

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра транспортних технологій і технічного сервісу

02-02-195М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни
«Виробничі системи на транспорті»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою 275.03 «Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні тех-
нології (за видами)» галузі знань 27 «Транспорт»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості навчально-наукового
механічного інституту
Протокол №1 від 26.09.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Виробничі системи на транспорті» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» галузі знань 27 «Транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Хітров І. О. – Рівне : НУВГП, 2023. – 97 с.

Укладач: Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск – Никончук В. М., в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, д-р. екон. наук.

Керівник групи забезпечення спеціальності – Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

© І. О. Хітров, 2023

© НУВГП, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Практична робота №1. Функціонування підприємства транспорту як виробничої системи	5
Практична робота № 2. Підбір транспортних засобів для забезпечення функціонування транспортно-виробничої системи	12
Практична робота № 3. Оцінка напрямів розвитку виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту	24
Практична робота № 4. Оптимізація транспортно-виробничих процесів за допомогою сітьового планування та управління	34
Практична робота № 5. Виробничо-транспортна комунікація підприємств транспортної галузі	53
Практична робота № 6. Моделювання оптимального розвитку виробничих систем автомобільного транспорту	64
Практична робота № 7. Оцінка збитків або упущеної вигоди в умовах невизначеності та ризику під час оцінювання ефективності проектів	84
Практична робота № 8. Побудова стратегії розвитку виробничих систем транспорту	91
Рекомендована література	95

ВСТУП

Основним завданням при виконанні практичних робіт з навчальної дисципліни «Виробничі системи на транспорті» є орієнтація здобувачів освіти на вивчення системного підходу до формування стратегій розвитку транспортно-виробничих систем та вибору найефективніших; оволодіння методами оцінки діяльності виробничих систем; вирішення актуальних задач технічного, організаційного та технологічного забезпечення автомобільних перевезень.

Практичні роботи направлені підсилують такі результати навчання пов'язані з дослідженням транспортних процесів, здатності експериментувати, аналізувати та оцінювати параметри транспортних систем та технологій (результат навчання РН-6) та розроблення, планування, впровадження методів організації безпечної діяльності у сфері транспортних систем та технологій (результат навчання РН-9).

Метою виконання практичних завдань є набуття практичних навиків щодо оцінки та підвищення ефективності функціонування систем в розрізі їх виробничо-транспортного забезпечення, з акцентом на функціонування підприємств, організацію перевезень і управління рухомим складом автомобільного транспорту.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ТРАНСПОРТУ ЯК ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо розрахунку і вибору оптимальних варіантів транспортних перевезень пов'язаних з обслуговуванням галузей народного господарства (підприємств, організацій, надання послуг населенню тощо).

Основними структурними одиницями суспільного виробництва є галузі. Кожна галузь виробництва включає різного роду підприємства, для реалізації спільних процесів від виготовлення продукції до її реалізації кінцевому споживачеві.

Підприємство представляє собою сукупність засобів виробництва та інших матеріальних засобів, які використовуються для виготовлення продукції або виконання роботи (наприклад, транспортної).

Транспорт є універсальною послугою для економіки та суспільства. Він тісно пов'язаний з усіма іншими економічними та неекономічними секторами. З економічної точки зору, транспорт, як і гроші, виконує елементарну функцію в будь-якій економічній системі, яка базується на розподілі праці.

Автомобільний транспорт як галузь народного господарства об'єднує різні підприємства: експлуатаційні, обслуговування, ремонтні і промислові, а також комплексні і спеціалізовані.

Серед перерахованих типів підприємств автомобільного транспорту ведучу роль відіграють автоексплуатаційні, що виконують головну функцію автомобільного транспорту як галузі народного господарства – перевезення пасажирів і доставки вантажів.

Виробничий процес підприємства – це система ціленаправлених дій працівників, в результаті яких предмети праці перетворюються в необхідний продукт або змінюють своє положення в просторі, стан (Сологуб 1997).

Транспортний процес автомобільного підприємства – сукупність виконуваних робітниками за допомогою різних засобів праці у визначеній послідовності і взаємозв'язку дій, в результаті яких

відбувається переміщення вантажів або пасажирів на задану відстань (Сологуб 1997).

Транспортний процес автомобільних перевезень вантажів складається з багаторазового повторення окремих циклів. Основну операцію транспортного циклу (рушійну) – переміщення пасажирів і доставку вантажів виконує автомобіль (автопоїзд).

Оптимізація перевезень передбачає аналіз вантажопотоків, транспортних тарифів та обмежень для створення плану, який зменшить загальні витрати та зробить процес більш ефективним. Оскільки транспортні витрати становлять великий відсоток витрат на ведення бізнесу, власники бізнесу повинні сконцентруватися на оптимізації процесу транспортування товарів.

Для планування обсягів перевезень застосовують різні методи, серед яких – балансовий і метод розрахунку за питомими нормативами.

Суть балансового методу планування полягає у визначенні обсягу перевезень і вантажообігу на підставі даних про виробництво і споживання продукції за окремими галузями народного господарства, економічним режимом.

На підставі даних щодо виробленої і спожитої продукції складається баланс економічного регіону, здійснюється планування.

Основою розробки транспортного балансу є матеріальні баланси за окремими видами продукції (відображають ресурси та їх розподіл).

Для автотранспортного підприємства матеріальні баланси включають потреби в матеріальних ресурсах на виробничу програму (M_{np}), потреби в матеріалах на впровадження нової техніки ($M_{н.т}$), потреби в матеріалах на ремонтно-експлуатаційні та інші види ($M_{р.е}$), на незавершене виробництво на кінець року (H_k), виробничі запаси на кінець року (B_k), фонди на матеріальні ресурси, необхідні на планований рік ($MP_{пл}$), незавершене виробництво на початок року (H_{np}), виробничі запаси на початок року (B_{np}), а також на мобілізацію внутрішніх резервів виробництва за рахунок покращення використання матеріальних ресурсів у планованому році, $B_{м.р}$ (Джерихов 2007)

$$M_{np} + M_{н.т} + M_{р.е} + H_k + B_k = MP_{пл} + H_{np} + B_{np} + B_{м.р}, \quad (1.1)$$

Практичне завдання №1

Необхідно скласти баланс економічного західного регіону та визначити обсяг перевезень зернової продукції і вантажообіг автомобільного транспорту, якщо відомо, що виробництво продукції в регіоні складає 15600 тис. т., залишки на початок планового періоду – 185 тис. т, з інших джерел надійшло 150 тис. т, споживання зерна на місці складає 5200 тис. т, залишки на кінець планового періоду – 280 тис. т. Внутрішньорегіональні перевезення відомчим транспортом підприємств регіону складають 850 тис. т. Автомобільним транспортом загального використання перевозиться 85% обсягу вантажів. Середня відстань перевезення вантажів транспортом загального використання – 28 км.

Порядок розв'язку:

1. Визначити транспортний баланс
2. Визначити обсяг перевезень вантажів, які підлягають відправленню транспортом загального використання:
 - обсяг перевезень вантажів, що підлягають відправленню по регіону
 - в тому числі автотранспортном загального використання
3. Визначити вантажообіг

Практичне завдання №2

Визначити обсяг перевезень вантажів, який може виконати автотранспортне підприємство, на основі вихідних даних поданих в табл. 1.1.

Сутність даного методу полягає у визначенні обсягу перевезень пасажирів або доставки вантажів за наявним парком транспортних засобів і рівня техніко-експлуатаційних показників його використання, що визначають виходячи з передового досвіду експлуатації автомобільних транспортних засобів, критичного аналізу досягнутих результатів і оцінки ефективності організаційно-технічних заходів.

Таблиця 1.1

Вихідні дані для визначення обсягу перевезень вантажів

Показники	Умовне позначення	Автомобіль			
		DAF	КрАЗ	Iveco	JAC
Середньоспиксова кількість автомобілів	A_{cn}	90	120	105	75
Номінальна вантажопідйомність	q_n	8	10	5	4
Коефіцієнт використання парку автомобілів	α_s	0,77	0,75	0,72	0,74
Статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності	γ_{cm}	0,99	1,0	0,96	0,87
Тривалість знаходження автомобіля на лінії протягом доби, год	T_n	11,4	9,5	11,5	10,8
Тривалість простоювання автомобіля під навантаженням і розвантаженням, год	$T_{n.p.}$	0,557	0,21	0,48	0,53
Середня довжина їздки з вантажем, км	l_s	64,5	11,8	15,6	7,4
Середньостатистична швидкість руху автомобіля, км/год	V_m	32,4	28,4	25,7	23,0

Порядок розв'язку:

1. Визначити обсяг перевезень вантажів за типами автомобілів

$$Q_i = W_{Q_i} \cdot A_{cn} \cdot q_n, \text{ т} \quad (1.2)$$

Для вантажних перевезень річний виробіток автомобіля W_Q в розрахується за формулою

$$W_Q = \frac{D_k \cdot \alpha_s \cdot T_n \cdot V_m \cdot \beta \cdot \gamma_{cm} \cdot q_n}{l_s + V_m \cdot \beta \cdot T_{n.p.}}, \text{ т} \quad (1.3)$$

2. Визначити загальний обсяг перевезень, що можуть виконати транспортні засоби автотранспортного підприємства як сума всіх обсягів перевезень.

Практичне завдання №3

Визначити потребу в рухомому складі для виконання планового обсягу перевезень, використовуючи дані, наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Вихідні дані для визначення потреби в рухомому складі

Показники	Автомобіль			
	DAF	КрАЗ	Iveco	JAC
Обсяг перевезень, тис.т	860,8	786,3	239,4	-
Автотоно-години роботи, тис. т	-	976,3	-	-
Автомобіле-години роботи, тис. т	-	-	-	56,8
Вантажопідйомність, т	8	10	7,5	2,5
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,98	1,0	0,96	-
Коефіцієнт використання парку автомобілів	0,79	0,77	0,75	0,77
Коефіцієнт використання пробігу	0,68	0,5	0,61	-
Тривалість знаходження рухомого складу на лінії, год	12,5	10,8	11,7	9,5
Тривалість простою автомобіля під навантаженням/розвантаженням за одну поїздку, год	0,47	0,25	0,45	-
Середня технічна швидкість, км/год	27	24	29	-
Середня довжина їздки з вантажем, км	21	5,6	25	-

Кількість і тип необхідного рухомого складу встановлюють на основі планового обсягу перевезень і даних про виробіток різних типів автомобілів з урахуванням умов перевезень.

Річний виробіток автомобіля W_P в тонно-кілометрах розраховується за формулою

$$W_P = \frac{D_k \cdot \alpha_g \cdot T_n \cdot V_m \cdot \beta \cdot \gamma_d \cdot l_g \cdot q_n}{l_g + V_m \cdot \beta \cdot T_{n.p.}} \quad (1.4)$$

При визначенні річного виробітку на одну середньоспискову автомобіле-тону вантажопідйомність автомобіля приймається за одиницю.

Вирібок автомобіля в тонно-кілометрах за добу визначається за аналогічними формулами, в яких не вказуються календарні дні D_k і коефіцієнт використання автомобілів α_e .

Річний виробіток одного середньоспискового автомобіля, який працює на погодинній оплаті, визначається в автомобіле-годинах за формулою

$$W_{азод} = D_k \cdot \alpha_e \cdot T_n. \quad (1.5)$$

Для автомобілів, роботи яких враховується в платних автотоно-годинах, годинний виробіток визначається на один автомобіль за формулою

$$W_{анзод} = D_k \cdot \alpha_e \cdot T_n \cdot q_n. \quad (1.6)$$

Для автобусних перевезень виробіток на один автобус в пасажірах W_{Qn} та пасажиро-кілометрах W_{Pn} розраховуються за формулами

$$W_{Qn} = \frac{D_k \cdot \alpha_e \cdot T_n \cdot V_e \cdot \beta \cdot \gamma_{на} \cdot q_n}{l_n} \quad (1.7)$$

$$W_{Pn} = D_k \cdot \alpha_e \cdot T_n \cdot V_e \cdot \beta \cdot \gamma_{на} \cdot q_n. \quad (1.8)$$

де $\gamma_{на}$ – коефіцієнт використання місткості автобуса (коефіцієнт наповнення);

l_n – середня відстань поїздки пасажіра;

V_e – середня експлуатаційна швидкість на маршруті.

