалося також, що

$$|x| < P_A \quad \text{та} \quad |x| < q_A. \quad (3.42)$$

З нерівностей (3.43) випливає, що формула (3.41) застосовна, коли  $P_A \neq 0$  та  $q_A \neq 0$ . Наближення (3.41) описує процес тим краще, чим ближче  $P_A$  до  $q_A$ .

Для нашого випадку, коли  $|x| \leq \frac{1}{2}$

$$P_A = q_A = \frac{1}{2}. \quad (3.43)$$

Асимптотика (3.39) є адекватним описом для практичного застосування моделі, що пропонується.

Підставляючи в (3.39), (3.38) чисельні значення (3.43), одержимо апроксимацію результату (3.44):

$$\tilde{P}(n, m) = \sqrt{\frac{2}{\pi n}} e^{-2nx^2}, \quad (3.44)$$

де  $x = \frac{m_1}{n} - \frac{1}{2}$ .

Вираз (3.45) досягає максимального значення при  $x = 0$ , коли  $m_1 = m_2$  і дорівнює  $n/2$

$$\tilde{P}_{\max} \left( n, m_1 = \frac{n}{2} \right) = \sqrt{\frac{2}{\pi n}}. \quad (3.45)$$

Співвідношення (3.45) дозволяє отримати чисельне значення щільності імовірності того, що у процесі штатної експлуатації кількості відмов пристроїв різних типів виявляться однаковими.

При різних  $m_1$  і  $m_2$  імовірність правильності гіпотези про однакову надійність пристроїв обох типів визначається чисельним значенням експоненти, що міститься в (3.43). Звідси впливає простий для практичного застосування критерій порівняння надійності пристроїв різних типів.

Надійність пристроїв обох типів з відносно великою імовірністю можна вважати однаковою, якщо:

$$2nx^2 < 1. \quad (3.46)$$

З урахуванням співвідношень (3.31), (3.32) і (3.45) нерівність (3.46) записується у вигляді:

$$|m_1 - m_2| < \sqrt{2n}. \quad (3.47)$$

Очевидно, що ймовірність того, що пристрої різних типів мають однакову надійність тим більша, чим сильніша нерівність (3.47). Якщо ж у результаті експлуатації виявиться, що:

$$|m_1 - m_2| > \sqrt{2n}, \quad (3.48)$$



то в міру нерівності (3.48) варто вважати більш надійним той тип пристроїв, у якого кількість відмов була меншою. Ймовірність випадковості різних частот відмов (3.30) (різних значень  $m_1$  і  $m_2$ ) за умов однакової надійності пристроїв обох типів визначається відношенням:

$$P_0(m_1, m_2) = \frac{P(m_1)}{P\left(n, \frac{n}{2}\right)}. \quad (3.49)$$

При непарному  $n$  у формулі (3.49) варто використовувати найближче до  $n/2$  ціле число. Відношення (3.49) назвемо імовірністю однакової надійності приладів, оскільки воно визначає чисельне значення останньої.

Апроксимоване вираження для імовірності однакової надійності приладів  $\tilde{P}_0(m_1, m_2)$  при отриманих значеннях  $m_1$  і  $m_2$ , згідно з (3.45), записується у вигляді (3.50).

$$\tilde{P}_0(m_1, m_2) = e^{-\frac{m_1 - m_2}{2(m_1 + m_2)}}. \quad (3.50)$$

Співвідношення (3.47–3.50) вирішують поставлену задачу, оскільки при отриманих значеннях  $m_1$  і  $m_2$  нерівності (3.47) і (3.48) дають змогу зробити висновок про відносну надійність пристроїв різних типів, а співвідношення (3.47) і (3.48) визначають імовірність правильності зробленого висновку.

Забезпечення передумов підвищення надійності транспортних систем досягається і шляхом розрахунку необхідної кількості дублюючих одиниць рухомого складу та своєчасності проведення ремонту. У дослідженні пропонується імовірнісний розрахунок надійності роботи системи, забезпеченої резервом транспортних засобів при мінімальному вкладенні капіталу.

Підприємству необхідно забезпечити такий резерв транспортних засобів, який, з одного боку, міг би забезпечити стабільну роботу транспортного комплексу шляхом заміни, а з іншого – потребував би мінімальних вкладень

коштів. Припустимо, що є деяка транспортна система  $S$ . Подією  $A_S$  назвемо штатне функціонування системи  $S$  протягом деякого відрізка часу  $\Delta t$ . Визначимо надійність системи  $S$  як імовірність  $P(A_S)$  події  $A_S$ . Межі чисельного виміру надійності визначаються подвійною нерівністю

$$0 \leq P(A_S) \leq 1. \quad (3.51)$$

Ризиком для системи  $S$  будемо називати імовірність  $P(\overline{A_S})$  того, що подія  $A_S$  не відбудеться (тут і далі ризика над літерою означає протилежну подію). Оскільки події  $A_S$  і  $\overline{A_S}$  утворять повну систему подій, то між надійністю і ризиком існує таке співвідношення:

$$P(A_S) + P(\overline{A_S}) = 1. \quad (3.52)$$

Як правило, на практиці технічні можливості не дозволяють довести надійність до 1 (тобто звести ризик до нуля). У цьому випадку для кожної конкретної системи необхідно ввести межі надійності за допомогою нерівності:

$$P(A_S) > P_{\min}(A_S) \quad (3.53)$$

або межі ризику, що, згідно з (3.67) і (3.68), даються співвідношенням:

$$P(A_S) \leq 1 - P_{\min}(A_S) = P_{\max}(\overline{A_S}). \quad (3.54)$$

Чисельне значення  $P_{\min}(A_S)$  визначається для кожної конкретної системи  $S$ , виходячи з технічних і економічних можливостей, а також міри збитку і втрат, обумовлених подією  $A_S$ .

Розглянемо систему  $S$ , що містить кілька підсистем. Ми обмежимося випадком із двома підсистемами  $S_1$  і  $S_2$  (рис. 3.9). Як буде видно з наведених

нижче розрахунків, узагальнення на будь-яке число підсистем не зустрічає принципових труднощів.

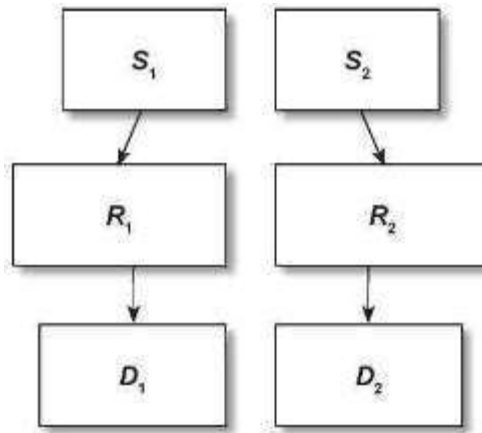


Рис. 3.9 – Система з перемикачами і дублюючими пристроями

Подіями  $A_S$ ,  $A_{S1}$ ,  $A_{S2}$  назвемо штатне функціонування відповідно всієї системи  $S$  і утворюючих її двох підсистем  $S_1$  і  $S_2$ . Виходячи з визначення добутку двох подій, одержимо:

$$A_S = A_{S1}A_{S2}. \quad (3.55)$$

Якщо події  $A_{S1}$  та  $A_{S2}$  незалежні, то, згідно з (3.55), надійність системи  $S$  дорівнює добутку показників надійності систем  $S_1$  і  $S_2$ :

$$P(A_S) = P(A_{S1})P(A_{S2}). \quad (3.56)$$

Припустимо, ситуація така, що надійність системи  $S$ , яка розрахована за формулою (3.56), виявляється меншою припустимої межі надійності, обумовленої нерівністю (3.53). При цьому немає ні технічних, ні економічних можливостей підвищити надійність (3.56) шляхом удосконалення підсистем  $S_1$  і  $S_2$ .

Виходом із ситуації, що склалася, може виявитися підключення відповідно до підсистем  $S_1$  і  $S_2$  дублюючих систем  $D_1$  і  $D_2$ , які за допомогою

перемикаючих приладів  $R_1$  і  $R_2$  (у нашому конкретному випадку автоматичних диспетчерських станцій або осіб, що приймають рішення, – ОПР) почнуть виконувати функції відповідно підсистем  $S_1$  і  $S_2$  у випадках, коли їх робота не буде відповідати штатним вимогам.

Створення дублюючих систем може виявитися істотно простішим завданням, ніж удосконалення систем  $S_1$  і  $S_2$ , оскільки правильність дій ОПР вважаємо своєчасною. Тоді і дублюючі системи можуть бути розраховані на роботу протягом відносно малих проміжків часу, так що

$$\Delta t_R < \Delta t_D \ll \Delta t_S. \quad (3.57)$$

Час роботи ОПР  $\Delta t_R$  і час роботи дублюючих систем  $\Delta t_D$  повинен бути таким, щоб протягом цього терміну можна було вжити всіх необхідних заходів для усунення нестабільної роботи, пов'язаної з подіями  $\overline{A_{S_1}}$  і  $\overline{A_{S_2}}$ .

Обчислимо надійність  $P(A_{SRD})$  системи  $SRD$ , що, разом з вихідною системою  $S$ , містить дві дії ОПР  $R_1$  і  $R_2$  і два дублюючих транспортних засоби (ТЗ)  $D_1$  і  $D_2$  (рис. 3.21). Тут подія ( $A_{SRD}$ ) – безвідмовна робота системи  $SRD$ . При цьому передбачається, що надійність (правильність рішень) ОПР  $P(A_{R_1})$ ,  $P(A_{R_2})$  і надійність дублюючих ТЗ  $P(A_{D_1})$ ,  $P(A_{D_2})$  незалежні і відомі. Тут події  $A_{R_1}$  і  $A_{R_2}$  – безвідмовна робота ОПР протягом часу  $\Delta t_R$ , а події  $A_{D_1}$  і  $A_{D_2}$  – безвідмовна робота дублюючих ТЗ протягом часу  $\Delta t_D$ .

Зручно підсистему  $S_1$ , що видає  $R_1$ , і дублюючу систему  $D_1$  розглядати як єдину підсистему  $SRD_1$ . Надійність такої підсистеми  $P(A_{SRD_1})$  визначається подією  $A_{SRD_1}$ , якою є функціонування підсистеми  $SRD_1$  кожним із можливих способів. При цьому подія  $A_{SRD_1}$  розпадається на два варіанти: підсистема  $S_1$  функціонує у штатному режимі; підсистема  $S_1$  не функціонує, але спрацювала ОПР  $R_1$  і функціонує дублююча система  $D_1$ .

Зі сказаного випливає рівність:

$$A_{SRD1} = A_{S1} + \overline{A_{S1}} A_{R1} A_{D1}. \quad (3.58)$$

Якщо всі системи працюють незалежно одна від одної, то для надійності підсистеми  $SRD1$ , виходячи з (3.58), маємо:

$$P(A_{SRD1}) = P(A_{S1}) + P(\overline{A_{S1}}) P(A_{R1}) P(A_{D1}). \quad (3.59)$$

Аналогічно для надійності підсистеми  $SRD2$  (яка утримує підсистему  $S_2$ , що видає  $R_2$  і дублюючу систему  $D_2$ ) одержимо:

$$P(A_{SRD2}) = P(A_{S2}) + P(\overline{A_{S2}}) P(A_{R2}) P(A_{D2}). \quad (3.60)$$

Подія  $A_{SRD}$  (функціонування системи  $SRD$ ), очевидно, дорівнює:

$$A_{SRD} = A_{SRD1} A_{SRD2}. \quad (3.61)$$

Зі співвідношень (3.65), (3.66), (3.67) і (3.68) для надійності систем  $SRD$  одержимо:

$$P(A_{SRD}) = P(A_{S1})P(A_{S2}) + P(A_{S1})[1-P(A_{S2})]P(A_{R2})P(A_{D2}) + P(A_{S2})[1-P(A_{S1})] \times P(A_{R1})P(A_{D1}) + P(A_{R1})P(A_{R2})P(A_{D1})P(A_{D2})[1-P(A_{S1})][1-P(A_{S2})] \quad (3.62)$$

Формула (3.62) вирішує поставлену задачу. Перший доданок у правій частині рівності (3.62), згідно з (3.56), дає надійність системи  $S$ , коли дублюючі ТЗ відсутні. Другий, третій і четвертий доданки в (3.62) визначають збільшення надійності системи  $S$ , коли маємо дублюючі системи. Ризик для події  $A_{SRD}$  визначається формулами (3.52) і (3.62).

Згідно з (3.64), надійність системи  $SRD$  прямує до одиниці, а ризик – до нуля, коли прямують до одиниці надійність роботи особи, що приймає рішення

(ОПР), і дублюючих систем. Зазначимо, що одержання розрахункової величини надійності останніх може бути досягнуте завдяки нерівності (3.62), що допускає малі відрізки часу роботи ОПР і систем дублювання. Представлена імовірнісна модель дає можливість забезпечити перевезення пасажирів у заданих кількостях при мінімальних витратах на утримання резервного парку транспортних засобів. Модель розрахована на використання транспортною структурою мегаполіса з будь-якою кількістю перевезених пасажирів.

Далі розглянемо систему  $S$  (транспортний комплекс), що містить  $N_n$  підсистем (одиниць рухомого складу) з дублюючими пристроями (дублюючими одиницями рухомого складу). Підсистеми  $N_n$ , які забезпечують роботу системи  $S$ , за нормальних умов роботи не потребують додаткового втручання (тобто залучення ремонтних бригад). Однак будь-якої миті одна чи декілька підсистем можуть вийти з ладу та потребувати ремонту, а потім відновлення роботи. У зв'язку з цим для забезпечення надійності роботи системи потрібна наявність бригад, які у випадку необхідності забезпечать ремонт підсистем, що вийшли з ладу, та відновлення їх роботи.

Для безперервної роботи системи  $S$  із заданою надійністю (див. (3.53)) необхідно розрахувати кількість бригад, які повинні обслуговувати цю систему. Почнемо з рішення задачі про надійність роботи системи  $S$  в умовах наявності однієї бригади. Припускається, що всі  $N_n$  підсистем системи  $S$  працюють незалежно та є однаковими.

Вихід із ладу будь-якої підсистеми з  $N_n$  підсистем є випадковою величиною. Будемо вважати, що імовірність  $P_{dii}(t)$  безвідмовної дії підсистеми протягом часу  $t$  задається показовим розподілом, тобто

$$P_{dii}(t) = e^{-\frac{t}{t_{dii}}} . \quad (3.63)$$

Як свідчить досвід, показовий розподіл (3.63) у багатьох випадках добре описує ситуації, подібні до тієї, що розглядається. Час  $t_{dii}$ , який міститься в

(3.63), має простий фізичний зміст. Імовірність безвідмовної роботи підсистеми впродовж часу  $t = t_{\text{дії}}$  становить  $P_{\text{дії}}(t_{\text{дії}}) = 2,7^{-1} = 0,37$ . Зі збільшенням часу роботи підсистеми імовірність її безвідмовної дії зменшується експоненціально.

Після того, як будь-яка з підсистем вийшла з ладу, ОПР дає команду задіяти дублюючий пристрій (див. рис. 3.9) – на лінію виходить резервна одиниця рухомого складу, яка забезпечує подальшу безвідмовну дію усієї системи  $S$  (усього ТК). Бригада у цей час має поновити підсистему, що вийшла з ладу, тобто відремонтувати одиницю рухомого складу, що вийшла з ладу або зазнала аварії.

Час, необхідний для поновлення підсистеми, є випадковою величиною. Будемо вважати, що він також описується показовим розподілом. Тоді імовірність того, що робота підсистеми буде поновлена протягом часу  $t$ , дається рівністю (3.64):

$$P_{\text{нон}} = 1 - e^{-\frac{t}{t_{\text{нон}}}} \quad (3.64)$$

Згідно з (3.64) в умовах роботи працівника протягом часу  $t = t_{\text{нон}}$  імовірність того, що підсистема буде поновлена, дорівнює  $P_{\text{нон}}(t_{\text{нон}}) = 1 - e^{-1} = 2,7^{-1} = 0,63$ .