Для таксомоторних перевезень визначається річний виробіток на одне середньоспискове таксі в платних кілометрах пробігу:

$$W_m = D_k \cdot \alpha_e \cdot T_n \cdot V_e \cdot \beta. \quad (1.9)$$

При плануванні потреб рухомого складу розрізняють обліковий ходовий парк автомобільних транспортних засобів. Обліковий парк визначають на початок і кінець планованого періоду, і в середньому за планований період (середньосписковий склад).

Порядок розв'язку:

1. Визначити виробіток працюючих за відрядним тарифом на одну середньоспискову автотону для кожної марки рухомого складу:

2. Визначити виробіток на один автомобіль, який працює за погодинним тарифом, в платних автотоно-годинах та автомобіле-годинах:

3. Визначити необхідну середньоспискову кількість автомобіле-тон та автомобілів за марками рухомого складу. За автомобілями, які працюють за відрядним тарифом.

4. Визначити необхідну кількість автомобілів КамАЗ-5511, робота яких враховується в платних автотоно-годинах.

5. Визначити необхідну кількість автомобілів ГАЗ-53А, робота яких враховується в погодинному тарифі.

Практичне завдання №4.

Визначити потребу в автобусах для виконання планового обсягу перевезень пасажирів за вихідними даними, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Вихідні дані для визначення потреби в автобусах

Показники	Маршрути		
	міські	пригородні	міжнародні
Річний обсяг перевезень, тис. км	16820	3630	234
Пасажромісткість	115	80	45
Коефіцієнт використання автопарку	0,71	0,70	0,75
Коефіцієнт використання пасажиромісткості	0,85	0,87	0,66
Коефіцієнт використання пробігу	0,95	0,93	0,98
Тривалість знаходження автобуса в наряді, год	11,2	12,6	11,5
Середня експлуатаційна швидкість на маршруті, км/год	20,4	24,3	32,5
Середня відстань поїздки пасажирів, км	6,1	17,0	157

Порядок розв'язку:

1. Визначити виробіток на один середньосписковий автобус в пасажирів та їх потребу за маршрутами і марками автобусів: на міському маршруті; на пригородному та міжнародному маршруті.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ПІДБІР ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо вирішення виробничих питань, пов'язаних із формуванням раціональної структури та використанням парку автотранспортних засобів при організації вантажних перевезень дрібними і об'єднаними відправками та за рахунок зміни обсягів перевезення при обслуговуванні замовників із заданими параметрами матеріального потоку.

1. Формування автомобільного парку для перевезення вантажів дрібними відправками імовірнісним методом

Розмір партій вантажів малими партіями залежить від попиту та періодичності доставки та описується експоненціальним законом розподілу випадкової величини $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{\bar{g}} \cdot e^{\left(-\frac{x}{\bar{g}}\right)}, \quad (2.1)$$

де \bar{g} – середнє значення розміру партії вантажу, т.

X – змінна величина вантажопідйомності вантажного автомобіля, т (границю її зміни вибирають таким чином, щоб обране максимальне значення не перевищувало вантажопідйомності застосованих автомобілів).

Для побудови графіка щільності розподілу розмірів партій вантажів приймають не менше 10 значень змінного параметра (рис 2.1).

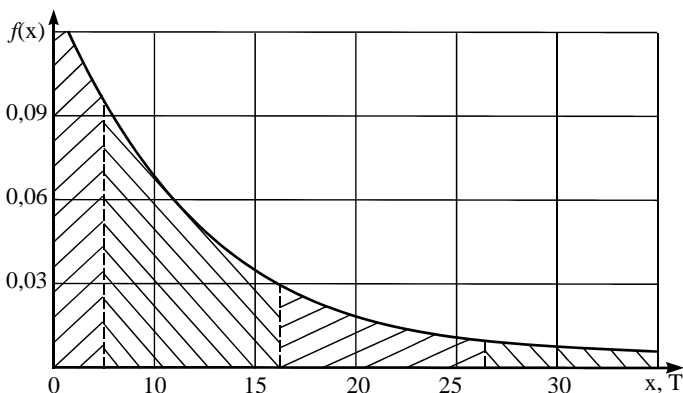


Рис. 2.1. Графік щільності розподілу розмірів партій вантажів

Для перевезення вантажів дрібними відправками (з урахуванням розміру партії вантажу) приймають n -ну кількість автомобілів різної вантажопідйомності (обрана вантажопідйомність першого та останнього автомобілів не повинна відрізнятись від середнього значення на величину ± 2 т). Таким чином, вантажопідйомність обраних автомобілів буде задана рядом $q_1, q_2, \dots, q_j, q_n = q_{max}$.

Розрахункова імовірність партії вантажу обраних автомобілів з вантажопідйомністю q_j ($j = 1, 2, \dots, n-1$) з врахуванням коефіцієнта використання вантажопідйомності – γ складе

$$P'_j = \int_0^{(q\gamma)^j} f(x) \cdot d(x) = 1 - e^{-\frac{(q\gamma)^j}{g}}, \quad j=1 \quad (2.2)$$

$$P'_j = \int_{(q\gamma)^{j-1}}^{(q\gamma)^j} f(x) \cdot d(x) = e^{-\frac{(q\gamma)^{j-1}}{g}} - e^{-\frac{(q\gamma)^j}{g}}, \quad 1 < j < n \quad (2.3)$$

Розрахункова імовірність партії вантажу для перевезення яких застосовуються автомобілі максимальної вантажопідйомності q_{max} з i -тою кількістю поїздок складе

$$P_m = \int_{(q\gamma)^{m-1}}^{(q\gamma)^m} f(x) \cdot d(x) = e^{-\frac{(q\gamma)^{m-1}}{g}} - e^{-\frac{(q\gamma)^m}{g}}, \quad \text{для } i=1 \quad (2.4)$$

$$P_m = \int_{(i-1)(q\gamma)^m}^{(q\gamma)^m} f(x) d \cdot (x) = e^{-\frac{(i-1)(q\gamma)_m}{g}} - e^{-\frac{i(q\gamma)_m}{g}}, \text{ для } i > 1 \quad (2.5)$$

Питома вага автомобілів кожної марки вантажопідйомністю $j=1, 2, \dots, n-1$ описується виразом

$$\frac{A_{ej}}{A_e} = \frac{P_j}{T_n \cdot B} \cdot \left(\frac{l_{n.i.j}}{V_{mj} \cdot \beta_j} + t_{n.p.j} \right), \quad (2.6)$$

де A_{ej} – кількість автомобілів j -ї вантажопідйомності;

A_e – загальний парк автомобілів;

T_n – час перебування автомобіля в наряді, год;

B – розрахунковий коефіцієнт;

$l_{n.i.j}$ – відстань вантажної їздки автомобілем j -ї вантажопідйомності, км;

V_{mj} – технічна швидкість автомобіля j -ї вантажопідйомності, км/год;

β_j – коефіцієнт використання пробігу автомобіля j -ї вантажопідйомності;

$t_{n.p.j}$ – час простою під навантаженням і розвантаженням, год.

Розрахунковий коефіцієнт $T_n B$ визначається наступним чином

$$T_n B = \sum_{j=1}^{m-1} P_j \left(\frac{l_{n.i.j}}{V_{mj} \cdot \beta_j} + t_{n.p.j} \right) + \left(\frac{l_{n.i.m}}{V_{mm} \cdot \beta_m} + t_{n.p.m} \right) \sum_{i=1}^{\omega} i \cdot P'_{mi}, \quad (2.7)$$

де P'_{mi} – імовірність використання автомобіля максимальної вантажопідйомності з врахуванням i -тої кількості поїздок;

Питома вага автомобілів максимальної вантажопідйомності ($j=n$) розраховується таким чином

$$\frac{A_{em}}{A_e} = \frac{\sum_{i=1}^{\omega} i \cdot P'_{mi}}{T_n \cdot B} \cdot \left(\frac{l_{n.i.m}}{V_{mm} \cdot \beta_m} + t_{n.p.m} \right). \quad (2.8)$$

Середня вантажопідйомність автомобіля за одну поїздку $\overline{g_i}$ розраховується за формулою

$$\overline{g_i} = \sum_{j=1}^{m-1} P'_j \cdot q_j + q_m \cdot \sum P'_m, \text{ т} \quad (2.9)$$

Кількість поїздок n_i , що виконуються парком автомобілів за даний період визначається загальним обсягом перевезень – P та розраховується за формулою

$$n_i = \frac{P}{g \cdot \gamma}, \quad (2.10)$$

де γ – середній коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності транспортного парку.

Кількість поїздок, що виконуються автомобілями розраховується за формулою:

- для автомобілів γ -ї марки n_{ij}

$$n_{ij} = P_j \cdot n_i, \quad \gamma = 1 \dots m-1. \quad (2.11)$$

- для автомобілів максимальної вантажопідйомності n_{im}

$$n_{im} = n_i - \sum_{j=1}^{m-1} n_{ij}. \quad (2.12)$$

Обсяг перевезень автомобілями P_j розраховується за формулою

$$P_j = n_{ij} \cdot (q \gamma_{cm})_j \quad j = 1 \dots m \quad (2.13)$$

Добова продуктивність автомобіля $P_{доб}$ розраховується за формулою

$$P_{доб} = \frac{g_j \cdot \gamma_{cm} \cdot V_{mj} \cdot \beta_j \cdot T_{nj}}{l_{н.і. j} + V_{mj} \cdot \beta_j \cdot t_{н.р. j}}, \text{ т/добу} \quad (2.14)$$

Необхідна середньооблікова кількість автомобілів кожної марки A_i розраховується за формулою

$$A_i = \frac{P_j}{(P_{\text{доб}} \cdot D \cdot \alpha_{ej})}, \quad (2.15)$$

де α_{ej} – коефіцієнт випуску автомобілів на лінію;

D – кількість днів роботи автомобілів.

Середньозважене значення годинної продуктивності автомобілів $\overline{P_2}$ розраховується за формулою

$$\overline{P_2} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j}{\sum_{j=1}^m \frac{P_j}{P_{2j}}}, \text{ т/год.} \quad (2.16)$$

де P_{2j} – годинна продуктивність автомобіля j -ї вантажопідйомності

$$P_{2j} = \frac{P_{\text{доб}}}{T_{\text{н.і.}}} = \frac{q_j \cdot \gamma_{cmj} \cdot V_{mj} \cdot \beta_j}{l_{\text{н.і.}} + V_{mj} \cdot \beta_j \cdot t_{\text{н.р.}}}, \text{ т/год} \quad (2.17)$$

Середньозважене значення собівартості перевезення 1 т вантажу $\overline{S_m}$ розраховується за формулою

$$\overline{S_m} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot S_{mj}}{\sum_{j=1}^m P_j}, \text{ у.о./т} \quad (2.18)$$

де S_{mj} – собівартість перевезення 1 т вантажу автомобілями j -ї вантажопідйомності, у.о./т

$$S_{mj} = \frac{l_{\text{н.і.}} \cdot C_{кмj}}{q_j \cdot \gamma_{cmj} \cdot \beta_j} + \frac{t_{\text{н.р.}} \cdot K_c \cdot C_{носj}}{q_j \cdot \gamma_{cmj}} \quad (2.19)$$

де $C_{км}$ – витрати на один кілометр пробігу автомобіля, грн/км;

K_c – коефіцієнт, який враховує зміну витрат при зміні ціни;

$C_{ноєj}$ – постійні витрати на одну годину роботи автомобіля, грн/год.