Співвідношення  $t_{\text{нон}}/t_{\text{дії}}$  називається коефіцієнтом обслуговування. Надійна підсистема повинна мати досить малий коефіцієнт обслуговування, тобто потрібно, щоб виконувалася нерівність:

$$t_{\text{дії}} \gg t_{\text{нон}}. \quad (3.65)$$

Якщо безвідмовна робота дублюючої одиниці рухомого складу також описується показовим розподілом типу (3.64) з часом  $t_{\text{дуб}}$  у показнику експоненти, то, очевидно, що досить велика надійність роботи усієї системи  $S$  передбачає виконання нерівності.

$$t_{\text{дуб.}} \gg t_{\text{нон.}} \quad (3.66)$$

При цьому час  $t_{\text{дуб.}}$  може бути значно меншим, ніж час  $t_{\text{дир.}}$  – час протікання дії (див. (3.57)). В умовах виконання нерівності (3.66) бригада з досить великою імовірністю встигне відремонтувати підсистему, яка вийшла з ладу, та випустити в лінію. Після цього дублююча одиниця рухомого складу повертається в депо.

Якщо підсистема вийшла з ладу, то вона поновлюється негайно в умовах, коли бригада не ремонтує в цей час іншу підсистему, а якщо ремонтує, то утворюється черга.

Будемо вважати, що система  $S$  знаходиться у стані  $E_n$ , якщо не працюють  $n_n$  підсистем, а дія системи  $S$  підтримується роботою дублюючих одиниць рухомого складу. При  $1 < n_n < N_n$  це буде означати, що одна підсистема поновлюється, а  $n_n - 1$  підсистем стоять у черзі.

У стані  $E_0$  усі підсистеми працюють, і бригада, яка поновлює підсистеми (ремонтуює рухомий склад), відпочиває. Перехід зі стану  $E_n$  у стан  $E_{n+1}$  виникає в умовах, якщо вийшла з ладу одна з  $N_n - n_n$  підсистем, які працювали в лінії. Перехід  $E_n \rightarrow E_{n-1}$  здійснюється, якщо одна з підсистем, що вийшла з ладу, була поновлена.

У такій постановці задача може бути вирішена так, як вирішується у теорії ймовірностей задача процесу розмноження та загибелі. Не будемо описувати хід рішення, оскільки він близький до наведеного у класичних та наших попередніх роботах. Обмежимося тільки відповіддю. Імовірність  $P_n$  того, що не працює  $n_n$  підсистем з  $N_n$  підсистем, коли працює одна бригада, дорівнює:

$$P_n = \frac{1}{N_n - n_n!} \left( \frac{t_{\text{дир.}}}{t_{\text{нон.}}} \right)^{N_n - n_n} \left( \sum_{m=0}^{N_n} \frac{1}{m!} \left( \frac{t_{\text{дир.}}}{t_{\text{нон.}}} \right)^m \right)^{-1} \quad (3.67)$$

Результат (3.69) вирішує задачу, яка була поставлена.



Визначимо середню кількість підсистем  $\Pi_q$ , які чекають поновлення (ремонт) у черзі. Для цього врахуємо, що з  $n_n$  непрацюючих підсистем лише одна ремонтується. У цей час ремонту чекає  $n_n - 1$  підсистема. Якщо помножити величину  $n - 1$  на імовірність  $P_n$  та отримати суму за всіма  $n_n$ , то одержимо:

$$\Pi_q = \sum_{n=1}^N (n-1) P_n. \quad (3.68)$$

Згідно з умовами нормування:

$$\sum_{n=1}^N P_n = P_0 + \sum_{n=1}^N P_n = 1. \quad (3.69)$$

Якщо знайти суму (3.68) з урахуванням нормування (3.69), то одержимо:

$$\Pi_q = N_n - \frac{t_{\text{дв}} + t_{\text{нон}}}{t_{\text{нон}}} P_0. \quad (3.70)$$

Значення  $P_0$  дає імовірність того, що в умовах наявності однієї бригади, всі  $N_n$  підсистем будуть працювати. Значення  $P_1$  дає імовірність того, що одна підсистема буде поновлюватися. При цьому буде працювати одна дублююча підсистема, яка забезпечить сталу дію усієї системи, тобто усього транспортного комплексу.

Згідно з (3.70),  $P_n$  зменшується в умовах збільшення  $n_n$ . Конкретні чисельні значення імовірності  $P_n$  визначаються кількістю підсистем  $N_n$  та значенням коефіцієнту обслуговування  $t_{\text{нон}}/t_{\text{дв}}$ , який передбачається малим. Так, при  $N_n = 60$  та  $t_{\text{нон}}/t_{\text{дв}} = 0,1$  імовірність  $P_0 = 0,48$ , а імовірність  $P_1 = 0,29$ . У цьому випадку, згідно з (3.85), середня кількість підсистем, які чекають свого поновлення у черзі,  $\Pi_q = 0,33$ .

При цьому імовірність  $P_s$  безвідмовної роботи усього транспортного

комплексу може бути значно більшою за рахунок наявності дублюючих одиниць рухомого складу. Розрахунок  $P_S$  в умовах заданих значень  $t_{дуб.}$  та  $t_{д.п.}$  можна виконати аналогічно отриманню формули (3.70).

Якщо у підсумку  $P_S$  виявиться менше межі надійності (див. (3.53)), то є декілька способів збільшити  $P_S$ . Наприклад, можна збільшити кількість бригад, які поновлюють рухомий склад. Проте, як впливає з розрахунків, при  $N_n < 10$  навіть при відносно великому значенні  $t_{п.он.}/t_{д.ії} = 0,1$ , економічно це може бути не вигідним, оскільки  $P_0$  при цьому виявляється досить великим.

Значення  $P_0$  можна розглядати як імовірність того, що бригада простоє, оскільки всі  $N_n$  підсистем з досить великою імовірністю працюють. У нашому прикладі, коли  $N_n = 60$  та  $t_{п.он.}/t_{д.ії} = 0,1$ , навіть одна бригада простоє приблизно половину робочого часу. В умовах використання двох бригад  $P_0$  буде близьким до одиниці, а це означає, що обидві бригади будуть простоювати більшу частину робочого часу.

У такій ситуації потрібно шукати інші, економічно вигідніші способи збільшення імовірності безвідмовної дії усього транспортного комплексу. Можливо, економічно більш доцільною буде наявність одиниць рухомого складу, які можуть бути використані для заміни тих, що вийшли з ладу, у той час, коли вже працюють дублюючі одиниці рухомого складу.

Наявність декількох бригад, які можуть поновити роботу рухомого складу, стає економічно виправданою при досить великих  $N_n$ . Так, коли  $N_n = 200$  та  $t_{п.он.}/t_{д.ії} = 0,1$ , імовірність  $P_n$  в умовах використання тільки однієї бригади виявляється вже порядку декількох сотих. При цьому збільшується імовірність  $P_n$ , коли  $n$  не дорівнює нулю. У цих умовах економічно вигідно мати декілька ремонтних бригад.

Імовірність виходу з ладу  $n$  підсистем із загальної кількості  $N_n$ , коли є  $R_n$  бригад, можна отримати, виходячи із загальної теорії процесу розмноження та загибелі.

Розрахунки дають такі рекурентні співвідношення:

$$(n_n + 1)t_{\text{дв}} P_{n+1} = (N_n - n_n)t_{\text{нон}}, \text{ коли } n_n < R_p$$

$$\text{та } R_p t P_{n+1} = (N_n - n_n)t_{\text{нон}} P_n, \text{ коли } n_n \geq R. \quad (3.71)$$

Рекурентні співвідношення (3.71) з урахуванням умови нормування (3.70) дозволяють обчислити усі імовірності  $P_n$  того, що не працюють  $n_n$  підсистем із загальної кількості  $N_n$  підсистем, в умовах наявності  $R$  бригад.

Ця методика дозволяє на імовірнісній основі розраховувати необхідну кількість обслуговуючого персоналу для забезпечення повної реалізації перевезення пасажиропотоку мегаполіса.

### **3.4 Математичне моделювання та оптимізація дій по ліквідації відмов у роботі рухомого складу в транспортній системі міста**

У даному підрозділі вирішується задача, як за максимально короткий термін (мінімальний час) повернути в лінію максимальну кількість одиниць рухомого складу, що вийшли з ладу з тих чи інших причин, оскільки для стабільної роботи транспортної системи усунення відмов повинно виконуватись у найкоротший термін. Також у даному розділі запропоновано математичне моделювання оптимальних дій для ліквідації таких відмов.

Ліквідація відмов одиничних елементів транспортної системи на об'єктах з підвищеним рівнем небезпеки (а рухомий склад, як відомо, є об'єктом підвищеної небезпеки) виконується так званий «блоковий» спосіб. Елемент, який вийшов з ладу, ремонтують не відразу, а підключають замість нього інший – працездатний. Тільки після цього непрацездатний елемент передають до відповідної технічної служби для виявлення причин відмови. Але навіть при такому спрощенні процедура стає досить важкою навіть за наявності певної кількості дублюючих елементів з різним ступенем досяжності та різною імовірністю відмови перших.

Отже, при виявленні відмови кількох одиниць транспортної системи, яка включає  $n$  елементів, виникає задача про виявлення саме того елемента,

поновити роботу якого можна з мінімальними витратами часу і ремонтних засобів. У транспортній системі з ладу можуть виходити елементи різних типів: близького розміщення, утрудненої досяжності та складнодосяжні. Іншими словами, є такі елементи, дістатися яких важко, а відремонтувати легко, чи навпаки – їх легко відремонтувати, але вони територіально віддалені.

Для вирішення поставленої задачі необхідно для кожного  $i$ -того елемента вузла транспортної системи ( $I = 1, 2, 3, \dots, n$ ) знати величини двох основних параметрів:

- 1) витрати часу  $t_i$  на його заміну;
- 2) імовірність  $P_i$  його відмови.

Величини зазначених параметрів залежать від цілої низки чинників: від конструкції елемента, ступеня його зносу, матеріалів і технології для його ремонту, фактичних строків служби, умов експлуатації й таке інше.

На перший погляд, здається очевидним, що вибір елемента, з якого необхідно починати обстеження та ремонт, визначається зіставленням відношень  $t_i/t_j$  з  $P_i/P_j$  ( $I, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Однак, як буде показано нижче, такий спрощений підхід припустимий тільки для випадку, коли всі  $P_i \ll 1$ .

Методика вибору елемента, який доцільно обстежувати та ремонтувати першим, буде продемонстрована на прикладі з двома елементами.

З наведених нижче розрахунків випливає, що узагальнення методики для вибору з довільного числа елементів не має принципових математичних труднощів.

Виникнення відмови елемента вузла транспортної системи на території міста назвемо подією  $A$ . З простих міркувань випливає, що подія  $A$  є сумою трьох подій:  $A = C_1 + C_2 + C_3$ . Події  $C_k$  (де  $k = 1, 2, 3$ ), які входять у це рівняння, можна записати у вигляді:

$$C_1 = B_1 \bar{B}_2 \quad (3.72)$$

– коли наявна відмова першого елемента (подія  $B_1$ ) і відсутня відмова другого елемента (подія  $\bar{B}_2$ );

$$C_2 = \bar{B}_1 B_2 \quad (3.73)$$

– коли відсутня відмова першого елемента (подія  $\bar{B}_1$ ) і наявна відмова другого елемента (подія  $B_2$ );

$$C_3 = B_1 B_2 \quad (3.74)$$

– коли наявні відмови обох елементів.

Відповідно до теореми множення ймовірностей  $P(AC_k)$  добуток будь-яких двох подій  $A$  і  $C_k$  маємо:

$$P(AC_k) = P(A) P(C_k/A) = P(C_k) P(A/C_k), \quad (3.75)$$

де  $P(A)$  – імовірність події  $A$ , а  $P(C_k/A)$  імовірність події  $C_k$  за умови, що подія  $A$  відбулася. Зі співвідношення (3.75) випливає, що шукані імовірності

$$P(C_k/A) = \frac{P(C_k) P(A/C_k)}{P(A)}. \quad (3.76)$$

Відповідно до приведеної вище рівності, де  $A = C_1 + C_2 + C_3$

$$P(AC_k) = 1 \quad (3.77)$$

З огляду на те, що наявність відмови одного елемента не залежить від стану другого елемента, зі співвідношення  $A = C_1 + C_2 + C_3$  одержимо:

$$P(A) = P_1(1 - P_2) + (1 - P_1)P_2 + P_1P_2 \quad (3.78)$$

де  $P_i = P(B_i)$  – відома імовірність відмови  $i$ -го елемента.

Підставляючи (3.76) у (3.77), з огляду на (3.78) та визначення імовірності добутку двох незалежних подій, одержимо три вираження необхідних для рішення поставленої задачі.

1. Імовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з нештатною ситуацією з першим елементом:

$$P(C_1/A) = \frac{P_1(1 - P_2)}{P_1 + P_2 - P_1P_2} \quad (3.79)$$

2. Імовірність того, що виявлена відмова системи обумовлена нештатною ситуацією з другим елементом (3.80):

$$P(C_2/A) = \frac{P_2(1 - P_1)}{P_1 + P_2 - P_1P_2} \quad (3.80)$$

3. Імовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з відмовою обох елементів (3.81):

$$P(C_3/A) = \frac{P_1P_2}{P_1 + P_2 - P_1P_2} \quad (3.81)$$

Оптимальна черговість обстеження та подальшого ремонту елементів визначається зіставленням відносини (3.82):

$$\frac{P(C_1/A)}{P(C_2/A)} = \frac{P_1(1 - P_2)}{P_2(1 - P_1)} \quad (3.82)$$

і відношення  $t_1/t_2$ . При

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_1} \frac{t_1}{t_2} \quad (3.83)$$

впливає, що у першу чергу необхідно обстежувати та ремонтувати перший елемент. При

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_1} \frac{t_1}{t_2} \quad (3.84)$$

діагностику та ремонт доцільно починати з другого елемента.

Якщо при огляді об'єкта буде виявлена його відмова в зв'язку з аварією, то імовірність того, що одночасно зазнає нештатної ситуації й другий об'єкт дається вираженням (3.81). Виходячи з отриманого за формулою (3.81) числового значення й аналізу існуючої ситуації, варто прийняти одне з двох рішень:

- 1) після усунення відмови одного елемента стежити за подальшим розвитком подій;
- 2) починати обстежувати інші елементи.

Як приклад розглянемо ситуацію, коли  $P_1 = 0,4$ ,  $P_2 = 0,2$ , а  $t_1/t_2 = 2,3$ .

Підстановка чисельних значень у формули (3.81) – (3.83) й округлення тисячних дає:

$$P(C_1/A) = 0,615; P(C_2/A) = 0,231; P(C_3/A) = 0,154. \quad (3.85)$$

Для відношення ймовірностей згідно з (3.83) маємо:

$$\frac{P(C_2/A)}{P(C_1/A)} = 2,667 \quad (3.86)$$

При заданому значенні  $t_1/t_2$  і чисельному значенні (3.85) реалізується

нерівність (3.84), відповідно до якої доцільно починати обстеження та ремонт з першого елемента. Відзначимо, що інтуїтивний, спрощений підхід, виходячи із відношення  $P_1/P_2 = 2$  і  $t_1/t_2 = 2,3$ , призведе до прийняття неправильного рішення. Відмінність результатів, отриманих при спрощеному підході, від отриманих за допомогою формул (3.83) та (3.84), збільшується в міру збільшення чисельних значень  $P_i$  і відношення  $P_1/P_2$ .

Використання вищенаведеної моделі дозволяє вибрати з множини виниклих відмов пріоритетний напрям для їх послідовної ліквідації.

У забезпеченні надійності роботи МЕТ провідну роль виконують ремонтні служби. Наведемо математичні моделі оптимізації завдань з ремонтних робіт рухомого складу для виконання заходів щодо усунення виникаючих ситуацій, коли виходять зі ладу одночасно кілька одиниць рухомого складу, що перебувають у лінії в різних точках міста. Ставиться завдання масового обслуговування (у нашому випадку – рухомого складу), коли одночасно виходить з ладу (з тих чи інших причин) декілька одиниць РС, ремонт яких забезпечується рухомою ремонтною бригадою (наприклад, так званою «тролейбусною летючкою»).

Для визначення оптимальної кількості ремонтних засобів, задіяних для ліквідації поломок рухомого складу, що перебуває на лінії в різних частинах міста, необхідно проаналізувати все різноманіття ситуацій з урахуванням усіх вимог, що висувуються до вирішення поставлених завдань. Пересувну ремонтну бригаду можна визначити як технічну систему, що складається із взаємозалежних за призначенням, місцем і функціонуванням елементів (агрегатів, вузлів, деталей), цільовою функцією якої є переміщення її по заданій (керованій) траєкторії, основні ділянки якої розташовані в різних частинах міста.

Класифікація рухомих ремонтних бригад може проводитися за такими ознаками: за місцем застосування; за призначенням; за ремонтними характеристиками тощо. При виборі оптимальних параметрів пересувних ремонтних бригад необхідно враховувати:



- параметри, що залежать від їх місцезнаходження;
- параметри сфери застосування;
- параметри спеціального устаткування й спорядження.

Очевидно, що саме комплекс наведених вище параметрів буде визначальним в аспекті вибору оптимальної (раціональної) кількості ремонтних засобів для ліквідації наслідків одночасного виходу з ладу декількох одиниць рухомого складу на конкретному об'єкті транспортної системи. Провести повний аналіз названих вище вимог можна лише при системному підході до вибору їх оптимальної кількості.

Розглянемо економіко-математичний аспект цієї проблеми.

Нехай є декілька районів міста, в яких існує ситуація виходу з ладу одиниць рухомого складу. Завданням рухомої ремонтної бригади є ліквідація наслідків виходу з ладу всіх цих одиниць рухомого складу. Умови такі, що рухома ремонтна бригада може обслуговувати одноразово тільки одну ділянку (район) міста, отже припустимо, що таких можливих ділянок існує  $m$ .

Обстановка на таких ділянках може мати такий характер:

1) розвиток ситуації, коли пересувна ремонтна бригада може послідовно «обслужити» усі  $m$  ділянок, тобто ділянки, що ще не обслуговуються, «терпляче чекають» приїзду пересувної ремонтної бригади;

2) розвиток ситуації на окремих ділянках значно випереджає дії пересувної ремонтної бригади з ліквідації виходу з ладу рухомого складу, тобто окремі ділянки мають обмежений час очікування пересувної ремонтної бригади.

Розглянемо обстановку на ділянках з першим варіантом розвитку подій з погляду теорії систем масового обслуговування (СМО). Пересувна ремонтна бригада, що обслуговує  $m$  ділянок, являє собою одноканальну СМО з очікуванням і детально розглянута на рис. 3.10.

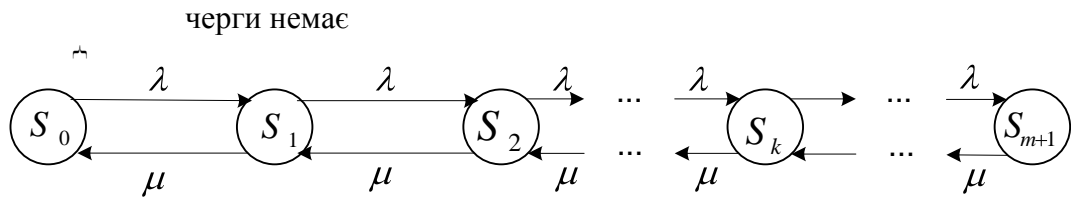


Рис. 3.10. Граф однолінійної СМО з очікуванням

На СМО надходить вхідний потік заявок з інтенсивністю  $\lambda$ ;  $\mu$  – інтенсивність обслуговування ділянок бригадами. Стан СМО може бути таким:

$S_0$  – бригада вільна;

$S_1$  – бригада зайнята, черги немає;

$S_2$  – бригада зайнята, одна заявка стоїть у черзі;

$S_k$  – бригада зайнята,  $k-1$  заявок стоїть у черзі;

$S_{m+1}$  – бригада зайнята.

Вираження для граничних ймовірностей станів СМО:

$$\begin{cases} P_1 = P_0 \\ P_2 = P^2 \cdot P_0 \\ P_k = \rho^k \cdot P_0 \\ P_{m+1} = \rho^k \cdot P_0 \\ P_0 = 1 / (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{m+1}) \end{cases} \quad (3.87)$$

де  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ . Звідки:

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.88)$$

$$P_o = P_{m+1} = \frac{\rho^{m+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.89)$$

Відносна пропускна здатність

$$q = 1 - P_0 = 1 - \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}}. \quad (3.90)$$

Абсолютна пропускна здатність

$$A = \lambda q. \quad (3.91)$$

Середнє число заявок, що перебувають у черзі

$$\bar{r} = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m+1 - m\rho)]}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)}. \quad (3.92)$$

Середній час очікування в черзі

$$\bar{t}_{оч} = \frac{1}{\rho\mu} \bar{r} = \frac{\bar{r}}{\lambda}. \quad (3.93)$$

Середній час перебування заявки в системі:

$$\bar{t}_{сист} = \frac{\bar{r}}{\lambda} + \frac{q}{\mu}. \quad (3.94)$$

Граф одноканальної СМО з невідкладними заявками, відповідний до другого варіанта розвитку ситуації, наведено на рис. 3.11.

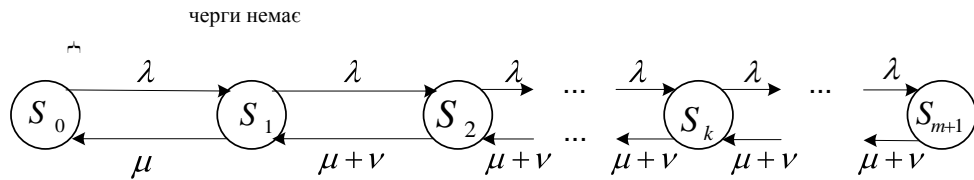


Рис. 3.11. Граф одноканальної СМО з обмеженим часом очікування

Час перебування заявки в черзі обмежений деяким випадковим строком  $T_{оч}$  із середнім значенням  $t_{оч}$ . Таким чином, на кожну заявку, що перебуває в черзі, діє ніби «потік відходів» з інтенсивністю

$$\nu = \frac{1}{t_{оч}}. \tag{3.95}$$

Для такої СМО кожна заявка стає в чергу, але може й не дочекатися обслуговування, пішовши завчасно (наприклад, її відтягне у депо тягач). Вираження для граничних ймовірностей станів СМО:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \\ P_2 = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu + \nu)} P_0 \\ \dots \\ P_k = \frac{\lambda^k}{\mu(\mu + \nu)^{k-1}} \\ \dots \\ P_{m+1} = \frac{\lambda^{m+1}}{\mu(\mu + \nu)^m} \end{array} \right. \tag{3.96}$$

$$P_0 = \left\{ 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{\mu(\mu + \nu)} + \dots + \frac{\lambda^{m+1}}{\mu(\mu + \nu)^m} \right\}^{-1} \tag{3.97}$$

На кожну із заявок, що перебувають у черзі, діє «потік відходів» з

інтенсивністю  $\nu$ , тобто із середнього числа  $\bar{r}$  заявок у черзі в середньому буде йти, не дочекавшись обслуговування,  $\nu \bar{r}$  заявок за одиницю часу:

$$A = \lambda - \nu \bar{r}. \quad (3.98)$$

Тоді

$$q = \frac{A}{\lambda} = \frac{\lambda - \nu \bar{r}}{\lambda} = 1 - \frac{\nu \bar{r}}{\lambda} \quad (3.99)$$

$$\bar{r} = 1 \cdot P_2 + 2P_3 + \dots + (k-1)P_k + \dots + mP_{m+1}. \quad (3.100)$$

$$\bar{r} = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m+1 - m\rho)]}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)}. \quad (3.101)$$

Отже, для визначення оптимальної кількості пересувних ремонтних бригад при ліквідації ситуацій, коли практично одночасно виходить із ладу кілька одиниць рухомого складу в різних районах міста, потрібно провести аналіз великої кількості чинників, що впливають на цю ситуацію, яка стосується не тільки сфери комплектації цих бригад, але й сфери їх можливостей. Крім того, необхідно проаналізувати все різноманіття видів (причин) виходу з ладу рухомого складу з урахуванням усіх вимог, що висуваються до різних параметрів, які характеризують можливості ремонту кожного призначення. Можна також стверджувати, що для різних об'єктів при схожих ситуаціях будуть різними й раціональні характеристики пересувних ремонтних бригад.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі розглянуті методи аналізу пасажиропотоків, проблем у роботі транспортних мереж, алгоритми моделювання функціонування маршрутної мережі, база даних для оцінки потенціалу мереж, і заходи з аналітичної підготовки удосконалення маршрутно-мережевої системи.

У дисертаційній роботі розроблена модель функціонування міської пасажирської транспортної системи, яка складається з моделі транспортної мережі, моделі потреби в пересуваннях, моделі маршрутної мережі й моделі розподілу пасажиропотоків.

Запропонований алгоритм формування маршрутної мережі міської пасажирської транспортної системи включає до себе одинадцять основних етапів, а саме: математичний опис транспортної мережі міста; визначення ємності транспортних районів; розрахунок матриці найкоротших відстаней; розрахунок матриці кореспонденцій; формування трас чисельності маршрутів; визначення імовірності вибору шляху прямування; розподіл потоків між маршрутами; розрахунок інтегральних показників роботи маршрутів; оцінка показників роботи МПТС; вибір маршрутів, які входять до мережі, із множини конкурентних маршрутів; аналіз результатів (висновки).

Проаналізовано методи аналізу пасажиропотоків, серед яких варто виділити метод аналізу із залученням обліковців, таблично-опитувальний метод, візуальні методи.

Для більш детального та повного методу аналізу пасажиропотоків запропоновано вибір методу, який передбачає врахування часу на проведення і обробку обстеження, перелік параметрів, які необхідно визначити, трудомісткість методу, що виражається кількістю осіб, які залучаються до обстеження, та вартість обстеження.

З метою задоволення постійно зростаючих потреб населення в перевезеннях на громадському транспорті, розглянуто нові підходи до створення бази даних, які покликані суттєво вплинути на поліпшення

транспортної роботи на підприємствах. Розроблено тест-карту транспортних підприємств з визначення питань, які входять до групи ризику щодо зриву транспортної роботи підприємства, і питань, які вимагають розгляду існуючого стану в умовах можливого виникнення непередбачених ситуацій, які постійно виникають у реальній роботі кожного транспортного підприємства, де показана залежність факторів впливу на результат. Запропонована методика надасть можливість своєчасного виявити передумову можливих ризиків у роботі транспортного підприємства.

Розроблена модель раціональної маршрутної мережі міського пасажирського транспорту, яка включає до себе: модель формування раціональної схеми маршрутів (алгоритм побудови, якої включає шість основних етапів); модель формування множини конкурентоспроможних маршрутів (передбачена можливість розширення множини конкурентоспроможних маршрутів за рахунок включення до їх кількості маршрутів, довжина яких перевищує найкоротший шлях між кінцевими зупинними пунктами не більше ніж у  $\Delta$  разів (1,05–1,20) від найкоротшого шляху); розподіл пасажиропотоків по маршрутній мережі міста (запропонована матриця маршрутних кореспонденцій, у якій завантажені дані являють собою кількість пасажирів, що виконують маршрутну поїздку між відповідними районами в розглянутий період часу); розподіл пасажиропотоків по маршрутній мережі міста (яка передбачає раціональний розподіл рухомого складу по маршрутах, що дає досить повну інформацію для виконання наступного етапу розрахунків); формування раціональної маршрутної мережі міського пасажирського транспорту із множини конкурентоспроможних маршрутів (включає до себе матрицю найкоротших відстаней, матрицю маршрутних кореспонденцій, параметри роботи маршрутів та результати роботи маршрутної мережі); імовірність відмови в роботі маршруту міського електричного транспорту (включає до себе відмову внаслідок відмови транспортного засобу; відмови в роботі маршруту з урахуванням імовірності затору на маршруті; відмову у транспортному потоці міста).

Розглянута та запропонована методика формування транспортної роботи підприємствами міського електротранспорту дає можливість вирішення таких завдань: визначення попиту на транспортну послугу через проведення вивчення пасажиропотоків; визначення маршрутів руху транспортних засобів за рахунок проведення маршрутизації; обрання типу і марки транспортних засобів з урахуванням імовірності відмови маршруту та імовірності затору; обґрунтування доцільності використання запропонованої методики визначення економічного тарифу на маршрутах міського електротранспорту з обговоренням величини відшкодування (асигнування з бюджету на регулювання цін) різниці між тарифом на перевезення одного пасажирів та фактичною собівартістю перевезення пасажирів; складання договору між замовником та перевізником, який має включати чітко сформульовані права та обов'язки сторін.

Наведені в роботі теоретичні основи та методи забезпечення своєчасного виявлення та усунення дії небезпечних чинників (аварійних ситуацій) у роботі транспортного комплексу шляхом підбору систем за критерієм максимальної безвідмовності включають до себе: аналіз надійності систем диспетчеризації транспортного комплексу та техніко-економічні аспекти зниження ризику системних помилок в їх роботі; підбір транспортних систем за критерієм максимальної безвідмовності; забезпечення безвідмовної роботи транспортних систем шляхом розрахунку необхідної кількості дублюючих одиниць рухомого складу та своєчасності проведення ремонту; математичне моделювання оптимальних дій для ліквідації відмов у роботі рухомого складу в транспортній системі міста; локалізацію ситуацій одночасного виходу з ладу декількох одиниць рухомого складу в різних частинах міста із застосуванням пересувних засобів ремонту.



## **РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ ЕКОНОМІЧНО ОБҐРУНТОВАНИХ ТАРИФІВ НА ПОСЛУГИ ПІДПРИЄМСТВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

### **4.1 Визначення головних напрямів тарифної політики у системі МЕТ**

Незадовільний фінансово-економічний та технічний стан підприємств міського електротранспорту України негативно впливає на обсяги перевезень пасажирів. За рахунок збору плати за проїзд покривається лише приблизно половина експлуатаційних витрат. Крім цього, неповна компенсація збитків від безоплатних перевезень пільгових категорій громадян з Державного та місцевого бюджетів протягом останніх років призвела до поглиблення негативних тенденцій у сфері електротранспорту.

В останні роки намітилася тенденція до щорічного зменшення обсягів перевезень пасажирів на 5–10 відсотків, погіршення якості транспортного обслуговування та зниження безпеки руху. У зв'язку з цим виникла нагальна необхідність створення загальної концепції удосконалення транспортної системи міст України, в якій проблема тарифного урегулювання привертає до себе все більше уваги. Інша складова нової концепції удосконалення транспортної системи міст включає до себе оптимізацію пропорцій між бюджетними і комерційними джерелами забезпечення міських перевезень. У цьому аспекті МЕТ розглядається як достатньо перспективний сектор міського транспорту.

Міський електричний транспорт відрізняється високими показниками екологічності, провізної спроможності та безпеки руху. Основна мета роботи міського електричного транспорту – це максимальне задоволення потреб населення в пасажирських перевезеннях, забезпечення їх безпеки та комфортності, а основний ресурс – власні доходи, які планується збільшувати за рахунок використання економічно обґрунтованих тарифів.

Основною метою розробки економічно обґрунтованих тарифів на послуги

підприємств міського електричного транспорту є забезпечення беззбитковості роботи підприємств міського електричного транспорту.

Зазначена мета досягається через реалізацію таких завдань:

- зменшення витрат на експлуатаційну діяльність, підвищення якості технічного обслуговування і ремонту об'єктів міського електричного транспорту, впровадження заходів з енергозбереження шляхом використання новітніх технологій, конструкцій і спеціальних елементів для контактних мереж та тягових підстанцій;

- збільшення надходжень від розміщення реклами на транспорті, оренди приміщень, підвищення ефективності роботи зі збору плати за проїзд;

- встановлення тарифу, який повністю покриває витрати підприємств на перевезення одного пасажирів;

- збільшення обсягів перевезень міським електротранспортом за рахунок оптимізації схем руху міського пасажирського транспорту та організації нових маршрутів електротранспорту.

На даний час грошовий потік системи МЕТ, який становить основу економічної діяльності підприємств та їх окремих структурних підрозділів, складається з потоку коштів за проїзд, що надходять від пасажирів, та потоку бюджетних компенсаційних коштів за перевезення пільгового контингенту пасажирів. Ці потоки знаходяться між собою в певних пропорціях, що визначилися історично. Але тенденція змін цих пропорцій досить негативна: протягом досить значного періоду (більш 10 років) спостерігається постійне зростання долі бюджетних коштів. Така тенденція є небажаною і навіть руйнівною, з урахуванням того, що економіка країни базується на принципах розвитку ринкової моделі господарювання.