Витрати на один кілометр пробігу автомобіля $C_{кмj}$ визначаються наступним чином

$$C_{кмj} = K_c \cdot C_{зmj} + \frac{K_c \cdot C_{ноєj}}{V_{mj}} \quad (2.20)$$

2. Формування автомобільного парку при перевезенні об'єднаних партій вантажів

Розмір об'єднаної партії вантажу є випадковою величиною, розподіл ймовірностей якої підлягає закону розподілу Пуассона. Щільність розподілу випадкової величини об'єднаних партій

$$f(x) = \frac{1}{g(1 - P(0, \lambda t))} \sum_{n=1}^{\infty} \left(P\left(n-1, \frac{x}{g}\right) \cdot P(n, \lambda t) \right) \quad (2.21)$$

де $(0, \lambda t)$, $P(n-1, \frac{x}{g})$, $P(n, \lambda t)$ – відповідно ймовірності того, що в період

часу t надійде 0, $n-1$, або n вимог на виконання перевезення;

\bar{g} – середній розмір об'єднаної партії вантажу (приймається середньому розміру партії дрібних відправок);

n – кількість вимог, що надходять ($n \rightarrow \infty$);

x – біжуче значення вантажопідйомності автомобілів;

λ – інтенсивність потоку вимог;

t – період часу, який розглядається за заявкам ($t=1$ доба).

$$P(0, \lambda t) = (\lambda t)^0 \cdot e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \quad (2.22)$$

$$P\left(n-1, \frac{x}{g}\right) = \frac{\left(\frac{x}{g}\right)^{n-1}}{(n-1)!} \cdot e^{-\frac{x}{g}} \quad (2.23)$$

$$P(n, \lambda t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} = \frac{(\lambda)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda} \quad (2.24)$$

Графік щільності розподілу об'єднаних партій вантажів наведено на рис. 2.2.

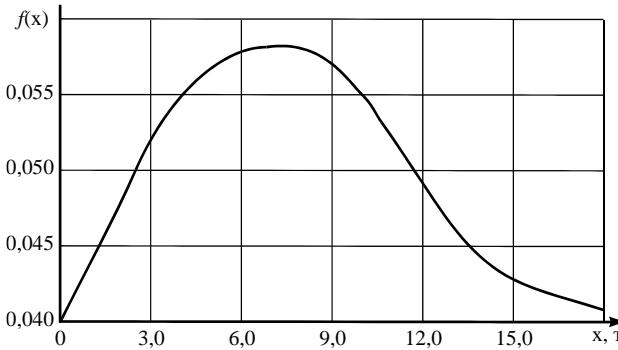


Рис. 2.2. Щільність розподілу розмірів об'єднаних партій вантажів

Для перевезення об'єднаних партій вантажів (тобто з урахуванням перевезення додаткового виду вантажу) самостійно вибирають «*m*» – кількість марок автомобілів різної вантажопідйомності, яку визначають, виходячи з умови $q = \bar{g} \cdot \lambda$.

При цьому слід урахувати те, що вантажопідйомність першого та останнього автомобілів не повинні відрізнятися від середнього значення вантажопідйомності на величину, яка не перевищує ± 2 т.

Ймовірність використання автомобіля вантажопідйомністю q_j при $j=1$

$$P'_{gj} = \frac{1}{1 - e^{-\lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - R \left(n - 1, \frac{q_j}{g} \right) \right], P(n, \lambda t) \quad (2.25)$$

$$1 - R \left(n - 1, \frac{q_j}{g} \right) = \bar{R}(m, a), \quad (2.26)$$

де m, a – параметри розподілу закону Пуассона.

У свою чергу, означені величини мають такі значення

$$m=n-1, \quad a = \frac{q_j}{g}. \quad (2.27)$$

Для визначення величини $P(n, \lambda t)$ параметри закону розподілу Пуассона мають набрати таких значень

$$P(n, \lambda t) = \bar{R}(m-1, a) - \bar{R}(m, a), (m = n, a = \lambda t) \quad (2.28)$$

Значення $R(m, a)$ наведено в таблицях розподілу Пуассона [6].

Ймовірність використання автомобіля вантажопідйомності для $1 < j < m$

$$P'_{gj} = \frac{1}{\bar{g}(1 - e^{-\lambda})} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[R\left(n-1, \frac{q_{j-1}}{g}\right) - R\left(n-1, \frac{q_j}{g}\right) \right] \cdot P(n, \lambda t) \quad (2.29)$$

$$R\left(n-1, \frac{q_j}{g}\right) = 1 - R(m-a), m = n-1, a = \frac{q_{j-1}}{g}. \quad (2.30)$$

$$R\left(n-1, \frac{q_j}{g}\right) = 1 - \bar{R}(m-a), m = n-1, a = \frac{q_j}{g}. \quad (2.31)$$

Ймовірність використання автомобіля вантажопідйомністю q_j для $j=m$, який здійснює перевезення вантажу за “ i ” – кількість їздок ($i=1, 2, \dots, m$) визначають за виразом (2.9) в урахуванням умов

$$i=1: q_j=q_m, \quad q_{j-1} = q_{m-1},$$

$$i=2: q_j=2 \cdot q_m, \quad q_{j-1} = q_m,$$

$$i=3: q_j=3 \cdot q_m, \quad q_{j-1} = 2 \cdot q_m.$$

.....

Сума ймовірності використання всіх марок автомобілів повинна дорівнювати одиниці.

Розрахунок потрібної кількості автомобілів при виконанні перевезень об'єднаних партій вантажів проводиться аналогічно розрахунку необхідної кількості автомобілів при виконанні перевезень вантажів дрібними партіями (див. підрозділ 1).

Годинну продуктивність та собівартість перевезень 1 т об'єднаних партій вантажів розраховують аналогічно до годинної продуктивності і собівартості перевезень 1 т дрібних відправок (див. підрозділ 1).

3. Формування автомобільного парку для обслуговуванні замовників з заданими параметрами матеріального потоку

Розрахунок необхідної кількості автомобілів характеризується умовами для обслуговування, зокрема:

1. автомобілі постійно прикріплені за об'єктом;
2. автомобілі частково прикріплені але можуть також застосовуватися на інших об'єктах;
3. автомобілі з вільним імовірнісним вибором.

В практиці найчастіше зустрічається, що одні і ті ж самі автомобілі, обслуговують декілька клієнтів.

За умовою відповідності перевізника технологічним, економічним та іншим вимогам замовника, потрібна кількість транспортних засобів A_{nt} для обслуговування матеріального потоку в кожному періоді t , може бути визначена за формулою (Коваленко 2006)

$$A_{nt} = \frac{Q_t \cdot T_{ot}}{T_{ot} \cdot q_{ni} \cdot \gamma_{ci}}, \quad (2.32)$$

де Q_t – обсяг перевезень за період t , т; T_{ot} – час одного оберту, год.;

T_{ot} – період часу за який необхідно виконати заданий обсяг перевезень, год.;

q_{ni} – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т;

γ_{ci} – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Якщо розглядати вирішення цієї задачі для кожного замовника окремо, то кількість автомобілів визначається умовою максимального обсягу перевезень в конкретному часовому періоді. За таких умов розрахункову кількість автомобілів для матеріального потоку (МП) n -ого замовника протягом всього періоду обслуговування визначається

максимальним значенням потрібної кількості автомобілів серед всіх періодів t , при умові повного виконання договірних зобов'язань:

$$A_{max_n} = \max[A_{11}, A_{12}, \dots, A_{ni}], \quad (2.33)$$

де A_{max_n} – розрахункова кількість автомобілів для обслуговування матеріального потоку n -ого замовника за весь період обслуговування t , од.;

A_{ni} – необхідна кількість автомобілів для обслуговування матеріального потоку n -ого замовника в i -тому періоді, од.

Якщо транспортне підприємство розглядає можливість обслуговування декількох замовників з визначеними параметрами i -того МП протягом визначеного періоду часу, то кількість автомобілів буде визначатися через сумарний обсяг матеріального потоку всіх замовників.

При умові відповідності параметрів транспортного засобу і параметрів замовлення в кожному i -тому періоді, із всього часу проекту t , транспортне підприємство може розраховувати кількість автомобілів не для окремих замовників, а протягом i -того періоду часу, за всіма замовленнями. При такому обслуговуванні МП замовників, розрахункову кількість автомобілів (A') в першому періоді можна знайти як:

$$\sum_{i=1}^n A'_{n1} = A_{11} + A_{21} + A_{n1}. \quad (2.34)$$

Необхідна кількість автомобілів за весь час обслуговування знаходиться, як максимальне значення суми автомобілів за всіма МП n -ого замовника, серед всіх періодів t :

$$\begin{aligned} A'_t &= \max[(A_{11}, A_{21}, \dots, A_{n1}); (A_{21}, A_{22}, \dots, A_{n2}); \dots; (A_{1t}, A_{2t}, \dots, A_{nt})] = \\ &= \max \left[\sum_{i=1}^n A'_{n1}, \dots, \sum_{i=1}^n A'_{nt} \right] \end{aligned} \quad (2.35)$$

Аналітичні викладки розрахунку кількості автопарку для окремого замовника або на період часу t представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахунок кількості автомобілів в автопарку при обслуговуванні n матеріальних потоків за час t

Замовник	Період часу				Необхідна кількість автомобілів	
	Період 1	Період 2	...	Період t	для обслуговування n замовників	для обслуговування окремого замовника
1 МП	A_{11}	A_{12}	...	A_{1t}	-	A_{max1}
2 МП	A_{21}	A_{22}	...	A_{2t}	-	A_{max1}
...
n МП	A_{n1}	A_{n2}	...	A_{nt}	-	A_{maxn}
Сума за стовпцям и	$\sum_{i=1}^n A'_{n1}$	$\sum_{i=1}^n A'_{n2}$	...	$\sum_{i=1}^n A'_{nt}$	$\max \left[\sum_{i=1}^n A'_{n1}, \dots, \sum_{i=1}^n A'_{nt} \right]$	$\sum_{i=1}^n A_{max_n}$

Сезонні зміни обсягу перевезень кожного МП n -ого замовника, призводять до зміни потрібної кількості автомобілів в періодах.

При визначені кількості автомобілів для кожного окремого замовника обирається максимальна кількість автомобілів серед всіх періодів обслуговування. Загальна кількість автомобілів в для обслуговування всіх МП в такому випадку, буде знаходитись як сума максимумів автомобілів за окремими МП, див. рис. 2.3,а. На відміну від розрахунку потрібної кількості автомобілів для n визначених замовників, коли із суми автомобілів за періодами визначається максимальна потрібна кількість автомобілів для обслуговування МП-ів див. рис. 2.3,б. Коливання обсягів перевезень при обслуговуванні окремого замовника, призводить до збільшення розрахункової кількості автомобілів, на відміну від обслуговування на період t , за рахунок можливості обслуговування МП n -их замовників в «пікові» періоди.

Відповідно кількість автомобілів при розрахунку за окремим замовником або на період часу t , буде різною (2.36), і відрізняється на величину ΔA (2.37):

$$\sum_{i=1}^n A_{maxn} \geq \max \left[\sum_{i=1}^n A'_{n1}, \dots, \sum_{i=1}^n A'_{nt} \right] \quad (2.36)$$

$$\sum_{i=1}^n A_{maxn} - \max \left[\sum_{i=1}^n A'_{n1}, \dots, \sum_{i=1}^n A'_{nt} \right] = \Delta A. \quad (2.37)$$

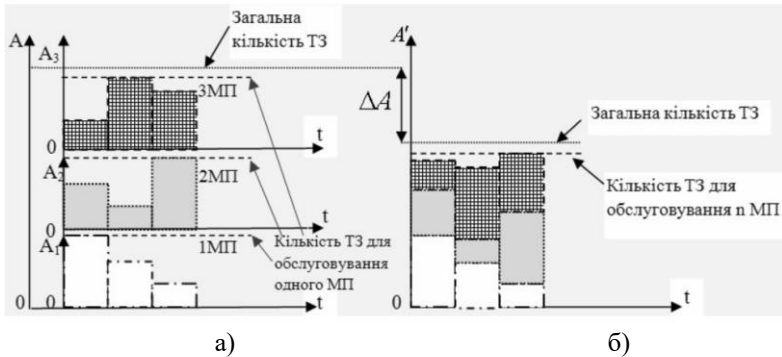


Рис. 2.3 Розрахунок кількості автомобілів для окремого МП (а) та за періодом часу t (б)

Відповідно до (2.37) ΔA показує наскільки ефективно використовувати автомобілі при обслуговуванні декількох замовників в одному періоді. Якщо $\Delta A = 0$, то необхідна кількість автомобілів яка розрахована в періоді t протягом всього періоду обслуговування – є «піковою». Розрахунок на період t і для окремого замовника дорівнюють. В такому випадку потрібно розглядати інші варіанти обслуговування ТЗ, наприклад часткове залучення найманих автомобілів.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Отримати вихідні дані для розрахунку (видає викладач на занятті);
2. Встановити закон розподілу розмірів партій вантажів, які пред'явлені до перевезення;
3. Визначити, з використанням математичних методів, раціональну структуру парку транспортних засобів;
4. Розрахувати годинну продуктивність рухомого складу та собівартість перевезення вантажу;
5. Розрахувати потрібну кількість транспортних засобів для обслуговування матеріального потоку в заданому періоді;
6. Визначити рухомий склад;
7. Надати висновки та практичні рекомендації.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ОЦІНКА НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо вибору першочергових критеріїв направлених на підвищення ефективності функціонування транспортного підприємства в умовах невизначеності шляхом застосування методу аналізу альтернативних ієрархій, який дає змогу кількісно виміряти оцінку, тобто отримати числові значення для оціночних критеріїв якості.