В концепції економічного розвитку ЖКГ України сформульоване перспективне завдання докорінної зміни цієї тенденції [61, 115]: галузь має перейти на самоокупність і самофінансування. Якщо і залишиться державна фінансова підтримка, то не на компенсацію недоотриманих коштів від діяльності, а на модернізацію техніко-технологічної бази підприємств МЕТ та

удосконалення їх організаційно-управлінського механізму з дієвим забезпеченням розвитку МЕТ та покращенням якості надання послуг.

У процесі реалізації цього стратегічного завдання важливо використати нові наукові підходи для обґрунтування тарифної політики, що відповідає вимогам суспільства та дозволяє реалізувати оновлюючи погляди та практику ціноутворення, змінюючи порядок узгодження та введення тарифів, формуючи систему аналізу та контролю витрат і прибутків на підприємствах МЕТ.

У процесі дослідження проблем формування прогресивної тарифної політики на особливу увагу заслуговують такі принципові питання, як структура тарифу на перевезення пасажирів, зміст поняття «економічно обґрунтований тариф», принципи та методика розрахунку тарифів, вплив тарифів на показники економічної діяльності МЕТ (прибутковість, рентабельність, інвестиційну привабливість та інші).

Суттєві недоліки, що відмічаються сьогодні у системі міського електричного транспорту, можна визначити таким чином:

- спостерігається зменшення впливу заходів щодо зниження витрат і прогнозованих змін обсягів перевезень на собівартість перевезень (в недостатній мірі реалізуються саме ці заходи);

- бракує розробок і даних щодо визначення необхідного обсягу транспортної роботи, потреб у коштах для заміни зношених основних засобів та реалізації інших проектів, що забезпечують розвиток системи міського пасажирського транспорту та не перешкоджають реалізації інвестиційних проектів;

- не розроблений і не діє механізм стимулювання зниження витрат (метод ціноутворення, який застосовується на підприємствах міського пасажирського транспорту згідно з чинним законодавством, як правило, компенсується лише зростанням тарифів);

- норматив рентабельності, який закладено в тариф та який визначає прибуток міського пасажирського транспорту від основного виду діяльності, має обмежувальний характер та не підкріплений об'єктивно необхідним

економічним обґрунтуванням і тому стримує розвиток міського пасажирського транспорту;

- рівень прибутку, що закладений у тарифи, не пов'язаний з обсягами вкладених інвестицій;

- рівень тарифів не залежить від якості послуг, що надаються.

Зазначені недоліки суттєво ускладнюють встановлення економічно обґрунтованих тарифів на пасажирські перевезення. При цьому економічно обґрунтованим рекомендується вважати такий рівень тарифів, який:

- дозволяє компенсувати економічно обґрунтовані витрати на забезпечення транспортної роботи;

- забезпечує отримання прибутку, необхідного для ефективного функціонування в ринковому середовищі;

- сприяє розмежуванню природно-монопольного та потенційно конкурентних секторів галузі міського пасажирського транспорту;

- обумовлює подальший розвиток конкуренції в потенційно конкурентних секторах галузі міського пасажирського транспорту.

Отже, метою дослідження в цьому розділі є обґрунтування структури тарифу на перевезення пасажирів у межах міст України міським електричним транспортом та розробка концептуальних положень методики розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на пасажирські перевезення, які відповідають завданням розвитку транспортної інфраструктури міст.

В рамках Програми економічних реформ України обґрунтовані тарифи сприятимуть вирішенню таких завдань:

- підвищення інвестиційної привабливості об'єктів транспортної інфраструктури;

- модернізація та розвиток вагонного та машинних парків;

- тарифне стимулювання впровадження інновацій (прогресивних перевізних технологій, досягнень науково-технічного прогресу тощо) на міському пасажирському транспорті;

- стимулювання перевезень із використанням власного рухомого складу;

– створення економічних механізмів, спрямованих на зацікавлення учасників ринку міських пасажирських транспортних послуг в модернізації та оновленні виробничих фондів, у тому числі транспортної інфраструктури.

Практика ціноутворення, калькулювання собівартості, обліку витрат і доходів від діяльності суб'єктів комунального сектора економіки та їх фінансові результати залежать від досконалості чинного законодавства з питань регулювання тарифів, його методичного забезпечення та коректного застосування у практичній діяльності органів виконавчої влади і органів місцевого самоврядування.

Сьогодні ціноутворення потребує вдосконалення з урахуванням практичних рекомендацій та теоретичних розробок, а саме – врахування в тарифах інвестиційної складової. Суть методики, де має застосовуватися інвестиційна складова, полягає в тому, що при формуванні і встановленні тарифів на послуги підприємств МЕТ з позиції економічної доцільності включають витрати на здійснення капітальних вкладень (на практиці це названо інвестиційною складовою). Зокрема, до повної планованої собівартості послуг у складі фінансових витрат включають «витрати із створення резервного капіталу, що спрямовується на капітальні інвестиції» [68], «витрати із здійснення капітальних вкладень, створення спеціальних інвестиційних фондів ...згідно із затвердженою в установленому порядку програмою розвитку систем...» [70]. При цьому витрати на здійснення капітальних вкладень визначаються як «...витрати, пов'язані з будівництвом, реконструкцією, модернізацією основних фондів, а також з придбанням нематеріальних активів, що підлягають амортизації згідно із законодавством» [71]. Разом з тим, сьогодні встановлено, що «...у процесі формування тарифів підприємство визначає джерела фінансування витрат на капітальні інвестиції за рахунок амортизації та планованого прибутку» [69].

Аналізуючи наведені норми, варто відзначити їх суперечливий зміст, невідповідності основам калькулювання собівартості послуг та планування діяльності, оскільки витрати на капітальні інвестиції не відносяться до витрат

на виробництво послуг (продукції, робіт). Практична діяльність підприємств показала, що зазначені постанови КМУ не тільки не усунули наявних обліково-економічних проблем, пов'язаних з інвестиційною складовою в тарифах і взагалі з ціноутворенням послуг у сфері міського пасажирського транспорту; а ще більше поглибили їх внесенням змін [70], якими для цілей калькулювання запроваджено обмежувальні норми податкового законодавства, що спричинило значні розбіжності та погіршення фінансового стану суб'єктів господарювання.

Спираючись на наявність зазначених норм щодо інвестиційної складової, підприємства у процесі калькулювання і встановлення (перегляду) тарифів намагаються включати цю складову в розрахунки тарифів, а органи місцевого самоврядування затверджують (погоджують) ці тарифи, спираючись на висновки цінових інспекцій. Аналіз актів, прийнятих органами місцевого самоврядування в останні роки, свідчить, що рішення про перегляд тарифів на послуги перевезення пасажирів міським електротранспортом затверджуються набагато частіше у разі включення витрат на капітальні вкладення. Так, у Львові, Дніпрі, Одесі, Славутичі, Харкові, Хмельницькому, Луцьку, Києві, Нововолинську, Комсомольську затверджені тарифи включають витрати на здійснення капітальних вкладень («інвестиційної складової»). Але, оскільки сьогодні немає схеми ефективного регулювання тарифів на послуги міського електротранспорту, то використання інвестиційної складової практично не аналізується і не контролюється. Така ситуація обумовлена низкою чинників:

- такі кошти (витрати) окремо не обліковуються, тобто має місце недостатність економічної і, зокрема, облікової інформації;
- показники, якими вони вимірюються (оцінюються), не включені до форм фінансової, державної або галузевої статистичної звітності, а отже, органи місцевого самоврядування та контрольно-ревізійні служби їх не аналізують, а громадськість не вимагає звітності підприємств щодо зібраних коштів, процесу та ефективності їх освоєння та повноти цільового використання на інвестиційні програми з розвитку міських (сільських, селищних) комунальних інженерних систем. Отже, нормативні положення

згаданих постанов щодо витрат на інвестиційні цілі існують, але вони економічно необґрунтовані, суперечливі, недієві й неефективні, не мають методичного забезпечення, незрозумілі для практичного застосування підприємствами міського електротранспорту, органами державної виконавчої влади та органами місцевого самоврядування.

Аналіз нормативних документів, рішень органів місцевого самоврядування [58–62; 64–66; 68–73; 76; 80; 82], актів перевірок державних контролюючих органів і рішень господарських судів взагалі свідчать про недосконалість чинних механізмів ціноутворення, відсутність методичного забезпечення для їх практичного застосування, об'єктивну необхідність їх вдосконалення шляхом оновлення чи фундаментальної переробки на базі економічно обґрунтованої концепції і принципів ціноутворення.

Практика підтверджує наявність неврегульованих питань щодо інвестиційної складової у тарифах. Проведені дослідження наукових робіт, діяльності підприємств, рішень органів місцевого самоврядування з питань тарифів свідчать про необхідність поглибленого розгляду обліково-економічних аспектів включення інвестиційної складової до складу тарифів на послуги у сфері міського пасажирського транспорту.

Разом з тим, аналіз звернень підприємств до аудиторів із запитом про роз'яснення існуючих норм свідчить про те, що є багато питань організаційно-економічного характеру щодо визначення інвестиційної складової та її використання у процесі формування тарифів.

Узагальнення та систематизація неврегульованих та невирішених обліково-економічних питань дали можливість класифікувати ці питання у складі семи груп:

1. У чому полягає економічна сутність інвестиційної складової в тарифах, тобто, врахування витрат у тарифах на капітальні вкладення? За своєю економічною сутністю це є витрати, створений резерв чи плановане цільове використання прибутку як фінансового результату діяльності підприємства?

2. Чи потрібно в нормативній базі закріпити термін «інвестиційна складова» для цілей ціноутворення, контролю та регулювання діяльності підприємств?

3. Чи потрібна для управління планова та облікова аналітична інформація щодо розміру інвестиційної складової за умов регульованої діяльності суб'єкта природної монополії і чи доцільно (обов'язково) вести відокремлений бухгалтерський облік (управлінський облік) коштів інвестиційної складової? Чи достатньо підприємству мати планові економічні розрахунки чи потрібно враховувати господарські операції щодо інвестиційної складової в доходах у системі рахунків Робочого плану рахунків бухгалтерського обліку активів, капіталу, зобов'язань і інших операцій підприємства?

4. В який спосіб забезпечити організацію обліку фактично нарахованих, отриманих і використаних сум інвестиційної складової з погляду на специфіку побудови організаційно-функціональної структури управління комунальним підприємством (наявність абонентського відділу чи відділу збуту як відокремленого структурного підрозділу, виконання функції обліку заборгованості і доходів з продажу послуг головним бухгалтером чи бухгалтерією тощо) та яка є відповідальність за відсутність такого обліку? Якими принципами керуватися при розробці порядку розподілу коштів, отриманих від реалізації послуг, з метою виділення суми інвестиційної складової і визначення механізму її використання?

5. Чи підлягають такі витрати, заплановані у складі прибутку, використанню з метою здійснення капітальних вкладень відшкодуванню бюджетними коштами як різниці в тарифах для населення за умови їх затвердження органами місцевого самоврядування нижчими від економічно обґрунтованих тарифів?

6. Чи правильним і обґрунтованим є включення інвестиційної складової до розрахунку з погашення заборгованості з різниці в тарифах на послуги, що постачалися населенню, за рахунок субвенції з Державного місцевого бюджетам згідно з Постановами КМУ, які приймалися в 2006 та 2008 рр., та субвенції,



передбаченої ст. 53 Закону України «Про Державний бюджет України на 2009 рік» [81; 68–69; 83].

7. Якою мірою є справедливим включення інвестиційної складової у тарифи на послуги міського електротранспорту до валового доходу підприємства та оподаткування податком на додану вартість, якщо це приводить, з одного боку, до зростання тарифів на послуги і соціального напруження, а з іншого – до вимивання фінансових ресурсів з регіонів?

Вперше поняття і визначення терміну «інвестиційна складова» запроваджено в сучасній нормативно-правовій базі України в 2004 р., і не очікувалось, що таке нововведення спричинить на практиці низку проблемних питань. Інвестиційна складова згідно з Постановою НКРЕ України від 04.05.06 № 563 [76] «...це – кошти, необхідні ліцензіату для фінансування капітальних вкладень, що спрямовуються на розвиток виробничої діяльності в межах ліцензованої діяльності в період регулювання, які є складовою розрахункового прибутку (додаткове до амортизаційних відрахувань джерело фінансування інвестиційної діяльності)». Пунктом 9.2.1 цієї Постанови також зазначено, що «...інвестиційна складова встановлюється для фінансування заходів, спрямованих на реалізацію інвестиційних проектів (програм) за рахунок власних коштів ліцензіата та повернення позикового капіталу. Інвестиційна складова визначається на основі розроблених та в установленому порядку затверджених інвестиційних проектів (програм) ліцензіата в межах ліцензованої діяльності». Інших визначень терміну в нормативно-правових актах не виявлено.

Виходячи з викладеного вище, слід визначити концептуальний підхід щодо економічної суті, визначення інвестиційної складової, її визнання та порядку формування витрат зі здійснення капітальних вкладень. Нині вона має статус витрат, а, на наш погляд, по суті, є коштами цільового фінансування (резервом, фондом) або пайової участі споживачів у технічному переоснащенні основних засобів підприємств міського електротранспорту.

Очевидно, що для здійснення ефективного контролю за використанням коштів інвестиційної складової необхідно мати достатньо інформації, особливо облікової, про:

- нараховані обсяги інвестиційних коштів;
- суми, які фактично отримані від споживачів послуг (тобто їх частка в оплаченому доході);
- кошти, які фактично використані за цільовим призначенням, тобто вкладені в технічне переоснащення, енергозбереження тощо.

Тобто після прийняття рішень органами місцевого самоврядування про включення витрат на здійснення капітальних вкладень згідно із затвердженими інвестиційними програмами до складу тарифів на перевезення пасажирів, в управлінні підприємства виникає важливе завдання формування облікової політики з організації і методики обліку коштів інвестиційної складової, реєстрації даних на синтетичних рахунках бухгалтерського обліку про обсяги капітальних інвестицій (аналітичних – у розрізі інвестиційних проектів) та узагальнення даних про використання прибутку в частині здійснених капітальних інвестицій.

Схема формування інвестиційної складової в тарифах на послуги міського електротранспорту з урахуванням оновлення рухомого складу та встановлення системи АСОП наведена на рис. 4.1.

Напрямки цільового використання інвестиційної складової в тарифах на послуги міського електротранспорту та схему організації планування інвестиційної складової у тарифах на послуги міського електротранспорту наведено на рис. 4.2, 4.3 відповідно.

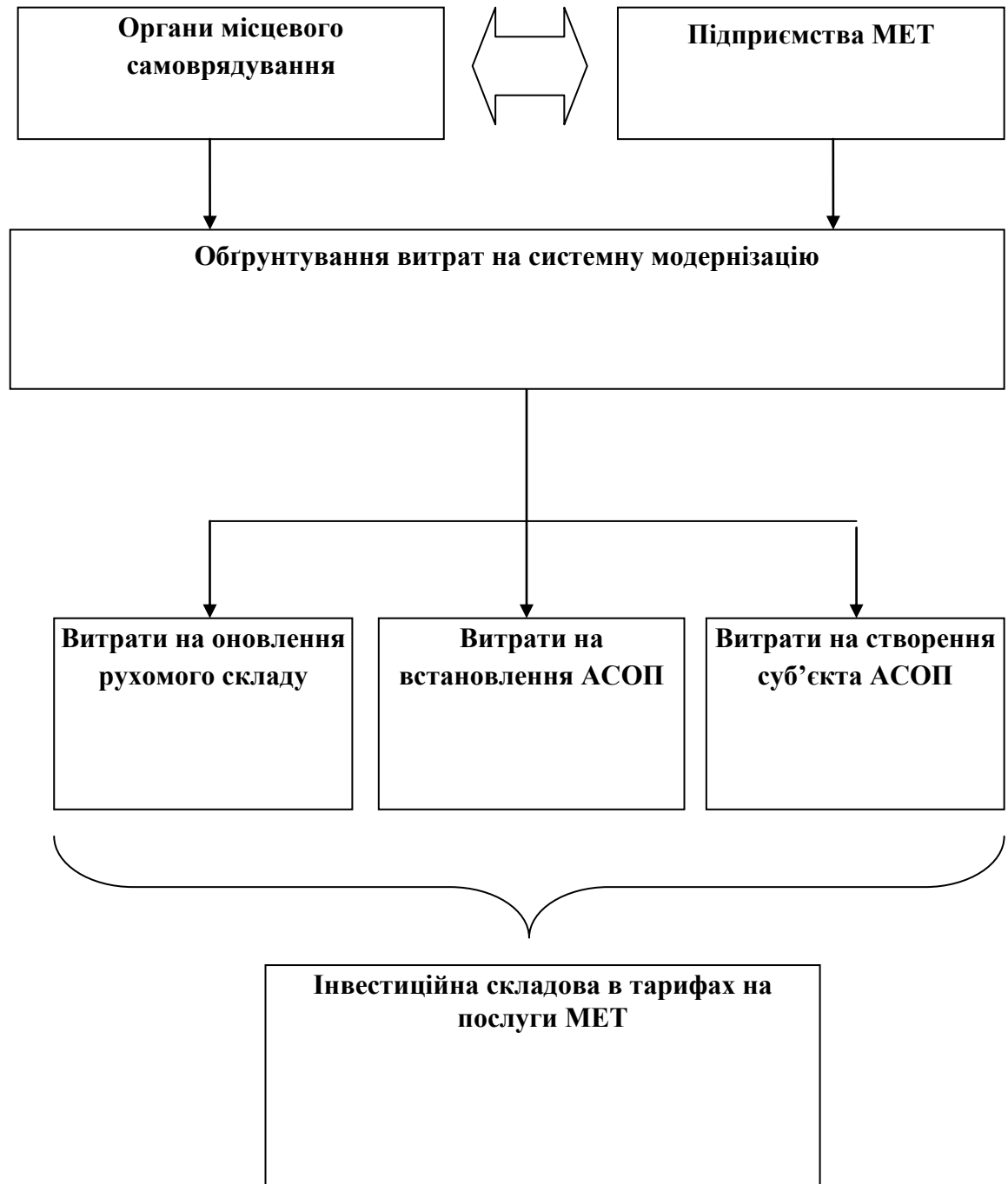
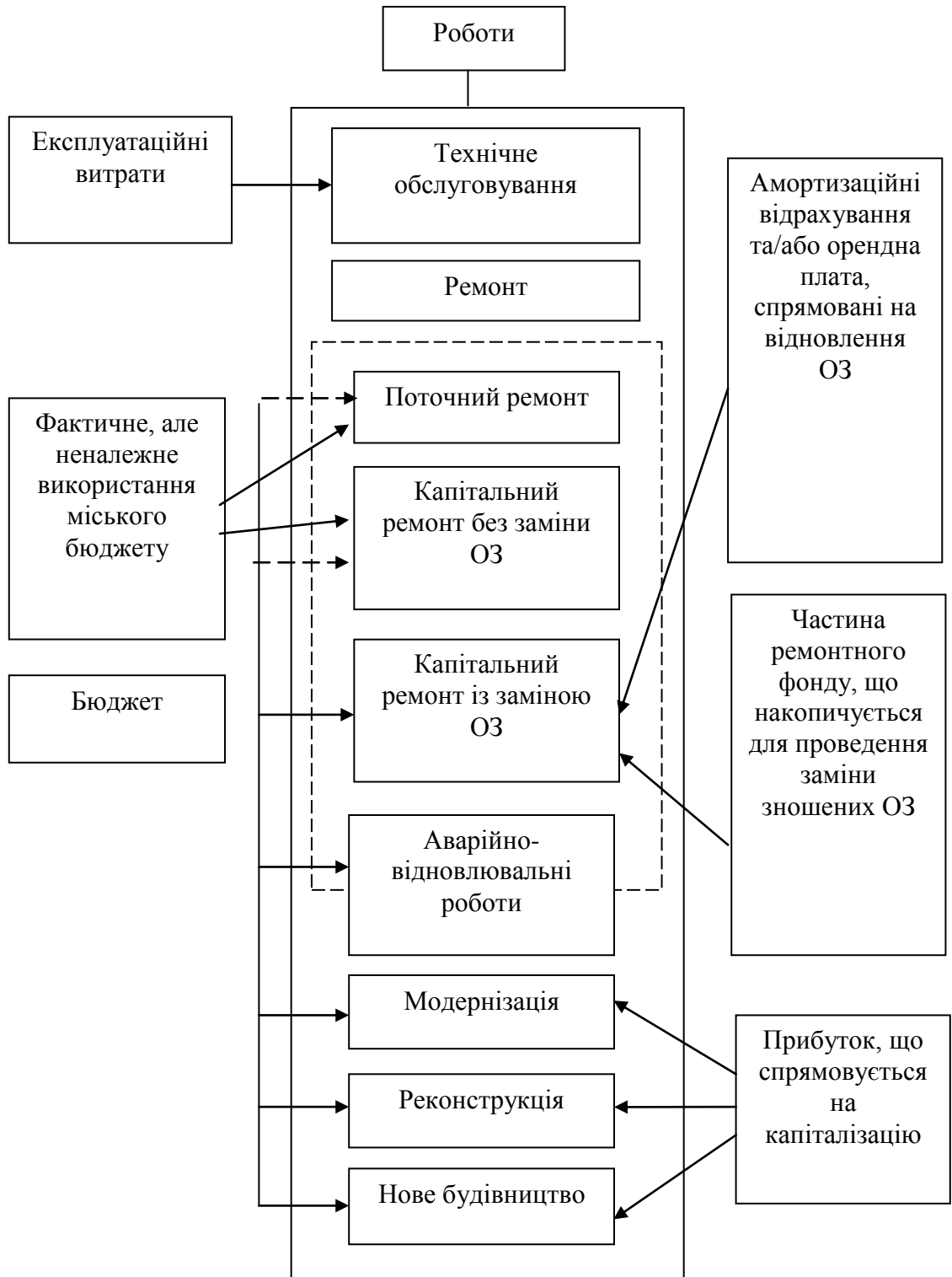


Рис. 4.1. Схема формування інвестиційної складової в тарифах на послуги міського електротранспорту



Примітка: ОЗ – основні засоби

Рис. 4.2. Напрями цільового використання інвестиційної складової в тарифах на послуги міського електротранспорту

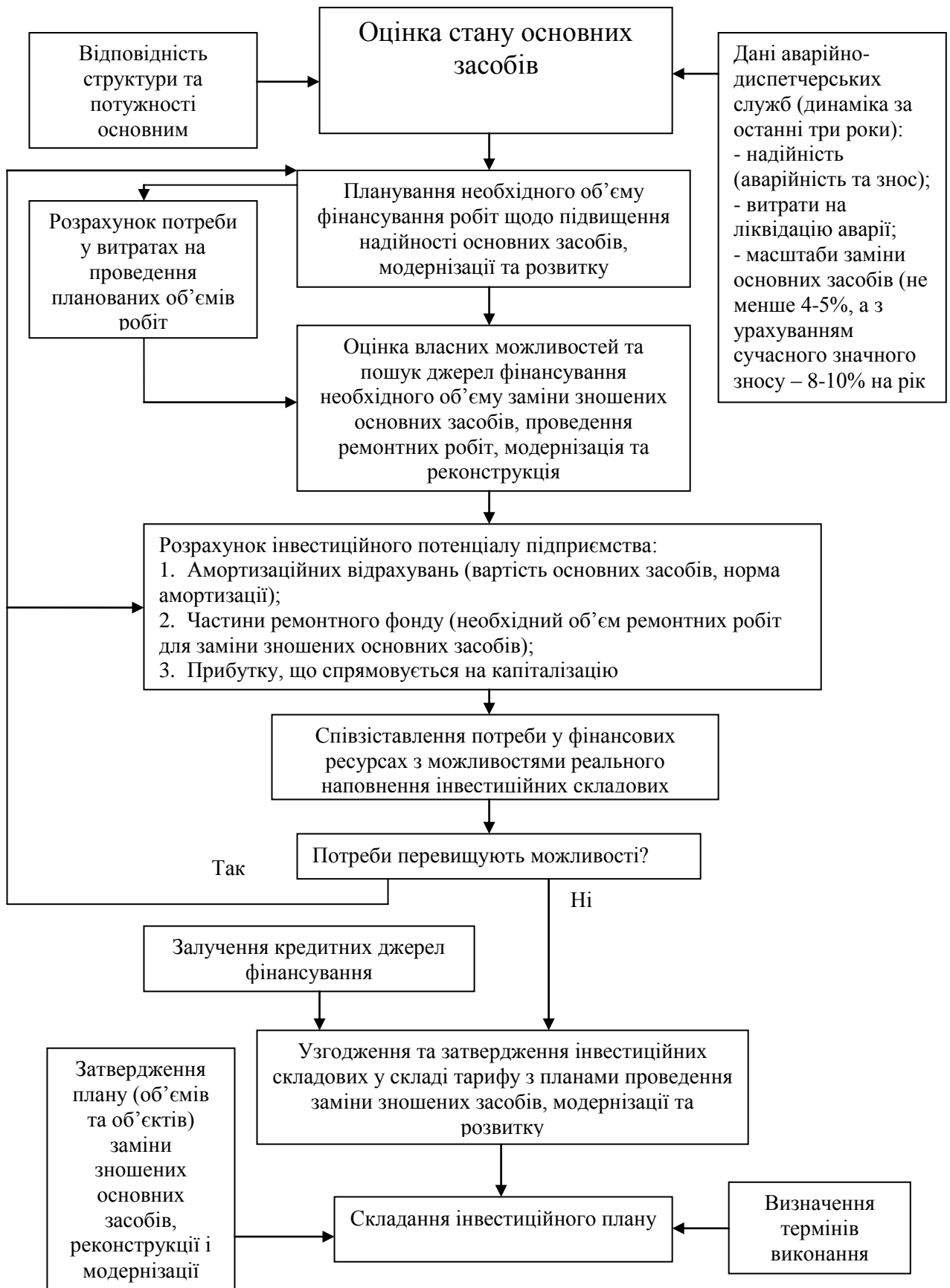


Рис. 4.3. Схема організації планування інвестиційної складової в тарифі на послуги міського електротранспорту

Основна тактична мета підприємств МЕТ – розрахунок величин планових доходів перевізників та бюджетного фінансування різних рівнів, що забезпечать стабільну та прибуткову діяльність перевізників. Досягнення мети передбачає впровадження механізму формування доходів, які перевізники повинні одержувати за виконану роботу – випуск необхідної кількості транспортних засобів на маршрути. Доходи перевізника повинні повністю покривати економічно обґрунтовані видатки на перевезення та забезпечувати можливість одержання прибутку, достатнього для економічно стійкої діяльності перевізника, своєчасного відновлення транспортних засобів та іншого обладнання.

В основу необхідно покласти алгоритм розрахунків економічно обґрунтованої величини вартості 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу певного типу (марки) на маршруті. Ця величина є основою фінансових взаємин між перевізником і замовником послуг (органом місцевого самоврядування) щодо перевезення пасажирів. Фінансові розрахунки між ними повинні проводитися на підставі даних про пробіг транспортних засобів за розрахунковий період з урахуванням типажу транспортних засобів і економічно обґрунтованої вартості 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу. Саме економічно обґрунтована вартість 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу є базовою величиною, на основі якої розраховується тариф на перевезення одного пасажирів.

На основі економічно обґрунтованої величини вартості 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу необхідно розробити:

- алгоритм розрахунків економічно обґрунтованої вартості планової роботи (випуску на маршрут транспортних засобів певної кількості та типу) одного або декількох перевізників на обраних конкретних маршрутах у будь-який заданий період часу, відповідно до діючого або планового розкладу;
- алгоритм розрахунків економічно обґрунтованої величини тарифу на перевезення одного пасажирів (або пасажиро-кілометра);

- механізм оцінки необхідних обсягів бюджетного фінансування пасажирських перевезень, що забезпечить стабільну роботу пасажирського транспорту.

Величина економічно обґрунтованої величини вартості 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу також може бути використана з метою визначення початкової вартості контракту при проведенні конкурсу на право укладання договору на перевезення пасажирів відповідно до замовлення на конкретній маршрутній мережі за встановленим розкладом із заданим типажем транспортних засобів.

Під економічно обґрунтованою величиною вартості 1 км пробігу пасажирського транспортного засобу, яка включає собівартість і рентабельність (у тому числі інвестиційну складову) будемо розуміти таку його величину, що дозволяє:

- забезпечувати виконання випуску перевізником на маршрут певної кількості і усіх наявних типів транспортних засобів за умови дотримання нормативних вимог щодо безпеки перевезень;

- встановлювати рівень оплати праці персоналу перевізника, що забезпечує професійну придатність і стабільність його складу;

- забезпечувати економічно стійку діяльність перевізника, а також відновлення парку транспортних засобів та інших основних засобів, технологічно пов'язаних із забезпеченням перевезень.

Сьогодні, згідно з Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 25 березня 2008 року № 71 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку тарифів на послуги міського електротранспорту» [90] розрахунок тарифів на послуги міського електричного транспорту здійснюється відповідно до запланованого на рік обсягу транспортної роботи підприємств та економічно обґрунтованих планових витрат, визначених на підставі галузевих та інших нормативів, техніко-економічних розрахунків, кошторисів, ставок податків і зборів (обов'язкових

платежів) та прогнозованих цін на промислову продукцію і послуги у плановому періоді.

Запланований на рік обсяг та показники якості транспортної роботи підприємств визначаються на підставі договору, укладеного між органом місцевого самоврядування і підприємством-перевізником з урахуванням заходів, спрямованих на поліпшення якості та безпеки перевезень пасажирів міським електричним транспортом, та місцевих програм розвитку цього виду транспорту, що містять положення:

- про введення нових потужностей підприємств та збільшення обсягів пасажироперевезень;
- про дотримання всіх встановлених видів технічного обслуговування, ремонту об'єктів міського електричного транспорту та дотримання періодичності їх виконання;
- про підвищення рівня технологічного оснащення виробничої бази та впровадження прогресивних технологій;
- про вдосконалення організації та управління пасажирськими перевезеннями;
- про поліпшення умов безпеки руху, екологічної безпеки та охорони праці;
- про раціональне розташування маршрутних схем міського транспорту загального користування.

Заходи, пов'язані з поліпшенням технічного та технологічного рівня виробничої бази, реконструкцією об'єктів міського електротранспорту, ресурсо- та енергозбереженням, удосконаленням систем управління пасажирськими перевезеннями, повинні передбачатися програмами розвитку міського електричного транспорту, затвердженими місцевими органами виконавчої влади.

Планування витрат, що включаються до повної планової собівартості послуг міського електротранспорту, здійснюється з урахуванням витрат на



операційну діяльність та фінансових витрат, пов'язаних з перевезеннями пасажирів [294].

До планових витрат на операційну діяльність включаються:

- планова виробнича собівартість послуг міського електричного транспорту;
- адміністративні витрати;
- витрати на збут послуг міського електричного транспорту;
- інші витрати операційної діяльності.

Планування витрат здійснюється із застосуванням нормативного методу. Розмір фінансових витрат визначається відповідно до кредитних та інших договорів та чинного законодавства. Розрахунок тарифів ( $T$ ) на послуги міського електричного транспорту складається з визначення розміру економічно обґрунтованих планових витрат підприємства на перевезення одного пасажирів та визначається за формулою [294]:

$$T = W + R - D Q , \quad (4.1)$$

де  $W$  – повна планова собівартість послуг міського електричного транспорту, грн;  $R$  – планова рентабельність підприємства (встановлюється та регулюється місцевими органами виконавчої влади);  $D$  – чистий дохід, отриманий підприємством від інших видів діяльності, грн;  $Q$  – загальний запланований обсяг пасажироперевезень.

Сьогодні порядок формування тарифів на послуги міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) не містить розділу щодо порядку затвердження (встановлення) тарифів. Статтею 8, п. 3 Закону України від 29.06.2004 № 1914-IV «Про міський електричний транспорт» [73] передбачено, що тарифи на проїзд встановлюють НКРЕ та органи місцевого самоврядування.

Процедура розгляду та затвердження тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом здійснюється у п'ять стадій, послідовність яких зображено на рис. 4.4.