Зростаючі потреби виробництва, високі вимоги замовників (клієнтів) до перевезення вантажів, вимагає реорганізації транспортних підприємств (компаній) з налагодженням (розширенням) співпраці між ними та водночас вимагає створювати та впроваджувати технологічні інновації. Технологічний розвиток транспортних компаній є одним з можливих джерел інновацій. Сьогодні, в умовах глобалізації світу, глобальної економічної конкуренції та стрімкого розвитку умов інформаційного співробітництва в транспортній сфері, бізнес-компанії, які прагнуть зберегти свою конкурентоспроможність, повинні йти в ногу з прискоренням ринкової динаміки та вдосконалювати технологічний розвиток. Тому необхідно узгодити технологічні засоби, що використовуються в виробничо-транспортному і логістичному співробітництві для передачі та обміну інформацією, і щоб забезпечити підвищення ефективності роботи автотранспортної компанії в цілому.

Синергія технологічного розвитку виробництва, транспортного підприємства (компанії), логістичної кооперації забезпечується переважно сумісністю технологій транспортної системи та технологічною грамотністю працівників (Vaiciūtė 2022).

Досягнення автотранспортних компаній у доставці вантажів залежать від добре керованої стратегії співпраці та технологічного розвитку - процесу, в якому технологічний розвиток відіграє досить важливу роль.

Розвиток технологій в період співпраці між автотранспортними компаніями зазвичай вивчається з соціально-економічної точки зору. Технологічний розвиток компанії асоціюється з оновленням і

вдосконаленням технологій. Удосконалення – це складні процеси, пов’язані з основними організаційними системами, процесами, продуктами або галузевими проблемами. Автотранспортні підприємства забезпечують розвиток нових сфер діяльності або послуг шляхом співпраці у розробці технологій та впровадження безперервних процесів оновлення.

Співпрацюючи над технологіями, обмінюючись знаннями та розвиваючи нові компетенції працівників, компанії забезпечують відповідні технологічні можливості для розвитку діяльності. Спільно розробляючи необхідні механізми залучення клієнтів та сприяючи задоволеності постачальників, компанії отримують доступ до інформаційних ресурсів постачальників (Hong 2020).

В умовах невизначеності перевезення виробничих товарів та використання існуючих інформаційних систем у співпраці є проблематичним. При визначенні інвестицій автотранспортних компаній у технологічний розвиток під час співпраці критерії взаємодії процесів безпосередньо впливають на інтенсивність синергії автотранспортного співробітництва.

Реалізуємо методологію оцінки синергії між виробництвом, технологічним розвитком автотранспортної компанії та логістичним супроводом шляхом застосування методу аналізу альтернативних ієрархій (MAI), який дає змогу кількісно виміряти оцінку, тобто отримати числові значення для критеріїв якості.

Обраний метод організації та аналізу складних рішень використовує математику та психологію який був розроблений Томасом Л. Сааті у 1970-х роках і з того часу вдосконалювався (Vaiciūtė 2022). Він складається з трьох частин: кінцевої мети або проблеми, яку ви намагаєтесь вирішити, всіх можливих рішень, які називаються альтернативами, і критеріїв, за якими ви будете оцінювати альтернативи. План дій забезпечує раціональну основу для необхідного рішення шляхом кількісної оцінки його критеріїв і альтернативних варіантів, а також для співвіднесення цих елементів із загальною метою (рис. 3.1).

MAI перетворює ці оцінки в цифри, які можна порівняти з усіма можливими критеріями (ця можливість кількісної оцінки відрізняє його від інших методів прийняття рішень). На останньому етапі процесу обчислюються числові пріоритети для кожного з альтернативних

варіантів які і представляють найбільш бажані рішення, засновані на цінностях всіх користувачів (експертів).

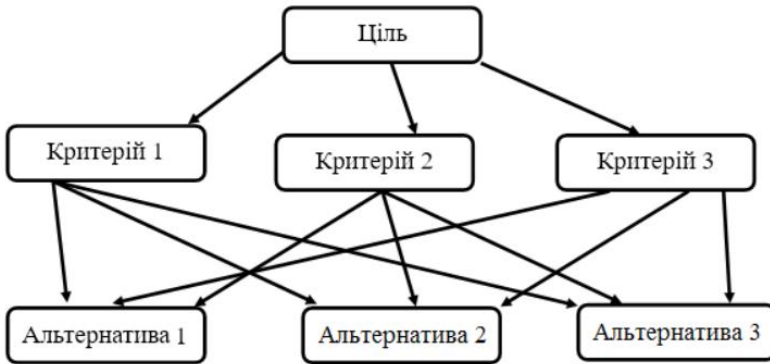


Рис. 3.1. Ієрархія зв'язків для пошуку найкращих рішень

Ще однією перевагою МАІ є точний підхід до кількісної оцінки (надання числового значення нормам якості) вагових коефіцієнтів критеріїв прийняття рішень (Курніков 2019, Saaty 1980). Ситуації прийняття рішень, до яких він може бути застосований включають:

1. Вибір. Вибір однієї альтернативи (рішення) із заданого набору альтернатив (рішень), як правило, за наявності декількох критеріїв прийняття рішення;

2. Ранжування. Впорядкування набору альтернатив від найбільш до найменш значущих;

3. Визначення пріоритетів. Визначення відносної цінності критеріїв в генеральній сукупності альтернатив замість того, щоб вибрати одну з них або просто проранжувати їх;

4. Розподіл ресурсів. Розподіл ресурсів між кількома альтернативами;

5. Порівняння процесів (бенчмаркінг) у своїй організації з процесами в інших найкращих організаціях;

6. Управління якістю. Робота з багатокритеріальними аспектами якості та покращення якості;

7. Вирішення конфліктів. Врегулювання суперечок між сторонами з явно несумісними цілями або позиціями.

Безперервний технологічний розвиток є необхідною умовою для забезпечення ефективної роботи транспортних компаній та достатньої конкурентоспроможності.

Аналіз синергетичних факторів технологічного розвитку та логістичної кооперації показав, що сумісність технологічних систем автомобільного транспорту та інших видів транспорту і технологічного розвитку різних компаній забезпечує прорив більшого потоку інформації. Брак коштів стримує технологічний розвиток для управління вантажними перевезеннями, оскільки безперервний високотехнологічний прогрес забезпечує своєчасне впровадження нових технологій в компаніях.

Сумісність технологічного розвитку автотранспортних підприємств і синергія логістичної кооперації є незамінним фактором в управлінні зростаючими інформаційними потоками і згенерованими оперативними даними в рамках логістичної кооперації. Взаємозв'язок оновлених технологій автотранспортних підприємств з передачею інформації, що здійснюється в рамках логістичного співробітництва, не є ні своєчасним, ні достатнім. Передача актуальної інформації про несумісність технологій між транспортними компаніями є неминучою.

Для того, щоб оцінити вплив певного критерію, наприклад технологічного розвитку транспортного підприємства, необхідно розробити алгоритм, що складається з чотирьох етапів:

1. Перший етап призначений для підготовки, тобто складання анкети.

2. На другому етапі проводиться відбір експертів (дослідників) відповідно до їх кваліфікації, освіти та практичного досвіду. Для того, щоб результати опитування були репрезентативними, визначається цільовий сегмент компетенції опитування (наприклад, експерт з досвідом роботи не менше п'яти років, з дипломом не нижче магістра, експедитор тощо). Експертів ознайомлюють з ходом дослідження.

3. На третьому етапі реалізується експертне опитування та розраховується сумісність матриць даних та думок експертів, яка визначалася шляхом розрахунку коефіцієнта конкордації рангів Кандела. Якщо думки узгоджуються, слід проводити наступний етап (у випадку розбіжності проводиться повторне опитування експертів)

4. Етап обробки даних. Метод ранжування використовується для визначення m об'єктів, кількісно оцінених групою експертів n .

Експерти оцінюють вплив критеріїв синергії підприємства на якість перевезень, застосовуючи методи МАІ та ранжування у порядку важливості: одиниця – найважливіший, дев'ять – найменш важливий (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Шкала бального оцінювання МАІ (Vaičiūtė 2022, URL-1)

Рівень важливості	Пояснення
1	Дві дії мають однаковий внесок мети
3	Існують недостатньо переконливі міркування на користь переваги однієї з дій
5	Маються надійні дані для того, щоб показати перевагу однієї з дій
7	Переконливе свідчення на користь однієї дії перед іншою
9	Незаперечні переконливі свідчення на користь переваги однієї дії перед іншою
2, 4, 6, 8	Ситуація коли необхідне компромісне рішення

Метод дозволяє перетворити якісні критерії оцінки в кількісні, тобто дозволяє оцифрувати процес оцінки реалізуючи ієрархічний підхід до отримання інформації про альтернативи за допомогою попарних порівнянь. Метод МАІ базується на матриці парних порівнянь. Експерти порівнюють всіх оцінюваних, присвоюючи їм показники R_i і R_j ($i, j = 1, \dots, m$), (m -кількість показників). За допомогою методу якісні оцінки індикаторів експертів переводяться у кількісні, тобто ваги індикаторів. Результатом порівняння є квадратна матриця $P = (p)_{ij}$ ($i, j = 1, \dots, m$). Елементи p_{ij} матриці P розглядаються як відношення вагових значень показників R_i і R_j .

Однією з переваг даного методу МАІ над іншими методами багатокритеріального оцінювання є його гнучкість, зручність для осіб, які приймають рішення, та можливість перевірки на сумісність; можливість оцінювати як якісні, так і кількісні показники, з визначеними значеннями критеріїв; здатність оцінювати рішення експертів та зацікавлених сторін проекту шляхом вибору критеріїв відповідно до рівнів ієрархії; цей підхід є більш придатним для оцінки якісних показників.

Коефіцієнт конкордації дозволяє кількісно оцінити узгодженість думок кількох експертів і показує рівень узгодженості експертної групи. Експертні оцінки, отримані на основі заповнених анкет, наведені в таблиці.

На основі методу багатокритеріальної оцінки складається матриця з n рядків і m стовпців (табл. 3.2). Оцінка може бути виконана в одиницях індикатора, частках одиниці, відсотках або в десятковій системі.

Таблиця 3.2

Матриця оціночних індикаторів (критеріїв)

Код експерта	Індикатор				
	X_1	X_2	X_3	...	X_m
E_1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	...	R_{1m}
E_2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	...	R_{2m}
E_3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	...	R_{3m}
...
E_n	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	...	R_{nm}

Розраховується середнє арифметичне сум рангів (Podvezko 2005)

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} = \frac{1}{2}n(m + 1), \quad (3.1)$$

де R_{ij} – ранг оцінки i -м експертом j -го індикатора;
 m - кількість індикаторів,
 n - кількість експертів.

Для оцінки узгодження думок експертів застосовується коефіцієнт конкордації (Курніков 2019)

$$W = \frac{12S}{n^2m(m^2-1)} = \frac{12S}{n^2(m^3-m)}, \quad (3.2)$$

де S - сума квадратів відхилення від середнього арифметичного.
 Коефіцієнт конкордації W приймає значення від 0 до 1 (більше значення коефіцієнта конкордації відповідає більшій узгодженості думок експертів)

Перевірка гіпотези про наявність згоди експертів виконується за допомогою критерію Пірсона χ^2 який розраховується за формулою (Saaty 1980)

$$\chi^2 = n(m - 1)W = \frac{12S}{nm(m+1)} \quad (3.3)$$

Розрахована величина χ^2 порівнюється з табличним значенням $\chi_{\text{табл}}^2$.

Мінімальне значення коефіцієнта конкордації W_{\min} розраховується за формулою (Vaičiūtė 2022)

$$W_{\min} = \frac{\chi_{\text{табл}}^2}{n(m-1)}; \quad (3.4)$$

$$S_{\max} = \frac{n^2 m(m^2 - 1)}{12}; \quad (3.5)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{2}n(m + 1). \quad (3.6)$$

З огляду на показники оцінок експертів (3.6), узгодженість їхніх думок визначається за допомогою розрахунку коефіцієнта конкордації рангів Кендалла. Припустимо, що дисперсія S є дійсною сумою квадратів, розрахованою за формулою (3.1). Тоді коефіцієнт конкордації за формулою (3.2), за відсутності споріднених рангів, визначається відношенням отриманого S до відповідного максимального S_{\max} за формулою (3.5). Порогове значення коефіцієнта конкордації – це значення, при якому експертні оцінки можна вважати узгодженими, а значущість коефіцієнта конкордації можна визначити за допомогою критерію Пірсона χ^2 за формулою (3.3). Найменше значення коефіцієнта конкордації W_{\min} розраховується за формулою (3.4).

Коефіцієнт компетентності кожного експерта розраховується за допомогою методу розрахунку коефіцієнта компетентності експерта. У формулі (3.7) на першій ітерації всім експертам присвоюється однаковий коефіцієнт компетентності. Надання однакової ваги всім експертам показує, чи є думки експертів однотайними та компетентними. Для цього розраховується коефіцієнт компетентності експертів (Vaičiūtė 2022)

$$K_j^0 = \frac{1}{n}, j=1, \dots, n \quad (3.7)$$

де: n – кількість експертів, K_j^0 -коефіцієнт компетентності експерта, 0 – індекс з першою ітерацією, що дорівнює 1. Потім суми початкових значень рангів у стовпчиках множаться на початковий коефіцієнт компетентності. Отримують групові оцінки альтернатив (3.8) та нову матрицю для розрахунку коефіцієнта компетентності.

Коефіцієнт компетентності розраховується за формулами (3.8)-(3.10)

$$X_j^t = \sum_{i=1}^m K_i^{t-1} \cdot x_{ij}, j = 1, \dots, n \quad (3.8)$$

де X_j^t – нові значення матриці; $\sum_{i=1}^m K_i^{t-1}$ – групові оцінки; $x_{ij} = \dots$; i – номер експерта; j – ранг альтернативи.

$$\lambda^t = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_j^t \cdot x_{ij}, \quad (3.9)$$

де: λ^t – це всі матриці – x_j^t - сума значень.

$$K_i^t = \frac{1}{\lambda^t} \cdot \sum_{j=1}^n x_j^t \cdot x_{ij}, \sum_{i=1}^m K_i^t = 1 \quad (3.10)$$

При прямому методі зважування критеріїв, c_{ik} сума ваг всіх оцінок кожного експерта повинна дорівнювати 1,0 (або 100%). При непрямому методі визначення ваги критеріїв опосередковано використовується обрана система оцінювання (5, 10, 20 і т.д.). Оцінки можуть повторюватися. Ваги w критеріїв (Vaičiūtė 2022)

$$w = \frac{\sum_{k=1}^r c_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r c_{ik}} \quad (3.11)$$

Експертні оцінки записуються у вигляді c_{ik} ($i = 1, \dots, M$; $k = 1, \dots, R$), де m – кількість застосованих критеріїв, r – кількість експертів. Процес дослідження базується на кількох твердженнях (гіпотезах), які можуть бути використані, застосовуючи метод МАІ, для визначення впливу обраних показників і прийняття подальших рішень.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Визначити оціночні критерії підвищення ефективності роботи транспортного підприємства;
2. Обрати кількість експертів та сформулювати вимоги до них;

3. Провести попарне порівняння експертів та відображенням результатів у вигляді матриці (табл. 3.3)

Таблиця 3.3

Матриця попарних порівнянь головного експерта

Критерій	Значення відповідності факторного критерію					Середнє геометричне	Вагова оцінка головного експерта
	X_1	X_2	X_3	X_n		
X_1							
X_2							
X_3							
...							
X_n							
Сума							1,0

4. Відповідно до внутрішньої значущості факторних груп головного експерта формується матриця внутрішніх залежностей, за якою перераховується значущість факторних груп (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Значимість експертного оцінювання

Критерій	Значення відповідності факторного критерію				
	E_1	E_2	E_3	....	E_n
X_1					
X_2					
X_3					
...					
X_n					
Сума	1	1	1	1	1

5. Перевіряється узгодженість думок експертів за допомогою коефіцієнтів конкордації. При розрахунку коефіцієнта конкордації проводиться ранжування експертних оцінок та розподіл рангів критеріїв за важливістю.

6. Визначається коефіцієнти компетентності експертів щодо важливості елементів (табл. 3.5)

Таблиця 3.5

Коефіцієнти компетентності експертів щодо важливості елементів

Коефіцієнти компетентності експертів				
E_1	E_2	E_3	E_n

7. Розрахунок значущості критеріїв показує, як експерти оцінюють кожен з критеріїв. На основі експертних оцінок та розрахунків значимість критеріїв (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Аналіз визначення значимості критеріїв

Експерт	Важливість оцінки критеріїв				
	X_1	X_2	X_3	X_n
E_1					
E_2					
E_3					
...					
E_n					
Сума					
Місце за значимістю					

8. Зробити висновки та надати практичні рекомендації.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СІТЬОВОГО ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо підвищення ефективності планування і управління комплексами виробничо-транспортних робіт, що забезпечується реалізацією побудови поліпшеного або оптимального плану і можливістю управління процесами його виконання.

1. Основні поняття про сітьове планування і управління

При застосуванні методів сітьового планування і управління (СПУ) можна побудувати модель, яка відбиває порядок виконання робіт і дає можливість вчасно отримувати інформацію про стан робіт, витрату ресурсів, про майбутні затримки і можливості прискорення ходу робіт, виділяються вирішальні (критичні) роботи, що дозволяє керівництву погоджувати дії співвиконавців.

Сітьові моделі відносно прості, зручні для аналізу і при використанні відповідного програмного забезпечення для ЕОМ дозволяють швидко знаходити найкращі варіанти управлінських дій.

Система СПУ призначена для підвищення ефективності планування і управління комплексами робіт, що забезпечується можливістю побудови поліпшеного або оптимального плану їх реалізації і можливістю управління процесами виконання цього плану. За характером функціонування системи СПУ можуть бути одиничної дії, призначені для одноразового використання, і постійної дії.

Мета СПУ – забезпечення визначених оптимальних показників. Такими показниками залежно від конкретних умов, заданих вимог можуть бути: мінімальний час виконання всього комплексу робіт, мінімальна вартість розробки, максимальна економія ресурсів та ін.

Основним плановим документом у СПУ є сітьовий графік (сітьова модель), що представляє собою інформаційно-діагностичну модель, у якій зображуються взаємозв'язки і результати всіх робіт, що необхідні для досягнення кінцевої мети розробки.

У термінах теорії графів, сітьовий графік – це орієнтований граф без контурів, ребра якого мають одну чи кілька числових

характеристик. Ребрами зображуються на графі роботи, а вершинами графа – події.

Залежно від масштабу комплексу робіт розрізняють такі системи:

- великі розробки (кількість подій в сіті 10000 ... 12000);
- середні розробки (кількість подій в сіті 1500 ... 10000);
- малі розробки (кількість подій в сіті до 1500).

У випадку невеликих розробок від кількох десятків подій до 100 використовуються ручні методи розрахунку і аналізу сітьових моделей.

Сітьова модель представляє собою план виконання деякого комплексу взаємопов'язаних робіт (операцій), який заданий в специфічній формі сіті, графічне зображення якої називається сітьовим графіком. Основу сітьового графіка складають три елементи: робота, подія, шлях.

Робота – це самостійна виробнича операція (або виробничий процес) в сітьовому графіку, яку можна розглядати ізольовано від інших. Розрізняють наступні види робіт:

- дійсна – виробничий процес, який вимагає затрат часу і ресурсів (транспортування машини, мийка машини, проведення експерименту та ін.);
- очікування – технологічна операція яка вимагає часу без витрати ресурсів (охолодження відливок, старіння, сушіння);
- фіктивна (залежність) – вказує тільки на логічний зв'язок між роботами і не вимагає ні часу, ні ресурсів.

Дійсну роботу і очікування відмічають на сітьовому графіку суцільними лініями із стрілками, а фіктивну – штриховими.

Подія – це фіксований факт, який визначає закінчення або можливість початку однієї або кількох робіт, момент, що фіксує певний стан виробничого процесу (не має тривалості). У кожній роботі є початкова і кінцева подія. Роботу неможливо почати, поки не настане її початкова подія. Подія не може здійснитись до тих пір, поки не будуть виконані всі роботи, для яких вона є кінцевою.

Будь-яка робота з'єднує дві події: початкову і та кінцеву j , яка кодується номерами її початкової і кінцевої події ($i-j$) (рис. 4.1).

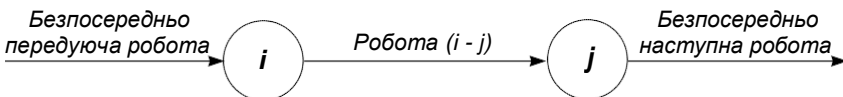


Рис. 4.1. Позначення роботи на сітьовому графіку

За відношенням до передуючих і наступних робіт події бувають:

- проміжними – виражають отримання кінцевих результатів всіх передуючих і готовність до початку всіх безпосередньо наступних робіт. Вони є одночасно початковими і кінцевими подіями для різних робіт;

- вихідними – виражають готовність до початку робіт. Вони не мають вхідних робіт. В сіті може бути тільки одна початкова подія;

- завершальними – виражають факт закінчення всіх робіт і не мають вихідних робіт. Таких подій в сіті може бути одна (одно цільова сіть) або кілька (багатоцільова сіть).

Шлях – будь яка послідовність робіт, яка з'єднує деякі дві події. Тривалість шляху дорівнює сумарній тривалості робіт із яких він складається.

Розрізняють шляхи:

- повний – послідовність робіт, яка з'єднує вихідну і завершальну події;

- передуючий події i – послідовність робіт, яка з'єднує вихідну подію i і проміжну подію i ;

- наступний за подією i – послідовність робіт, яка з'єднує подію i із завершальною;

- між подіями i та j ;

- критичний – повний шлях, який має найбільшу тривалість.

В сітьовому графіку завжди кілька повних шляхів. Максимальний із них – критичний.

Порядок і правила побудови сітьових графіків

Сітьові графіки складаються на початковому етапі планування. Спочатку планований процес розбивається на окремі роботи, складається перелік робіт і подій, продумуються їхні логічні зв'язки і послідовність виконання, роботи закріплюються за відповідальними виконавцями. З їх допомогою (експертами) оцінюється тривалість кожної роботи. Потім складається (зшивається) сітьовий графік. Після упорядкування сітьового графіка розраховуються параметри подій і робіт, визначаються резерви часу і критичний шлях. Нарешті, проводяться аналіз і оптимізація сітьового графіка, який при необхідності викреслюється заново з перерахуванням параметрів подій і робіт.

При побудові сітьового графіка необхідно дотримувати ряд правил:

1. У сітьовій моделі не повинне бути «тупикових» подій, тобто подій, з яких не виходить жодна робота, за винятком завершальної події;

2. У сітьовому графіку не повинне бути «хвостових» подій (крім вихідної), яким не передує хоча б одна робота;

3. У сіті не повинно бути замкнутих контурів і петель, тобто шляхів, що з'єднують деякі події з ними ж самими. При виникненні контуру (а в складних мережах, тобто в мережах з високим показником складності, це зустрічається досить часто і виявляється лише за допомогою ЕОМ) необхідно повернутися до вихідних даних і шляхом перегляду складу робіт домогтися його усунення.

5. Будь-які дві події повинні бути безпосередньо пов'язані не більш ніж однією роботою-стрілкою. Якщо це не так, то рекомендується вводити фіктивні події і фіктивні роботи.