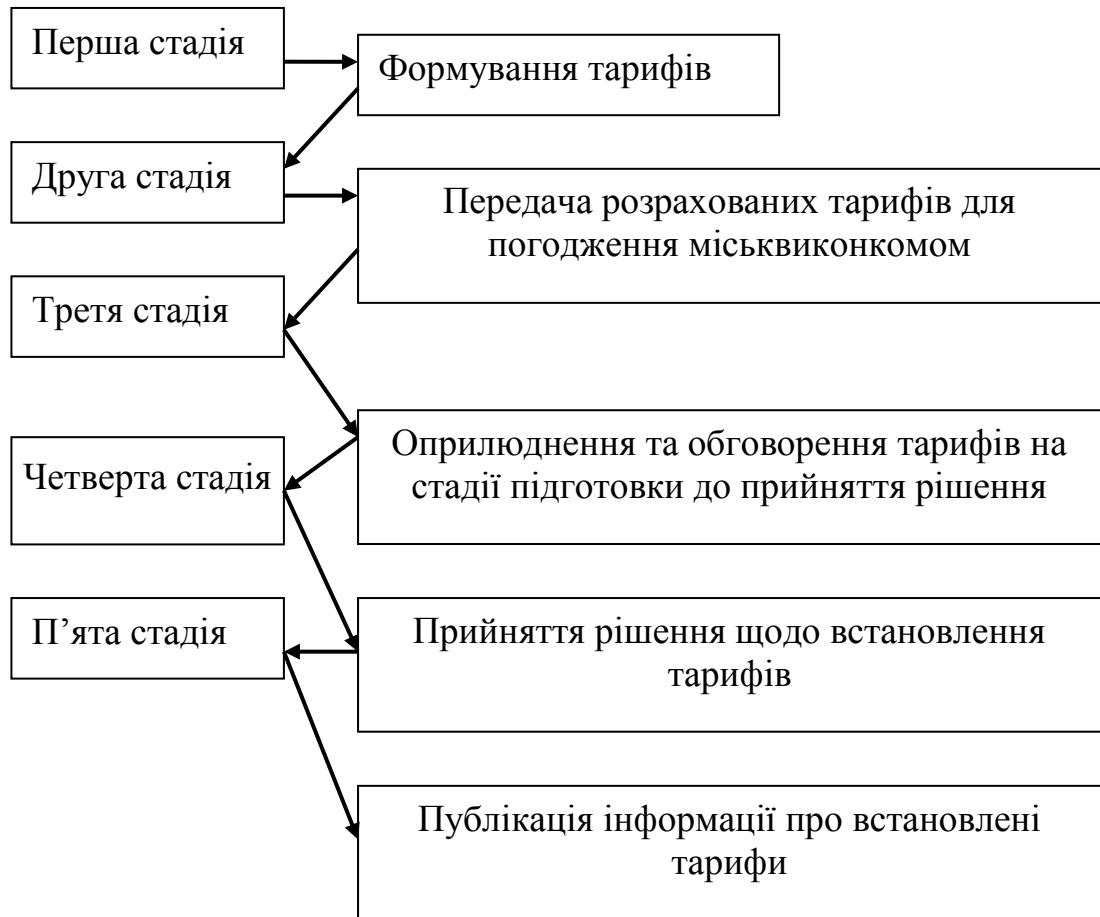


Рис. 4.4. Процедура розгляду та затвердження тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом

#### Стадія 1. Формування тарифів

Підприємство самостійно або за дорученням місцевого органу виконавчої влади розраховує величину тарифу згідно з вимогами законодавства та методичними рекомендаціями. Розрахунки супроводжуються обґрунтуваннями. Форма обґрунтування має бути попередньо встановлена та узгоджена регламентом місцевого органу виконавчої влади щодо прийняття рішення з цього питання.

Стадія 2. Передача розрахованих тарифів для погодження міськвиконкомом

Проект розрахованих тарифів передається у відповідні підрозділи місцевого органу виконавчої влади для розгляду.

Стадія 3. Оприлюднення та обговорення тарифів на стадії підготовки до прийняття рішення

Орган місцевої виконавчої влади оприлюднює проект тарифів та адресу, за якою споживачі можуть ознайомитися з обґрунтуванням та розрахунками, а також повідомляє про термін, протягом якого споживачі можуть надавати письмові зауваження та пропозиції для розгляду.

Прийняття рішення щодо встановлення тарифів базується на такій інформації:

1) згідно з методичними рекомендаціями щодо розрахунку тарифів на послуги міського електротранспорту:

- запланований обсяг транспортної роботи;
- розшифрування витрат планової виробничої собівартості послуг;
- розшифрування витрат повної планової собівартості послуг, що надаються міським електричним транспортом;
- норми витрат матеріальних та трудових ресурсів, які використовувалися під час розрахунку тарифів;
- розшифрування розподілу чистого прибутку (у разі його планування) згідно з наказом Міністерства фінансів України від 19.12.2006 № 1213 [93];
- план заходів, спрямованих на поліпшення технічного та технологічного рівня виробничої бази, реконструкцію об'єктів міського електротранспорту, ресурсо- та енергозбереження, удосконалення систем управління пасажирськими перевезеннями, що передбачені місцевими програмами розвитку міського електричного транспорту та затверджені органами виконавчої влади (органами місцевого самоврядування);
- фінансовий план підприємства на плановий рік;
- моніторинг цін і тарифів на електроенергію та інші енергоносії, паливо, матеріально-технічні ресурси;

2) згідно з методичними рекомендаціями щодо розрахунку тарифів на послуги міського електротранспорту: розрахунок тарифів на послуги міського електричного транспорту.

Цей перелік може бути доповнений іншими розрахунками та обґрунтуваннями.

#### Стадія 4. Прийняття рішення щодо встановлення тарифів

Рішення про встановлення тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом приймається згідно з визначеним регламентом.

#### Стадія 5. Опублікування інформації про рівень встановлених тарифів

Інформація щодо результатів розгляду та рішення стосовно встановлених тарифів публікується в засобах масової інформації.

У прийнятому рішенні місцевих органів виконавчої влади повинна бути зазначена дата введення в дію затвердженого тарифу. Починаючи з цієї дати, підприємство має право проводити розрахунки зі споживачами згідно із затвердженим тарифом [294].

Механізм коригування тарифів запроваджується у разі зміни протягом установленого строку дії попередніх тарифів ставок податків, зборів (обов'язкових платежів), рівня заробітної плати на підприємствах відповідно до актів законодавства, ставок орендної плати, інших обов'язкових платежів і зборів, цін і тарифів на паливно-енергетичні та матеріальні ресурси [293].

Метою коригування тарифів є забезпечення повного відшкодування економічно обґрунтованих планових витрат, які входять до складу повної собівартості наданих послуг з перевезення пасажирів [294].

## **4.2 Принципи та етапи впровадження економічно обґрунтованих тарифів на пасажирські перевезення**

У системі МЕТ основним, практично єдиним джерелом (ресурсом) забезпечення стійкого, надійного та якісного функціонування підприємств та забезпечення їх розвитку є сплата за проїзд, що в поточному режимі часу сплачують пасажирів (споживачі цих послуг). Розмір такої сплати визначається тарифом, а обсяг коштів, які від цього отримують підприємства-перевізники, залежить від економічної обґрунтованості, при чому не одного конкретного

тарифу, а всієї тарифної системи. Сьогодні проблема економічно обґрунтованих тарифів є однією з найбільш гострих як в економічній діяльності МЕТ, так і в сфері забезпечення соціальної захищеності населення регіонів. Теоретико-методичною базою встановлення економічно обґрунтованих тарифів у ринковій системі економічних відносин є положення такого змісту: економічно обґрунтований тариф є таким, що забезпечує прибуткову діяльність надавача послуг з необхідною для його розвитку нормою рентабельності та відповідає прийнятному рівню платоспроможності споживача послуг (за показником усередненого значення по масиву споживачів, який зазвичай у світовій практиці визначають нормативом допустимих витрат з бюджету домогосподарств на послуги ЖКГ (орієнтовно  $10 \div 12$ )).

Зараз встановлення економічно обґрунтованого тарифу на послуги ЖКГ – це ключове питання функціонування галузі в ринкових умовах. Крім того, вирішення цього питання важливе і для інших галузей національної економіки – нафтогазової, електро- і теплоенергетики, водозабезпечення в цілому системи транспорту та доріг. У цих галузях тариф є реальним і виступає в якості найбільш впливового інструменту регулювання економічних процесів та відносин.

Отже, всі перелічені галузі задіяні в економічному відтворювальному процесі, де кінцевим споживачем і платником є населення. Питання «що первинне, а що вторинне» в цьому аспекті не стоїть. Первинні в економічному процесі – комунальні тарифи.

Система МЕТ має власну специфіку формування економічно обґрунтованих тарифів, що і враховується в нашому дослідженні. В процесі побудови економічно обґрунтованих тарифів пропонується врахувати такі принципи (деякі з них враховані в роботі [292]):

- 1) диференціація тарифів за транспортно-технологічними ознаками;
- 2) забезпечення розвитку конкурентного середовища у сфері пасажирських перевезень;
- 3) сприяння створенню організаційно-економічних умов для фінансової незалежності окремих груп перевізників;

4) створення тарифних умов для забезпечення рівного доступу суб'єктів господарювання до об'єктів інфраструктури міського пасажирського транспорту загального користування;

5) створення економічної основи для дерегулювання плати за послуги, що надаються в потенційно конкурентних секторах;

б) забезпечення повного компенсування витрат всіх учасників процесу перевезень з отриманням економічно обґрунтованого прибутку, який надає можливість перейти від звуженого відтворення засобів виробництва (яке характеризується прогресуючим зростанням фізичного та морального зношування основних засобів) до інтенсивного розширеного відтворення (якому притаманна інноваційність, що характеризується зменшенням фізичного та морального зношення основних засобів, придбанням нового, якісного рухомого складу та модернізацією транспортної інфраструктури), в першу чергу за рахунок використання інвестиційної складової тарифу;

7) забезпечення прозорості тарифів за рахунок виділення в економічному обліку інфраструктурної, вагонної, машинної складових витрат та прибутку з урахуванням інвестиційної складової;

8) забезпечення узгодженості економічних інтересів усіх учасників процесу перевезення пасажирів та держави;

9) забезпечення методичної єдності структури і системи побудови тарифів на всій території України;

10) використання середньої по мережі собівартості перевезень за базовий період, як основи для встановлення економічно обґрунтованих тарифів;

11) врахування необхідності формування інвестиційної складової для визначення долі інвестицій на придбання нового рухомого складу, його модернізацію та модернізацію іншого господарства транспортних підприємств, що використовується для забезпечення сталих умов у системі перевезень пасажирів;

12) поступова відмова від перехресного субсидування одного виду господарської діяльності за рахунок іншого.

Встановлення економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом відбувається у такій послідовності:

1. Розробка структури та порядку розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом.
2. Розробка методики розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом.
3. Розробка порядку перегляду тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом.
4. Розробка механізму компенсації перевізникам недоотриманих доходів у період до підвищення тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом до економічно обґрунтованого рівня.

Порядок розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом повинен містити такі розділи:

1. Оцінка рівня фактичної собівартості пасажирських перевезень за базовий період.
2. Оцінка рівня собівартості пасажирських перевезень міським електротранспортом у прогностичному періоді.
3. Оцінка рівня інвестиційної складової у тарифі на перевезення пасажирів міським електротранспортом.
4. Оцінка економічно обґрунтованого рівня рентабельності тарифів на перевезення пасажирів міським електротранспортом.

Структура економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом обумовлюється принципами, що покладені в основу їх формування, а саме:

1. Забезпечення конкуренції у сфері пасажирських перевезень обумовлює необхідність виділення в тарифі складових, які належать до природно-монопольного (інфраструктурна складова) та потенційно конкурентного (вагонної та машинної складових) секторів. Відмінності у встановленні економічно обґрунтованих цін на продукцію суб'єктів природних монополій та суб'єктів господарювання конкурентних ринків обумовлюють виокремлення у

структурі тарифу міського пасажирського транспорту інфраструктурної складової, без чого також неможливо реалізувати принцип створення тарифних умов для забезпечення рівного доступу приватних операторів до транспортної інфраструктури.

Виділення у структурі тарифу на перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом вагонної та машинної складових обумовлюється також необхідністю створення економічної основи для дерегулювання плати за послуги, що надаються в потенційно конкурентних секторах.

2. Забезпечення повного компенсування витрат всіх учасників процесу перевезень і отримання економічно обґрунтованого прибутку та забезпечення збалансованості економічних інтересів всіх учасників перевізного процесу, пасажирів, підприємств, територіальних громад та держави, що можливо лише за умови виокремлення в тарифі плати за послуги кожного учасника пасажирського перевезення з метою встановлення його економічно обґрунтованого рівня.

3. Забезпечення прозорості тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом, що включатиме плату за початково-кінцеві операції (з виділенням інфраструктурної, машинної та вагонної складових) та плату за операцію руху (також з виокремленням зазначених складових). Крім того, як за початково-кінцевими, так і за рухомими операціями, кожна складова (інфраструктурна, машинна та вагонна) включатиме 2 окремі частини:

- частина собівартості перевезення, що припадає на кожную складову за кожною операцією перевізного процесу;
- частина прибутку, що припадає на кожную складову за кожною операцією перевізного процесу.

Тарифи на перевезення пасажирів міським електричним транспортом встановлюються на основі фактичної собівартості та обґрунтованого рівня рентабельності. За таких умов ціноутворення щодо пасажирських перевезень забезпечує лише відтворення витрачених ресурсів на рівні минулого періоду, що об'єктивно приводить до звуженого відтворення засобів виробництва і



зниження ефективності функціонування галузі. Отже, оцінка рівня фактичних витрат та собівартості міських пасажирських перевезень є лише необхідною, але недостатньою умовою економічно обґрунтованих тарифів.

В подальшому важливо оцінити рівень собівартості пасажирських перевезень міським електричним транспортом у прогнозному періоді (для якого встановлюються економічно обґрунтовані тарифи). Зміна обсягів перевезень приводить до зміни залежної частини витрат, при цьому умовно постійні витрати залишаються практично незмінними. Тому для оцінки рівня собівартості пасажирських перевезень у прогнозному періоді необхідно:

1) розподілити витрати на пасажирські перевезення за минулий період між операціями перевізного процесу та складовими (інфраструктурною, вагонною тощо);

2) щодо кожної статті витрат встановити питому вагу залежних від обсягів перевезень витрат;

3) для кожної складової (інфраструктурної, вагонної) за операціями перевізного процесу встановити питому вагу витрат, що залежать від обсягів перевезень.

Прогнозування рівня собівартості вантажних перевезень на період, для якого будуть встановлені тарифи, здійснюватиметься на основі складових собівартості за базовий період, прогнозних оцінок обсягів перевезень, прогнозу цінових змін електроенергії та інших ресурсів, прогнозу макроекономічних показників.

На наступному етапі визначається економічно обґрунтований рівень рентабельності та величина інвестиційної складової тарифів, виходячи з фінансових потреб міського електричного транспорту щодо забезпечення ефективності пасажирських перевезень, наявності парку рухомого складу відповідно до обсягів пасажироперевезень та завдяки покращення сервісу.

Відповідно до п. 2 ст. 15 Закону України «Про ціни і ціноутворення» [60] встановлення тарифів на перевезення на рівні «нижчому від економічно обґрунтованого розміру, без зазначення джерел для відшкодування різниці між

такими розмірами за рахунок коштів відповідних бюджетів не допускається і може бути оскаржено в судовому порядку».

### 4.3 Формування умов забезпечення економічно стійкої діяльності підприємств міського електричного транспорту

Під стійкою економічною діяльністю мається на увазі фінансова стабільність відповідно до вимог теорії аналізу фінансової діяльності організації і документів, що регламентують значення показників, які її визначають, а також рівень рентабельності, що дозволяє забезпечувати надійність та безпеку перевезень та можливість постійно мати необхідну суму коштів на розрахунковому рахунку.

Фінансова стабільність організації досягається за умови:

$$K_{пл} \geq 2; K_{оа} \geq 0,1; K_{зок} \geq 0,6, \quad (4.2)$$

де  $K_{зок}$  – коефіцієнт забезпеченості запасів власним обіговим капіталом, що розраховується за формулою  $\frac{BK - ПЗА}{З} \geq 0,6$ ;  $K_{оа}$  – коефіцієнт забезпеченості оборотних активів власними обіговими коштами, що розраховується за формулою  $\frac{СК - ВНА}{ОА} \geq 0,1$ ;  $K_{пл}$  – коефіцієнт поточної ліквідності, який розраховується за формулою  $\frac{ОА}{ЗКК} \geq 2$ ;  $BK$  – величина власного капіталу;  $ОА$  – величина оборотних активів;  $ПЗА$  – необоротні активи;  $З$  – запаси;  $ЗКК$  – заборгованість кредиторська короткострокова.