6. У сіті рекомендується мати одну вихідну і одну завершальну подію. Якщо в складеній мережі це не так, то домогтися бажаного можна шляхом уведення фіктивних подій і робіт.

Фіктивні роботи можуть вводитись для відображення реальних відстрочок і очікування. В цьому випадку фіктивні роботи мають певну тривалість.

Упорядкування сітьового графіка

Припустимо, що при складанні деякого проекту виділено 12 подій: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 і 24 роботи, що їх з'єднують: (0–1), (0–2), (0–3), (1–5), (1–4), (1–2), (2–3), (2–5), (2–7), (3–7), (3–6), (3–10), (4–8), (5–8), (5–7), (6–10), (7–6), (7–8), (7–9), (7–10), (8–9), (9–11), (10–9), (10–11). Необхідно скласти й упорядкувати сітьовий графік.

Як впливає з переліку робіт, вихідною подією сітьового графіка є подія 0 (їй не передують ніякі роботи), а завершальною – подія 11 (за нею не слідує жодна робота). Будемо вважати що на сітьових графіках зміна часу відбувається зліва-направо, помістимо подію 0 у ліву частину графіка, а подія 11 – у праву частину, розмістивши між ними проміжні події в деякому порядку, що відповідає їхнім номерам (рис. 4.2). Події зв'яжемо роботами-стрілками відповідно до переліку робіт.

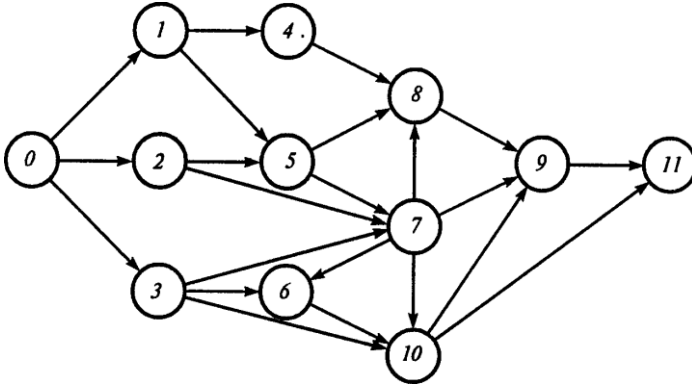


Рис. 4.2. Сітьовий графік проекту

Побудований сітьовий графік задовольняє сформульованим правилам, Однак цей графік не цілком упорядкований. Упорядкування сітьового графіка полягає в такому розташуванні подій і робіт, при якому для будь-якої роботи передуюча їй подія розташована лівіше і має менший номер у порівнянні з завершальною подією цієї роботи. В упорядкованому сітьовому графіку всі роботи-стрілки спрямовані зліва-направо: від подій з меншими номерами до подій з більшими номерами. Розіб'ємо умовно сітьовий графік на кілька вертикальних шарів.

Помістивши в I шарі початкову подію 0 (див. рис. 4.3), уявно викреслимо із графіка (рис. 7.2) цю подію і усі вихідні з неї роботи-стрілки. Тоді без вхідних стрілок залишиться подія 1, що утворить II шар. Викресливши уявно подію 1 і усі вихідні з неї роботи, побачимо, що без вхідних стрілок залишаються події 4 і 2, що утворять III шар. Продовжуючи зазначену процедуру викреслювання, одержимо IV шар з подіями 5 і 3, V шар – з подією 7, VI з подіями 8 і 6, VII шар – з подією 10, VIII з подією 9 і, нарешті, ІБ шар – з подією 11.

Тепер бачимо, що первинна нумерація подій не зовсім правильна: так, подія 6 лежить у VI шарі і має номер, менший, ніж подія 7 з попереднього шару. Те ж можна сказати про події 9 і 10.

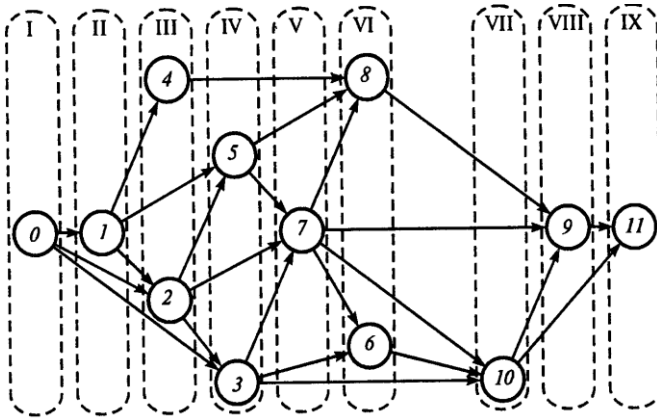


Рис. 4.3. Розбивання сітьового графіка на вертикальні шари

Змінимо нумерацію подій відповідно до їхнього розташування на графіку (рис. 4.3) і одержимо упорядкований сітьовий графік (рис.4.4), у якому над стрілками зазначена тривалість відповідних робіт.

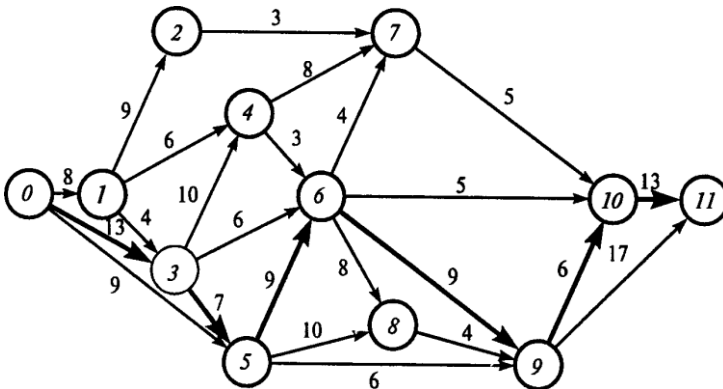


Рис. 4.4. Упорядкований сітьовий графік із зазначеними тривалостями робіт

Класичний вигляд сітьового графіка – це сіть, накреслена без масштабу часу. Тому сітьовий графік, хоча і дає чітку уяву про порядок проходження робіт, але недостатньо наочний для визначення тих робіт, що повинні виконуватися в кожен даний момент часу. У зв'язку з цим

невеликий проект після упорядкування сітьового графіка рекомендується доповнити лінійною діаграмою проекту.

При побудові лінійної діаграми кожна робота зображується відрізком, який паралельний осі часу і довжина якого дорівнює тривалості цієї роботи.

При наявності фіктивної роботи нульової тривалості вона зображується точкою. Події i та j , початок та кінець роботи (i, j) розміщують відповідно на початку та в кінці відрізка. Відрізки розміщують один над одним, знизу вгору в порядку зростання індексу i , а при одному і тому ж i – в порядку зростання індексу j . Роботи які лежать на критичному шляху виділяються жирними лініями. Така лінійна діаграма для розглянутої сіті показана на рисунку 4.5.

При побудові лінійної діаграми кожна робота зображується відрізком, який паралельний осі часу і довжина якого дорівнює тривалості цієї роботи. При наявності фіктивної роботи нульової тривалості вона зображується точкою. Події i та j , початок та кінець роботи (i, j) розміщують відповідно на початку та в кінці відрізка. Відрізки розміщують один над одним, знизу вгору в порядку зростання індексу T , а при одному і тому ж i – в порядку зростання індексу j . Роботи які лежать на критичному шляху виділяються жирними лініями

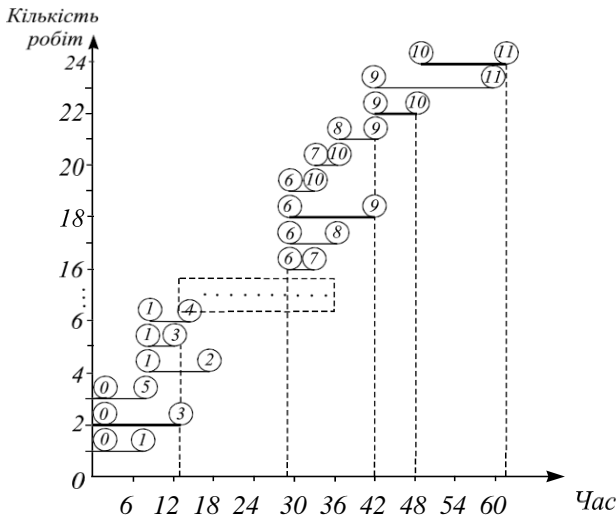


Рис. 4.5. Лінійна діаграма проекту

Оцінка тривалості виконання окремих робіт.

При визначенні часових параметрів сітьового графіка вважається, що час виконання кожної роботи відомий. Але на практиці така ситуація зустрічається нечасто. Сітьові графіки застосовуються для планування складних розробок, які не мають аналогів. Найчастіше тривалість робіт за сітьовим графіком завчасно невідома і може приймати лише одне із ряду можливих значень. Тобто, тривалість роботи $t(i, j)$ є випадковою величиною. Ця величина характеризується своїм законом розподілу, а отже своїми числовими характеристиками:

- середнім значенням (математичним сподіванням) $M(t(i, j))$

$$M(t(i, j)) = \int x dF(x), \quad (4.1)$$

$$M(t(i, j)) = \sum_{k=1}^x t_k(i, j) p_k, \quad (4.2)$$

де dF - функція розподілу;

- дисперсією $D(t(i, j))$

$$D(t(i, j)) = M(t(i, j))^2 - (M(t(i, j)))^2 \quad (4.3)$$

- середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma(t(i, j)) = \sqrt{D(t(i, j))}. \quad (4.4)$$

Практично при розробці сітьових графіків апіорі приймається, що розподіл тривалості робіт має три властивості:

- неперервність;
- наявність одного максимуму для кривої розподілу;
- наявність двох точок перетину з віссю «0», які мають невід'ємні абсциси.

Крім того встановлено, що розподіл має позитивну симетрію, тобто максимум кривої зміщений вліво відносно медіани. Розподіл, як правило, більш круто піднімається при віддаленні від мінімального значення t і похило опускається при наближенні до максимального значення t .

Найпростішим розподілом з такими властивостями є відомий в математичній статистиці β -розподіл (рис. 4.6). Аналіз великої кількості

статистичних даних (хронометражі часу реалізації окремих робіт, нормативні дані тощо) показує, що β -розподіл можна використовувати в якості апіорного для всіх робіт.

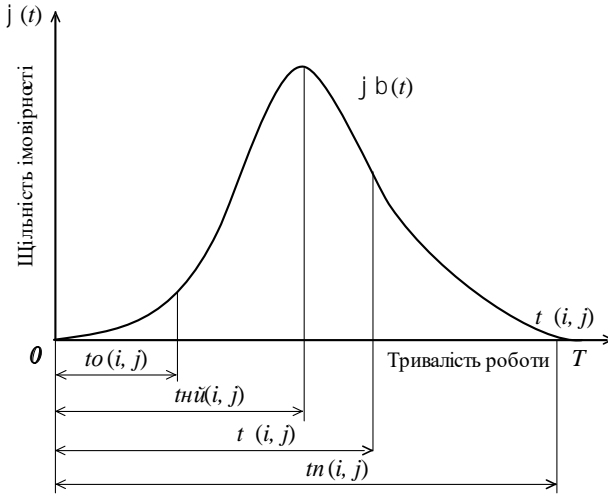


Рис. 4.6. Кількісні характеристики тривалості робіт для β -розподілу

Для визначення числових характеристик $\bar{t}(i, j)$ та $D(t(i, j))$ цього розподілу для роботи (i, j) , на підставі опитування відповідальних виконавців проекту і експертів визначають три часові характеристики:

1. оптимістичну оцінку $t_o(i, j)$, тобто тривалість роботи (i, j) при самих сприятливих умовах;
2. песимістичну оцінку $t_n(i, j)$, тобто тривалість роботи (i, j) при самих несприятливих умовах;
3. найбільш імовірну оцінку $t_{нй}(i, j)$, тобто тривалість роботи (i, j) при нормальних умовах.