Для забезпечення економічно стійкої діяльності підприємства необхідна друга складова – рівень рентабельності, що дозволяє забезпечувати надійність та безпеку перевезень, постійно мати необхідну суму коштів на розрахунковому рахунку і забезпечувати постійне зростання чистих активів підприємства. Найважливішим показником рентабельності ( $R_{np}$ ) є показник

рентабельності продажів, що являє собою відношення прибутків від продажів ( $\Pi_p$ ) до витрат на виробництво продукції (видаткам зі звичайних видів діяльності або повна собівартість, що включає управлінські видатки) ( $S$ ), тобто:

$$R_{np} = \frac{\Pi_p}{S} \times 100, \% . \quad (4.3)$$

Іншим показником є показник рентабельності обороту ( $R_o$ ):

$$R_o = \frac{\Pi}{B} \times 100, \% \quad (4.4)$$

де  $\Pi$  – прибуток до оподаткування підприємства;  $B$  – виручка від реалізації (доходи зі звичайних видів діяльності).

Для досягнення фінансової стабільності підприємства необхідно мати структуру балансу, при якій розглянуті коефіцієнти (формула (4.2)) відповідають нормативному значенню. Необхідна структура балансу може бути отримана шляхом реалізації відповідних заходів щодо організації і технології перевізного процесу, управління господарською діяльністю та фінансовими потоками. При цьому повинні бути виявлені шляхи підвищення доходів і зниження видатків та зпрогнозований баланс на майбутні періоди.

Прогнозний варіант балансу складається на основі очікуваного балансу з урахуванням тих змін, які повинні поліпшувати структуру балансу. Статті цього балансу збільшуються (зменшуються) з урахуванням операцій, які плануються у майбутньому році.

Так, вартість необоротних активів у частині основних засобів (ОЗ) збільшується на вартість ОЗ, що передбачається придбати, або на вартість реконструкції існуючих ОЗ, або з урахуванням переоцінки ОЗ, якщо вона планується до кінця поточного (планового) року, і зменшується на вартість ОЗ, що мають вибути, а також на величину амортизаційних відрахувань, що

плануються до нарахування. При цьому амортизація не нараховується по об'єктах ОЗ, споживчі властивості яких із часом не змінюються (земельні ділянки, об'єкти природокористування, об'єкти зовнішнього благоустрою та інші аналогічні об'єкти дорожнього господарства, об'єкти житлового фонду, якщо вони не використовуються для одержання доходу).

Для визначення прогнозованої величини запасів складається плановий бюджет усіх видів матеріальних видатків на передбачуваний обсяг перевезень у майбутньому році, виконуються розрахунки середньодобового споживання кожного виду матеріалів, аналізується практика нормування величини складських запасів, що фактично склалися. Нормування складських запасів і матеріальних витрат – одна із умов раціонального використання виробничих ресурсів. Під нормою виробничого запасу розуміють середній протягом року запас кожного виду матеріалів, прийнятий як перехідний запас на кінець планового року. Ця норма вимірюється в днях середньодобового споживання кожного виду матеріалу. Для транспортних організацій рекомендовані середньостатистичні норми запасів матеріальних ресурсів, а саме:

- паливо – 3-5 днів;
- мастильні і обтиральні матеріали – до 20 днів;
- запасні частини й агрегати – 15-20 днів;
- ремонтні матеріали – 60-70 днів;
- інструмент – 250 днів;
- спецодяг – 125 днів;
- шини – 30 днів.

Транспортні підприємства повинні прагнути до дотримання норм виробничих запасів кожного виду матеріалів. Відповідно у прогнозований баланс розраховується нормативна величина запасів як добуток середньодобового споживання кожного виду матеріалів на вищевказані рекомендовані норми запасів матеріальних ресурсів у днях.

Дебіторська заборгованість по балансу на кінець попереднього року збільшується на плановий обсяг продажів з урахуванням ПДВ і зменшується на

планову кількість коштів від покупців (замовників) у плановому періоді. Для перевірки реалістичності планової величини отриманих коштів від продажів необхідно проаналізувати за попередні періоди рівень оборотності дебіторської заборгованості в днях і порівняти цю величину з оборотністю дебіторської заборгованості в плановому періоді. Відхилення в той або інший бік повинні бути об'єктивно обумовлені: так, прискорення оборотності дебіторської заборгованості є позитивним явищем, що обумовлене зміною договірних умов поставок робіт (послуг), появи нових джерел надходжень тощо. При збереженні в плановому періоді основних умов господарювання попереднього року загальною рекомендацією для прогнозованого балансу щодо показника дебіторської заборгованості може бути така: середня дебіторська заборгованість, виходячи із прогнозного балансу, повинна забезпечувати як мінімум не погіршення показника оборотності дебіторської заборгованості в плановому році (у порівнянні з попереднім періодом). Плановий залишок коштів переноситься в прогнозований баланс із прогнозованого бюджету руху грошових коштів.

Кредиторська заборгованість постачальникам по балансу на кінець попереднього року збільшується на планову вартість закупівель з урахуванням ПДВ і зменшується на суму платежів постачальникам матеріалів, робіт, послуг у плановому періоді. Прогноз рахунків нарахувань складається шляхом прямого розрахунку у кореспонденції із прогнозом рахунку прибутків і збитків (у частині відповідних планових витрат). Аналогічно розраховується прогнозована кредиторська заборгованість з оплати праці, з податків і зборів, інша кредиторська заборгованість. У випадку користування банківським кредитом транспортне підприємство планує розрахунки з банком щодо залучення та повернення кредиту в прогнозованому бюджеті руху грошових коштів виходячи з умов укладеного кредитного договору, у прогнозований бухгалтерський баланс переноситься залишок непогашеної заборгованості на кінець планового періоду в частині основної суми боргу й банківських відсотків.

Для забезпечення необхідного для економічно стійкої діяльності рівня рентабельності важливе дотримання також і наступних умов:

$$K_i = \frac{B}{(A_{np} + A_{kp}) \cdot 0,5} \geq 2,5 \quad (4.5)$$

$$K_n = \frac{\Pi}{(CK_{np} + CK_{kp}) \cdot 0,5} \geq 0,2, \quad (4.6)$$

де  $K_i$  – інтенсивність обороту авансованого капіталу, що характеризує обсяг реалізованих робіт (послуг), що припадають на 1 грн коштів, вкладених у діяльність організації;  $B$  – виручка від реалізації;  $A_{np}$  і  $A_{kp}$  – суми активу балансу на початок і кінець року;  $K_n$  – обсяг прибутку, що доводиться на 1 грн власного капіталу;  $\Pi$  – прибуток до оподаткування;  $CK_{np}$  і  $CK_{kp}$  – власний капітал на початок і кінець року.

Рентабельність обороту для транспортної організації повинна відповідати співвідношенню (4.4).

Величина необхідної рентабельності обороту може бути визначена виходячи з вищенаведених нормативних значень коефіцієнтів  $K_n$  і  $K_i$  і коефіцієнта автономії ( $K_{авт}$ ), величина якого приймається рівною 0,6 ( $BK/(ПЗА+ОА) = BK/A = 0,6$ ). Виконавши розрахунки, одержимо величину

$$\text{нормативної рентабельності обороту: } R_o = \frac{\Pi}{B} = \frac{K_n}{K_i} \cdot K_{авт} = \frac{\Pi \cdot A \cdot BK}{BK \cdot B \cdot A}.$$

Отже, рентабельність обороту транспортної організації по прибутку до оподаткування повинна бути не менше 4,8 %.

Проведений аналіз показав, що величина рентабельності продажів, що розраховується за формулою (4.3), для транспортних організацій повинна бути завжди більше рентабельності обороту, що визначається величиною сальдо з інших доходів/видатків, як правило, негативним.

У той же час, Міністерство доходів і зборів України (нині – Державна фіскальна служба) оголосило безпечні величини рентабельності продукції (продажів). Виходячи із статистичної інформації, рентабельність продажів на транспорті й зв'язку повинна бути не менш 12,8 % [1].

Отже, рентабельність продажів на транспорті повинна дорівнювати приблизно 10 %. Виходячи із проведених вище розрахунків, вона повинна у два рази перевищувати рентабельність обороту і становити 9,6 % ( $4,8\% \times 2 = 9,6\%$ ).

Разом з тим, крім забезпечення економічно стійкої діяльності транспортного підприємства, економічно обґрунтований показник рентабельності повинен включати також інвестиційну складову ( $R_{інв}$ ), тобто враховувати частку додаткового прибутку, який потрібно додавати до амортизаційних відрахувань на транспортні засоби для забезпечення можливості їх відновлення з урахуванням росту ринкової вартості.

У 2005 р. Російським інститутом ФДУП «НДІАТ» були розроблені Методичні рекомендації щодо розрахунку рівня рентабельності, необхідного для забезпечення економічно стабільної діяльності перевізника і його конкурентоспроможності, які були погоджені Мінтрансом РФ. До складу рекомендацій включена технологія розрахунків величини інвестиційної складової (технологія розрахунків наведена в табл. 4.1). Вихідні дані для розрахунків засновані на інформації про наявність транспортних засобів (ТЗ), їх первісної вартості, річних амортизаційних відрахуваннях з ТЗ, залишкової вартості ТЗ за 5 років, що передують року, на який ведуться розрахунки. Для визначення необхідного рівня рентабельності, що забезпечує відновлення ТЗ, була побудована таблиця (табл. 4.1) (отримана розроблювачами даної методики при розрахунках за даними діючих організацій, що здійснюють пасажирські перевезення).

На основі цієї таблиці, виходячи з прийнятого рішення про терміни відновлення парку ТЗ, визначається коефіцієнт відновлення  $i$ , виходячи із частки балансової вартості з амортизованих ТЗ у загальній балансовій вартості ТЗ, визначається необхідний рівень рентабельності (інвестиційна складова в

Таблиця 4.1

Інвестиційна складова в рентабельності ( $R_{інв}$ )

Частка балансової вартості амортизованих ТЗ у загальній балансовій вартості ТЗ	Необхідна рентабельність при величині коефіцієнта відновлення ( $K_г$ ):											
	$K_г$ 8%	$K_г$ 10%	$K_г$ 12%	$K_г$ 15%	$K_г$ 20%	$K_г$ 25%	$K_г$ 30%	$K_г$ 36,5%	$K_г$ 40%	$K_г$ 45%	$K_г$ 51%	$K_г$ 73%
5	2,58	3,23	3,87	4,84	6,45	8,07	9,68	11,78	12,91	14,52	16,46	23,56
10	3,12	3,90	4,67	5,84	7,79	9,74	11,69	14,22	15,59	17,54	19,87	28,45
15	3,65	4,57	5,48	6,85	9,13	11,42	13,70	16,67	18,27	20,55	23,29	33,34
20	4,19	5,23	6,28	7,86	10,47	13,09	15,71	19,11	20,95	23,57	26,71	38,23
25	4,72	5,90	7,08	8,86	11,81	14,77	17,72	21,56	23,63	26,58	30,12	43,12
30	5,26	6,57	7,89	9,87	13,15	16,44	19,73	24,01	26,31	29,60	33,54	48,01
35	5,80	7,24	8,69	10,87	14,49	18,12	21,74	26,45	28,99	32,61	36,96	52,90
40	6,33	7,91	9,49	11,88	15,83	19,79	23,75	28,90	31,67	35,63	40,37	57,79
45	6,87	8,58	10,30	12,88	17,17	21,47	25,76	31,34	34,35	38,64	43,79	62,68
50	7,40	9,25	11,10	13,89	18,51	23,14	27,77	33,79	37,03	41,66	47,21	67,58
55	7,94	9,92	11,90	14,89	19,85	24,82	29,78	36,23	39,71	44,67	50,63	72,47
60	8,48	10,59	12,71	15,90	21,19	26,49	31,78	38,68	42,39	47,69	54,04	77,36
65	9,01	11,26	13,51	16,91	22,54	28,16	33,79	41,12	45,07	50,70	57,46	82,25
70	9,55	11,93	14,31	17,91	23,88	29,84	35,80	43,57	47,75	53,72	60,88	87,14
75	10,08	<b>12,60</b>	15,12	18,92	25,22	31,51	37,81	46,01	50,43	56,73	64,29	92,03
80	10,62	13,27	15,92	19,92	26,56	33,19	39,82	48,46	53,11	59,74	67,71	96,92
85	11,16	13,94	16,72	20,93	27,90	34,86	41,83	50,90	55,79	62,76	71,13	101,81
90	11,69	14,61	17,52	21,93	29,24	36,54	43,84	53,35	58,47	65,77	74,55	106,71
95	12,23	15,28	18,33	22,94	30,58	38,21	45,85	55,79	61,15	68,79	77,96	111,60
100	12,76	15,95	19,13	23,95	31,92	39,89	47,86	58,24	63,83	71,80	81,38	116,49



тарифі). Під коефіцієнтом відновлення ( $K_g$ ) розуміють відношення балансової вартості придбаних протягом року транспортних засобів до балансової вартості всіх наявних ТЗ на кінець року. Визначення необхідної величини рентабельності ( $R_{inv}$ ) розглянуто на прикладі транспортного підприємства, де частка з амортизованих ТЗ становить 75 %.

Для відновлення повністю з амортизованих ТЗ, повна первісна вартість (ППВ) яких становить 75 %, розрахунки необхідно провести в такий спосіб:

- з табл. 4.1 обрати рядок, у якому в першому стовпчику стоїть 75;
- прийняти рішення щодо кількості років, за які буде проведене відновлення (наприклад, 7,5 років), розділити 75 на 7,5, одержавши в результаті 10;
- вибрати стовпчик з коефіцієнтом відновлення 10 %;
- відповіддю є цифра, що розташована на перетині обраного рядка та обраного стовпчика (виділена жирним шрифтом).

Таким чином, щоб за 7,5 років відновити повністю амортизований рухомий склад, у розглянутому в якості прикладу транспортному підприємстві потрібно мати додаткову рентабельність у розмірі 12,6 % на рік.

Отже, загальний (сумарний) відсоток економічно обґрунтованого рівня рентабельності (що визначається з прибутку від продажів) для забезпечення стійкої фінансово-економічної діяльності і забезпечення відновлення транспортних засобів у розглянутому як приклад транспортному підприємстві повинен відповідати 22,2 % ( $9,6 \% + 12,6 \% = 22,2 \%$ ).

Складовою частиною тарифної політики МЕТ є порядок формування розрахункових тарифів на послуги транспорту (вартості одиниці транспортної роботи).

Сутність технології розрахунків полягає в пошуку мінімальної щорічної (за весь термін служби кожного об'єкта основних засобів) величини прибутку, що резервується на розрахунковому рахунку організації, для того, щоб разом з амортизаційними нарахуваннями, що накопичуються на тому ж розрахунковому рахунку, забезпечити можливість повного відновлення

(придбання нових) основних засобів.

Частка прибутку (від балансової вартості), яка забезпечить можливість повного відновлення (придбання нових) основних засобів у необхідному обсязі, визначається за формулою:

$$\Delta\Pi = \frac{r}{1 - \frac{1}{1+r}^n} - H_{ACP}, \quad (4.7)$$

де  $H_{ACP}$  – середня норма амортизації у розглянутій групі основних засобів;  $r$  – коефіцієнт дисконтування.

Розрахунок необхідного обсягу додаткового прибутку ( $\Pi_D$ ) виконується для кожного року (усього терміну служби основного засобу):

$$\Pi_D = \Delta\Pi \cdot C. \quad (4.8)$$

Значення  $\Pi_D$  необхідно додати до накопиченої на розрахунковому рахунку суми амортизації за цей же період для одержання коштів, достатніх для відновлення частини основних засобів, для яких проводяться розрахунки.