Припущення про β -розподіл тривалості роботи (i, j) дозволяє отримати наступні оцінки її числових характеристик

$$\bar{t}(i, j) = \frac{t_o(i, j) + 4t_{нй}(i, j) + t_n(i, j)}{6}, \quad (4.5)$$

$$D(t(i, j)) = \left(\frac{t_n(i, j) - t_o(i, j)}{6} \right)^2. \quad (4.6)$$

Зазвичай спеціалістам складно оцінити найбільш імовірний час виконання роботи. Тому в реальних проєктах існує спрощена оцінка середньої тривалості роботи (i, j)

$$\bar{t}(i, j) = \frac{2t_o(i, j) + 3t_n(i, j)}{5}. \quad (4.7)$$

Знаючи математичне сподівання і дисперсію для кожної роботи можна визначити часові параметри сітьового графіка і оцінювати х надійність.

Так, при достатньо великій кількості робіт, які належать деякому шляху L можна застосувати центральну граничну теорему Ляпунова, на підставі якої можна стверджувати, що загальна тривалість шляху L має нормальний закон розподілу із середнім значенням $\bar{t}(L)$, який дорівнює сумі середніх значень тривалості робіт $\bar{t}(i, j)$ і дисперсією $D(L)$, яка дорівнює сумі відповідних дисперсій $D(t(i, j))$.

$$\bar{t}(L) = \sum_i \bar{t}(i, j), \quad (4.8)$$

$$D(L) = \sum_{ij} D(t(i, j)). \quad (4.9)$$

Припустимо, що сітьовий графік має не детерміновані тривалості робіт, а випадкові. В цьому випадку цифри над роботами – стрілками вказують середні значення тривалості відповідних операцій і відомі всі дисперсії тривалості робіт. В цьому випадку всі часові параметри сітьового графіка (довжина критичного шляху, ранні і пізні терміни здійснення подій, резерви часу подій і робіт) будуть середніми значеннями відповідних випадкових величин.

Так, $\bar{t}_{кр} = 61$ буде означати, що довжина критичного шляху в середньому складає 61 добу, а в кожному конкретному проєкті можливі відхилення довжин критичного шляху від його середнього значення. Причому чим більша сумарна дисперсія тривалості робіт критичного шляху, тим більше імовірні значні за абсолютною величиною відхилення.

Тому попередній аналіз сітьових графіків із випадковими тривалостями робіт включає і оцінку імовірності того. Що термін виконання проєкту $t_{кр}$ не перевищить заданого директивного терміну T .

Вважаючи, що $t_{кр}$ є випадковою величиною яка має нормальний закон розподілу, отримаємо

$$P(t_{кр} \leq T) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{T - \bar{t}_{кр}}{\sigma_{кр}} \right). \quad (4.10)$$

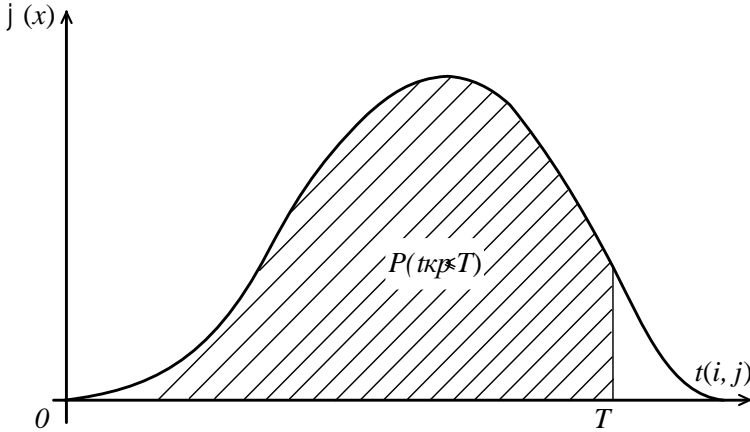


Рис. 4.7. Графік щільності розподілу тривалості виконання проекту

На рис. 7.7 це площа заштрихованої фігури, де $\Phi(z)$ – значенні інтегралу імовірностей Лапласа (табульована функція), в якій

$$z = \frac{T - \bar{t}_{кр}}{\sigma_{кр}}; \quad (4.11)$$

$$\sigma_{кр} = \sqrt{D_{кр}}, \quad (4.12)$$

а $D_{кр}$ – за формулою (4.9).

Якщо $P(t_{кр} \leq T)$ мала (наприклад, менша 0,3), то небезпека зриву заданого терміну виконання комплексу робіт дуже велика і необхідно передбачити додаткові заходи (перерозподіл ресурсів, перегляд складу робіт і подій). Якщо $P(t_{кр} \leq T)$ значна (наприклад, більша за 0,8), то з достатнім ступенем імовірності можна прогнозувати виконання проекту у встановлені терміни.

Також можливе вирішення і оберненої задачі: визначення максимального строку виконання проекту T із заданою імовірністю β .

$$T = \bar{t}_{кр} + z_{\beta} \cdot D_{кр}. \quad (4.13)$$

де z_{β} – нормоване відхилення випадкової величини, яке визначається за допомогою функції Лапласа $\Phi(z_{\beta}) = \beta$.

Для прикладу розглянемо сітьовий графік робіт зображений на рис. 4.4.

Нехай для цього графіка задані дисперсії тривалості робіт, які лежать на критичному шляху:

$$D(t(0,3)) = 2,5; D(t(3,5)) = 2,1; D(t(5,6)) = 3,2; D(t(6,9)) = 4,0 \\ D(t(9,10)) = 1,5; D(t(10,11)) = 2,1$$

Необхідно оцінити імовірність виконання проєкту в строк $T = 63$ доби.

Середньоквадратичне відхилення довжини критичного шляху знайдемо за формулою (4.4) та (4.9)

$$\sigma_{кр} = \sqrt{D(t(i,j))} = \sqrt{2,5 + 2,1 + 3,2 + 4,0 + 1,5 + 3,5} \approx 4,1.$$

Шукана імовірність за формулою (4.10) та (4.11)

$$(t_{кр} \leq 63) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{63-61}{4,1}\right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{2}{4,1}\right) = 0,5 + 0,5 \cdot \\ 0,376 = 0,688$$

де $\Phi(z)$ – значення інтеграла Лапласа (визначається з довідкових таблиць).

Тобто із імовірністю 0,688 можна передбачити виконання проєкту в строк $T = 63$ доби.

Параметри сітьових моделей та їх розрахунок

Основні параметри сітьових моделей – це критичний шлях, резерви часу подій, робіт і шляхів. Крім цих показників існує цілий ряд допоміжних, які є вихідними для отримання додаткових характеристик при аналізі і оптимізації сітьового комплексу робіт.

В табл. 4.1 приведені основні часові параметри сітьових моделей.

Подія не може здійснитися до тих пір, поки не здійсняться всі попередні роботи. Тому ранній термін $t_p(i)$ здійснення i -ї події визначається тривалістю максимального шляху, якій передує цій події

$$t_p(i) = \max t(L_{ni}) \quad (4.14)$$

де L_{ni} – будь-який шлях, який передує i -тій події, тобто шлях від вихідної до i -тої події в сіті.

Якщо подія j має декілька передуючих шляхів, а відповідно і декілька передуючих подій, то ранній термін здійснення події зручно знаходити за формулою

$$t_p(j) = \max(t_p(i) + t(i,j)) \quad (4.15)$$

Таблиця 4.1

Основні часові параметри сітьових моделей

Елемент сіті, який характеризується параметром	Найменування параметра	Умовне позначення параметра
Подія i	Ранній термін здійснення події Пізній термін здійснення події Резерв часу здійснення події	$t_p(i)$ $t_n(i)$ $R(i)$
Робота (i, j)	Тривалість роботи Ранній термін початку роботи Ранній термін закінчення роботи Пізній термін початку роботи Пізній термін закінчення роботи Повний резерв часу роботи Частковий резерв часу роботи першого виду Частковий резерв часу роботи другого виду (вільний резерв) Незалежний резерв часу роботи	$t(i,j)$ $t_{pn}(i,j)$ $t_{pz}(i,j)$ $t_{mn}(i,j)$ $t_{nz}(i,j)$ $R_n(i,j)$ $R_1(i,j)$ $R_e(i,j)$ $R_n(i,j)$
Шлях L	Тривалість шляху Тривалість критичного шляху Резерв часу шляху	$t(L)$ t_{kp} $R(L)$

Затримка здійснення події i відносно до свого раннього терміну не відобразиться на терміні здійснення завершальної події до тих пір, поки сума терміну здійснення цієї події і тривалості максимального із послідовних за ним шляхів не перевищить тривалості критичного шляху. Тому пізній термін $t_n(i)$ здійснення i -тої дорівнює

$$t_n(i) = t_{кр} + \max(L_{ci}) \quad (4.16)$$

де L_{ci} – будь-який шлях, який слідує за i -тою подією, тобто шлях від i -тої до завершальної події в сіті.

Якщо подія i має декілька послідуючих за нею шляхів, а відповідно і декілька послідуючих подій j , то пізній термін здійснення події i зручно знаходити за формулою

$$t_n(i) = \min(t_n(j) - t(i, j)) \quad (4.17)$$

Резерв часу $R(i)$ i -тої події визначається як різниця між пізнім і раннім термінами її здійснення

$$R(i) = t_n(i) - t_{рн}(i) \quad (4.18)$$

Резерв часу події показує, на який допустимий період часу можна затримати настання цієї події, не викликаючи при цьому збільшення строків виконання комплексу робіт. Отже, події які лежать на критичному шляху резервів часу не мають, а ранній термін здійснення завершальної події визначає довжину критичного шляху.

Окрема робота може початися (і закінчитись) в ранні, пізні або інші проміжні терміни. В подальшому при оптимізації графіка можливо будь-яке розміщення роботи в заданому інтервалі.

Ранній термін $t_{рн}(i, j)$ початку роботи (i, j) співпадає з раннім терміном настання початкової (передуючої) події i , тобто

$$t_{рн}(i, j) = t_p(i) \quad (4.19)$$

Тоді ранній термін $t_{рз}(i, j)$ закінчення роботи (i, j) визначається

$$t_{рз}(i, j) = t_p(i) + t(i, j) \quad (4.20)$$

Жодна робота не може закінчитись пізніше за допустимий пізній термін своєї кінцевої події j . Тому пізній термін $t_{пз}(i, j)$ роботи (i, j) визначається співвідношенням

$$t_{пз}(i, j) = t_n(j) \quad (4.21)$$

а пізній термін $t_{пн}(i, j)$ початку цієї роботи – співвідношенням

$$t_{пн}(i, j) = t_n - t(i, j) \quad (4.22)$$

Резерв часу шляху мають всі некритичні шляхи. Він визначається як різниця між довжиною критичного і довжиною шляху, що розглядається

$$R(L) = t_{кр} - t(L) \quad (4.23)$$

Резерв часу шляху показує, на скільки в сумі може бути збільшена тривалість всіх робіт, які належать цьому шляху. Якщо затягнути виконання робіт, що лежать на цьому шляху, на час більший ніж $R(L)$, то критичний шлях переміститься на шлях L . Отже, будь-яка із робіт шляху L на його ділянці, яка не співпадає з критичним шляхом, має резерв часу.

Повний резерв часу $R_n(i, j)$ роботи (i, j) показує, на скільки можна збільшити час виконання даної роботи при умові, що термін виконання комплексу робіт не зміниться. Повний резерв $R_n(i, j)$ визначається за формулою

$$R_n(i, j) = t_n - t_p - t(i, j) \quad (4.24)$$

Повний резерв часу роботи дорівнює резерву максимального із шляхів, які проходять через дану роботу. Цей резерв можна мати при виконанні даної роботи, якщо початкова подія здійснюється в самий ранній термін і допускається здійснення кінцевої події в її самий пізній термін (рис. 4.8, а).

Важливою властивістю повного резерву роботи є те, що він належить не тільки цій роботі, але і всім повним шляхам, які проходять через неї. При використанні повного резерву часу тільки для однієї роботи, резерви часу інших робіт, які лежать на максимальному шляху, що проходить через неї, будуть повністю вичерпані. Резерви часу робіт, які лежать на інших (немаксимальних за тривалістю) шляхах, що проходять через цю роботу, скоротяться на величину використаного резерву.

Всі інші резерви роботи є частинами її повного резерву.