Для докладного розрахунку для конкретного підприємства та одержання прогнозних величин по роках про необхідний обсяг інвестицій для відновлення транспортних засобів була розроблена спеціальна методика, що включає послідовні етапи:

- встановлення середнього віку ТЗ розглянутого типу;
- розрахунок нормативного (середнього у розглянутій групі) терміну корисного використання ТЗ виходячи із застосованої норми амортизаційних відрахувань;
- визначення максимального терміну служби ТЗ у розглянутій групі;
- обчислення сумарної балансової вартості;

- розрахунок коефіцієнта відновлення ТЗ як відношення первісної балансової вартості ТЗ, які надійшли за рік, що передує розрахунковому, до загальної балансової вартості з урахуванням середнього терміну служби ТЗ у даній групі;

- одержання інформації з даних бухгалтерського обліку про величини вже нарахованої амортизації по кожному з розглянутих ТЗ;

- визначення кількості років, що залишилися до кінця нормативної експлуатації кожного ТЗ, і розрахунок суми амортизації, що нараховується за кожний рік з цих років по кожному ТЗ;

- розробка програми повного відновлення наявного парку ТЗ за умови, що заміна на нові ТЗ повинна проводитися відразу, як тільки ТЗ буде повністю з амортизований і уся сума нарахованої амортизації направляється на відновлення ТЗ;

- визначення незарезервованої (витраченої на інші заходи) суми амортизації як суми балансових вартостей раніше з амортизованих ТЗ. Дана сума ділиться на середній термін служби, у результаті виходить величина надбавки ( $Z$ ) до щорічно необхідної суми на відновлення ТЗ;

- обчислення обсягу коштів, необхідних для відновлення ТЗ. Для цього балансова вартість ТЗ множиться на  $K_6$ , з отриманого добутку віднімається сума нарахованої за рік амортизації і до нього додається  $Z$ ;

- визначення за наведеними формулами  $\Delta\P$  та  $\Pi_D$ .

Розрахунки необхідної величини прибутку проводиться по роках на весь термін служби основного засобу ( $\Pi_D$ ).

Величину економічно обґрунтованого тарифу визначають:

- у розрахунку на одиницю наданих послуг – перевезення 1 пасажиру або 1 пас.-км;

- у розрахунку на потенційний обсяг наданих транспортних послуг – 1 пас.місце.км;

- у розрахунку на 1 км пробігу транспортного засобу на лінії.

Величину тарифу в розрахунку на 1 км пробігу визначають для однієї моделі транспортного засобу за формулою:

$$T_{i.ε.лм} = S_{a(трам.,трол.)i.км} \cdot \frac{1 + R_{инв} + R_{пр}}{100}, \quad (4.9)$$

і для парку транспортних засобів за формулою:

$$T_{ε.кб} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{a(трам.,трол.)i.лб} \cdot \frac{1 + R_{инв} + R_{пр}}{100}}{\sum_{i=1}^n L_{i.рик}}, \quad (4.10)$$

де  $L_{i.рик}$  – сумарний пробіг на маршрутах транспортних засобів даних марок (моделей) відповідно до розкладу.

Величину тарифу в розрахунку на 1 пас.місце.км визначають за формулою:

$$T_{ε.пас.місце.км} = \frac{T_{ε.км}}{q}. \quad (4.11)$$

Величину тарифу в розрахунку на 1 пас.-км визначають за формулою:

$$T_{ε.пас.км} = \frac{T_{ε.пас.місце.км}}{\gamma}. \quad (4.12)$$

Величину тарифу в розрахунку на 1 пасажира визначають за формулою:

$$T_{ε.пас} = \frac{T_{ε.пас.км}}{1_{сп}}. \quad (4.13)$$

Величину необхідного бюджетного фінансування в розрахунку на одиницю наданих послуг – перевезення 1 пасажирів або 1 пас.-км визначають за формулою:

$$B_{пас(пас.км)} = T_{\epsilon.пас(пас.км)} - T_{в.пас(пас.км)}, \quad (4.14)$$

де  $T_{в.пас(пас.км)}$  – величина встановленого тарифу на перевезення 1 пасажирів або 1 пас.-км.

Величину необхідного бюджетного фінансування в розрахунку на плановий обсяг наданих транспортних послуг за будь-який певний період визначають за формулою:

$$B_{сум} = B_{пас(пас.км)} \cdot W, \quad (4.15)$$

де  $W$  – обсяг перевезень або пасажирообіг за розрахунковий період, пас., або пас.-км, або пробіг усіх транспортних засобів на маршруті за розглянутий період часу.

Величину необхідного бюджетного фінансування, виходячи з вартості планової роботи (випуску певної кількості і типу транспортних засобів на маршруті) за будь-який певний період, визначають за формулою:

$$B_{сум} = D_{ін} - D_{прогн}, \quad (4.16)$$

де  $D_{ін}$  – планові доходи, які повинен одержати перевізник за плановий річний пробіг усіх транспортних засобів на розглянутому маршруті або групі маршрутів, грн;  $D_{прогн}$  – прогнозна величина доходів перевізника від перевезень пасажирів за рік на розглянутому маршруті або групі маршрутів, грн.

Наведена методика визначення інвестиційної складової за рахунок підвищення розміру рентабельності є досить обґрунтованою, але вона не

враховує способів визначення тарифів на пасажирські перевезення, що закріплені в українському законодавстві. Рентабельність є відносним показником і залежить від того, який рівень планової операційної рентабельності витрат встановлений для підприємств МЕТ.

Тому у дослідженні запропоновано авторський підхід до їх визначення з урахуванням у складі тарифів інвестиційної складової, що дозволить підприємствам МЕТ оновити зношені транспортні засоби, підвищити якість надання транспортних послуг, а також зменшити їх фінансову залежність від державних субвенцій.

Найважливішими завданнями системної модернізації є оновлення рухомого складу підприємств МЕТ та впровадження системи АСОП з метою підвищення якості надання транспортних послуг. З огляду на те, що реалізація цих завдань передбачає використання значного обсягу фінансових ресурсів, автором запропоновано методику формування інвестиційної складової, яку доцільно використовувати для розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на послуги МЕТ.

З урахуванням того, що системну модернізацію підприємств МЕТ пропонується проводити протягом десяти років з поступовим оновленням транспортної техніки та впровадженням системи АСОП, величину інвестиційної складової запропоновано визначати за формулою:

$$ІНВ_M = \frac{(B_{АСОП} + B_{РС}) \times I}{1 - (1 + I)^{-t}}, \quad (4.17)$$

де  $ІНВ_M$  – інвестиційна складова для визначення економічно обґрунтованих тарифів, млн грн;  $B_{АСОП}$  – витрати на впровадження АСОП, млн грн;  $B_{РС}$  – витрати на оновлення рухомого складу, млн грн;  $I$  – річний темп інфляції, д.од.;  $t$  – період проведення модернізації, років.

Врахування інвестиційної складової дає можливість визначити економічно обґрунтований тариф на послуги підприємств МЕТ ( $T_M$ ) з

використанням формули, що традиційно застосовується для розрахунку нормативних тарифів на транспортні послуги:

$$T_M = \frac{C_{ПЛ} \times (1 + P_{ПЛ}) + ИВ_M - Д_{И} - К}{ПП}, \quad (4.18)$$

де  $C_{ПЛ}$  – повна планова собівартість послуг МЕТ, тис. грн;  $P_{ПЛ}$  – плановий прибуток підприємства, тис. грн;  $ИВ_M$  – розмір інвестиційної складової, тис. грн;  $Д_{И}$  – чистий дохід, отриманий від інших видів діяльності, тис. грн;  $К$  – розмір компенсації витрат (встановлюється органами місцевого самоврядування), тис. грн;  $ПП$  – загальний запланований обсяг пасажирських перевезень, тис. пас.

Запропонований методичний підхід дозволяє визначити розмір економічно обґрунтованих тарифів для окремих підприємств МЕТ (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Результати розрахунку економічно обґрунтованих тарифів комунальних підприємств МЕТ з урахуванням інвестиційної складової, 2016 р.

Найменування підприємства	Вартість АСОП, млн. грн.	Вартість оновлення рухомого складу, млн. грн.	Інвестиційна складова, млн. грн. / рік		Тарифи, грн./пас.		
			діюча	визначена з врахуванням модернізації	діючий	нормативний	обґрунтований з врахуванням модернізації
КП «Київпаstrans»	198,7	2956	249,867	567,505	4,0	6,89	7,99
КП «Запоріж-електротранс»	44,6	1090	-	204,105	2,5	2,5	5,75
КП «Кременчуцьке тролейбусне управління»	17,5	185	-	36,428	2,0	2,08	3,54
Івано-Франківське ДКП «Електро-автотранс»	11,2	85	-	17,306	2,0	2,39	3,51
КП «Миколаїв-електротранс»	40,9	430	-	84,711	2,0	2,78	4,55
КП «Дружківка-автоелектротранс»	7,3	16	0,45	4,191	2,0	2,17	2,85

Результати проведеного аналізу свідчать, що деякі підприємства використовують інвестиційну складову при визначенні тарифів на послуги МЕТ, що не забезпечує повного і своєчасного оновлення транспортної техніки (тобто, підприємствам м. Києва та м. Дружківки необхідно розрахувати розмір інвестиційної складової з урахуванням економічного обґрунтування тарифів у контексті системної модернізації).

Результати розрахунку тарифів свідчать, що економічно обґрунтовані тарифи перевищують діючі, що обумовлено необхідністю врахування соціальних чинників у процесі затвердження діючих тарифів органами місцевого самоврядування. Але у випадку часткового або повного фінансування модернізації за рахунок державних субвенцій або з інших джерел, розмір тарифів може бути зменшено.

У дисертації досліджено залежність розміру тарифу від рівня фінансування системної модернізації підприємств МЕТ державою, органами місцевої влади або приватними інвесторами (рис. 4.5).

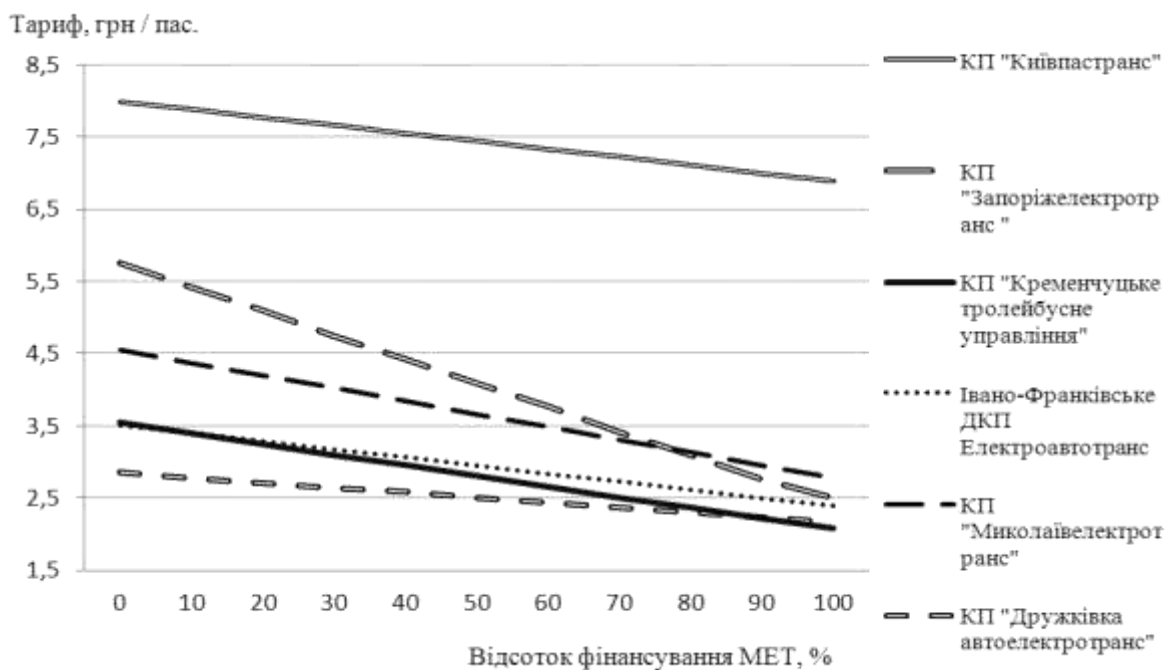


Рис. 4.5. Залежність розміру тарифів підприємств МЕТ від форм фінансування системної модернізації



Отже, розмір тарифів має тенденцію до зменшення від максимального значення (за умови фінансування модернізаційного процесу за рахунок коштів населення) до нормативного значення тарифу (за умови повного фінансування системної модернізації за рахунок коштів місцевих бюджетів або приватних інвесторів).

Таким чином, практична реалізація запропонованої методики визначення економічно обґрунтованих тарифів на послуги підприємств МЕТ дозволяє забезпечити належне фінансування системної модернізації цих підприємств, що приведе до поступового оновлення рухомого складу, зростання якості надання транспортних послуг. Крім того, запропонований методичний підхід дозволяє врахувати інтереси населення, що досягається у разі часткового або повного фінансування модернізації державою, органами місцевої влади або приватними інвесторами.

## Висновки до розділу 4

У четвертому розділі визначені основні напрями тарифної політики в галузі міського електротранспорту, розкриті фактори впливу на вартість проїзду, уточнені негативи фінансової незабезпеченості підприємств з причин неврегульованості тарифів.

Охарактеризовано сучасний стан галузі міського електричного транспорту України в розрізі необхідності переходу в масштабах країни до розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом. Доведено необхідність встановлення економічно обґрунтованих тарифів на пасажирські перевезення міським електротранспортом з метою забезпечення безбиткового функціонування підприємств галузі.

Сформульовані принципи формування економічно обґрунтованих тарифів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом. Запропоновано проект структури тарифу на перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом.

З аналізу складного фінансового стану підприємств МЕТ та неповного відшкодування витрат з бюджету зроблено висновок про підвищення ролі тарифу як пріоритетного і вагомого джерела фінансового забезпечення діяльності в конкуренції з іншими перевізниками. З цих позицій поглиблено трактування сутності поняття «економічно обґрунтований тариф». Економічно обґрунтованим слід вважати тариф, який дозволяє компенсувати витрати, забезпечує прибуток, в тому числі для накопичення власного капіталу для інвестування в розвиток, сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку транспортних послуг.

На основі аналізу існуючих положень, що стосуються визначення тарифів на послуги МЕТ та з метою ресурсного забезпечення системної модернізації, а також для підвищення доходів підприємств МЕТ, в дисертаційному дослідженні запропоновано методичний підхід до визначення тарифів на перевезення

пасажирів підприємствами МЕТ, який передбачає використання інвестиційної складової, розмір якої запропоновано розраховувати з попереднім визначенням витрат на проведення системної модернізації (що включають витрати на оновлення рухомого складу та встановлення АСОП зі створенням відповідного суб'єкта). Результати визначення тарифів доповнюються методичними рекомендаціями, що дозволяють змінювати тарифи на пасажирські перевезення залежно від участі держави або приватних інвесторів у процесі фінансування системної модернізації підприємств МЕТ. Практична реалізація наведених рекомендацій дозволить проводити гнучку тарифну політику залежно від підтримки розвитку підприємств МЕТ на рівні міст та окремих транспортних підприємств.

## **РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ІНСТИТУЦІЙНИХ ОСНОВ АДАПТУВАННЯ МЕТ ДО ЗМІННИХ УМОВ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ПОЛЯ: ЗАХОДИ ПІДТРИМКИ МОДЕРНІЗАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ**

### **5.1 Міський електротранспорт та його тарифна політика в нормативно- правовому полі**

Історичний час навіть у невеликі проміжки змінює реальність в економіці і суспільстві з відповідною йому невідворотністю. Змінюється виробничо-технологічна база, як першооснова економічних моделей і економічних відносин, змінюється і нормативно-правова та управлінська структура, що забезпечує вектор і механізми розвитку суспільства. В цьому процесі змін на фундаментальне складне питання відносин та впливу одного на інше (бази та надбудови) є обґрунтована наукою і підтверджена практикою проста відповідь – процес розвитку розгортається через механізм постійної взаємодії виробничої системи із системою управління.

І цей механізм взаємодії найбільш комплексно розкривається з позицій інституційної парадигми управління розвитком. Остання включає до себе широкий спектр відносин між учасниками виробничо-економічної діяльності від суспільних та економічних законів, через організаційні положення, норми і правила, до неформальних стосунків, що узагальнено розглядаються як «людський фактор» в економіці і соціумі.

Інституційна складова виробництва чи системи послуг є включеною у всі структури нашого життя і галузі економіки. МЕТ, як масштабна і розвинута складова транспортного обслуговування міст, свідомо чи ні, існує в інституційному полі відносин і використовує інституційні механізми в управлінні власною діяльністю. Ці відносини і механізми знаходяться в постійному трансформаційному процесі, забезпечуючи удосконалення підприємств, підвищення ефективності їх роботи та покращення умов обслуговування населення щодо задоволення потреб по міській території.