Частковий резерв часу першого виду R_l роботи (i, j) є частиною повного резерву часу, на яку можна збільшити тривалість роботи, не змінюючи при цьому пізнього терміну її початкової події. Цей резерв можна мати при виконанні даної роботи, передбачаючи, що її початкова і кінцева події здійсняться в свої самі пізні терміни (рис. 4.8, б)

$$R_1(i, j) = t_n(j) - t_n(i) - t(i, j) \quad (4.25)$$

$$R_1(i, j) = R_n(i, j) - R_n(i) \quad (4.26)$$

Частковий резерв другого виду (вільний резерв) часу $R_0(i, j)$ роботи (i, j) є частиною повного резерву часу, на яку можна збільшити тривалість роботи, не збільшуючи при цьому раннього терміну її кінцевої події. Цей резерв можна мати при виконанні даної роботи за умови, що її початкові і кінцеві події здійснюються в свої самі ранні терміни (рис. 4.8 в)

$$R_0(i, j) = t_p(i, j) - t_p(i) - t(i, j) \quad (4.27)$$

$$R_0(i, j) = R_n(i, j) - R(j) \quad (4.28)$$

Вільним резервом часу можна користуватись для запобігання випадковостей, які можуть виникнути в ході виконання робіт. Якщо планувати виконання робіт по ранніх термінах їх початку і закінчення, то завжди буде можливість при необхідності перейти на пізні терміни початку і закінчення.

Незалежний резерв часу R_n роботи (i, j) – частина повного резерву часу, яка отримується для випадку, коли всі передуючі роботи закінчуються в пізні терміни, а всі послідуочі роботи починаються в ранні терміни (рис. 4.8, в)

$$R_n(i, j) = t_p(j) - t_n(i) - t(i, j) \quad (4.29)$$

$$R_n(i, j) = R_n(i, j) - R(i) \quad (4.30)$$

Використання незалежного резерву часу не впливає на величину резервів часу інших робіт. Незалежні резерви намагаються використати тоді, коли закінчення попередньої роботи здійснилося в пізній допустимий термін, а послідуочі роботи хочуть виконати в ранні терміни. Якщо величина незалежного резерву дорівнює нулю або позитивна, то така можливість є; від’ємне значення $R_n(i, j)$ не має реального змісту.

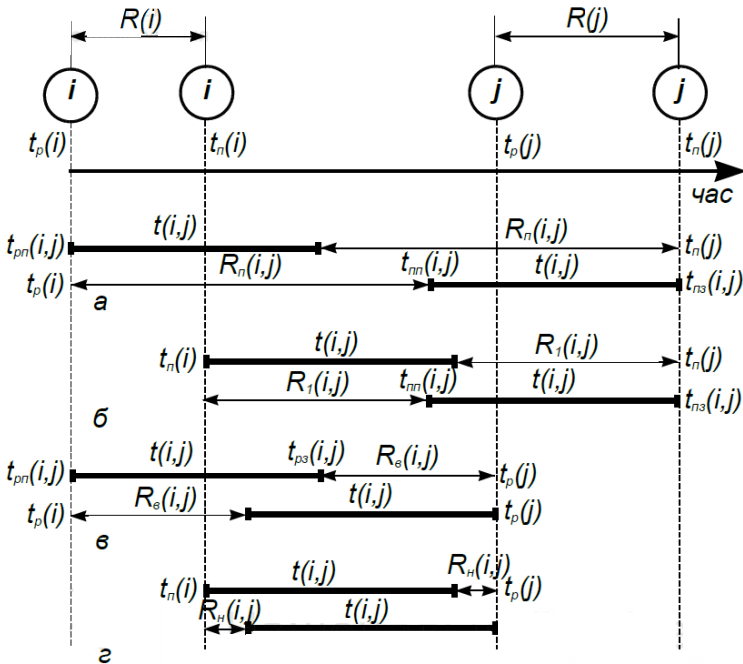


Рис. 4.8. Схема для розрахунків резервів часу подій та робіт

Аналіз та оптимізація сітьових моделей

Оптимізація сітьової моделі – це процес пошуку шляхів перерозподілу і виділення додаткових ресурсів з метою скорочення тривалості критичного шляху. Ця задача виникає завжди, коли директивний термін здійснення комплексу робіт менший за найбільш пізній термін настання завершальної події .

При оптимізації аналізуються структура графіка, трудомісткість і тривалість виконання кожної роботи, імовірність завершення розробок у заданий термін і завантаження виконавців.

Аналіз сітьового графіка передбачає також вирівнювання коефіцієнтів напруженості робіт K

$$K_{ij} = \frac{t(L_{max}) - \hat{t}_{кр}}{t_{кр} - \hat{t}_{кр}}, \quad (4.31)$$

де L_{max} – тривалість максимального шляху, який проходить через роботу (i, j) ;

$t_{кр}$ – тривалість (довжина) критичного шляху;

$t_{кр}$ – тривалість розглядуваного відрізка.

Чим ближчий до одиниці коефіцієнт напруженості, тим складніше виконати дану роботу в установлені терміни, а чим ближчий $K_n(i, j)$ до нуля, тим більший відносний резерв має максимальний шлях, який проходить через цю роботу.

Оптимізація за часом при обмежених ресурсах здійснюється їх перерозподілом між шляхами критичної зони і найкоротших шляхів сільового графіка. При цьому ресурси повинні бути однорідними. Тоді внаслідок переведення частини виконавців з найкоротшого шляху на критичний шлях можна тривалість найкоротшого шляху збільшити, а критичного – зменшити.

Розподіл ресурсів (виконавців) за термінами робіт визначають шляхом побудови «карти проекту» або графіка потреби у виконавцях.

Дисперсія зайнятості трудових ресурсів обчислюється

$$D_3 = \frac{1}{t_{кр}} \sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i, \quad (4.32)$$

де $t_{кр}$ – тривалість критичного шляху; n – кількість відрізків часу, що розглядаються; t_i – тривалість i -го відрізка часу; N_i – кількість одиниць трудового ресурсу, які одночасно задіяні на i -му відрізку часу.

Практичне завдання

Згідно з переліком робіт приведених у табл. 4.2. побудувати сільовий графік комплексу робіт та лінійну діаграму, визначити основні часові параметри для робіт і подій (табл. 4.3), провести аналіз та оптимізацію сільового графіка при умові, що на кожній роботі задіяна одна одиниця трудового ресурсу і трудові ресурси взаємозамінні. Визначити дисперсію зайнятості ресурсів до і після оптимізації. Зробити висновки.

Таблиця 4.2

Результати розрахунку основних параметрів робіт і подій

Кількість передуючих робіт	Код роботи $i-j$	Тривалість роботи, $t(i, j)$	Терміни початку і закінчення роботи				Резерви часу роботи				Резерв часу події j
			$t_{pn}(i, j)$	$t_{pz}(i, j)$	$t_{nn}(i, j)$	$t_{nz}(i, j)$	$R_n(i, j)$	$R_j(i, j)$	$R_o(i, j)$	$R_n(i, j)$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблиця 4.3

Варіанти завдань для практичної роботи

№ вар.	Роботи	Час виконання	Роботи	Час виконання	Роботи	Час виконання
1	1-2	10	2-4	4	3-5	10
	1-3	8	2-5	5	4-6	20
	1-4	7	2-6	6	5-7	3
	2-3	3	2-7	3	6-7	6
2	1-2	3	3-5	4	5-6	4
	1-3	7	3-6	9	5-7	6
	2-4	6	4-6	8	6-7	5
	3-4	5	4-8	11	7-8	2
3	1-2	2	3-5	4	5-7	4
	1-3	6	4-5	8	5-6	6
	2-3	7	4-6	9	6-8	2
	3-4	3	4-8	10	7-8	5
4	1-2	5	2-5	9	5-6	1
	1-3	4	3-4	6	6-7	5
	2-3	2	4-5	3	6-8	8
	2-4	7	4-7	8	7-8	4
5	1-2	4	3-4	6	5-7	6
	1-3	3	4-5	3	6-7	4
	2-4	9	4-6	8	6-8	7
	2-5	7	4-8	14	7-8	5
6	1-2	6	2-7	7	5-6	9
	1-3	7	3-4	4	5-8	15
	1-5	8	3-5	5	6-8	6
	2-4	10	4-7	3	7-8	11
7	1-2	6	2-4	3	3-5	7
	1-3	6	2-5	3	4-6	12
	1-4	5	2-6	4	5-7	2
	2-3	3	2-7	2	6-7	1
8	1-2	4	3-4	5	5-6	8
	1-5	18	3-8	37	6-7	6
	2-3	7	4-5	9	6-8	14
	2-4	11	4-6	3	7-8	10

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ВИРОБНИЧО-ТРАНСПОРТНА КОМУНІКАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо вибору місця розміщення розподільчого складу сервісного центру на обслуговуючій території; формування навичок розрахунку показників роботи складів; контролю процесу постачання продукції.

1. Вибір місця розміщення розподільчого складу сервісного центру на обслуговуючій території

Завдання визначення місця розміщення сервісного центру на обслуговуючій території може сформулюватися як пошук оптимального або близького до оптимального рішення, що розв'язується оцінкою всіх можливих варіантів його розміщення. Такий пошук виконується методами математичного програмування, оскільки повний перебір варіантів розміщення такого центру для транспортної сітки з N -вузлами – пересіченнями доріг, включає оцінку 2^N варіантів. Менш затратні наближені методи визначення місця розміщення центрів при невисокій складності обрахунків.

Практичне завдання №1

На регіональній території (рис. 5.1) є 8 дилерських підприємств з технічного сервісу машин і обладнання, які здійснюють їх передпродажну підготовку, технічне обслуговування і ремонт в складі єдиного дилерського центру.

Методом визначення центру ваги вантажопотоків знайти орієнтовне місце для розміщення регіонального складу для постачання необхідної продукції (запасних частин, вузлів, агрегатів тощо).

Вказівки до виконання

В табл. 5.1 наведені координати обслуговування дилерських підприємств (в прямокутній системі координат), а також їх місячний вантажообіг. Користуючись приведеними в теоретичних поясненнях до завдання формулами, необхідно знайти координати точки (X_c, Y_c) , в околицях якого рекомендується організувати роботу розподільчого складу.

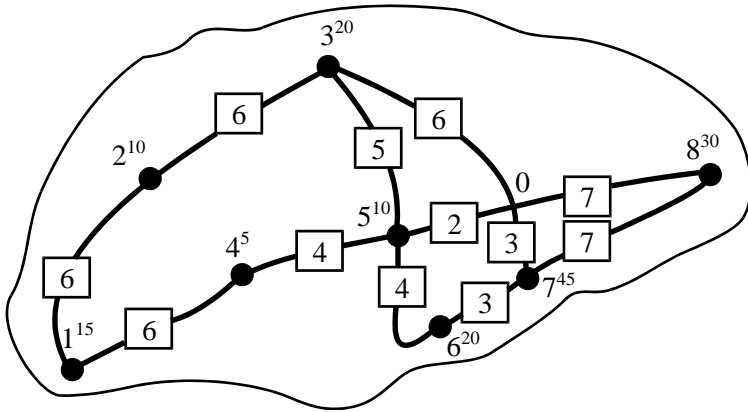


Рис. 5.1. Схематична карта обслуговування регіону:
5 – відстань між обслуговуючими дилерськими підприємствами, км;
 6^{20} – № підприємства та його потреба у продукції
(наприклад, підприємство № 6, вантажообіг – 20 т/міс.);
— — існуючі автомобільні шляхи.

Таблиця 5.1
Вантажообіг і координати обслуговування дилерських підприємств

№ підприємства	Координата X_n , км	Координата Y_n , км	Вантажообіг, т/міс
1	10	10	30
2	41	23	45
3	59	48	20
4	27	36	10
5	34	60	5
6	20	67	20
7	29	81	10
8	103	45	15

Переш ніж приступити до розрахунків, необхідно виконати креслення до завдання. Для цього на міліметровому папері необхідно нанести координати осі, а потім точки розміщення дилерських підприємств. Рекомендований масштаб: одна міліметрова поділка – 1 км.

Завданням вибору місця розміщення складу розглянемо для розподільчої системи, яка включає один склад. Головним (але не єдиним) фактором є розмір витрат на доставку продукції зі складу. Мінімізувати ці витрати можна, розмістивши склад в околицях центра ваги вантажопотоків.

В якості прикладу рішення розглянемо розподільчу систему, яка обслуговує чотири дилерських підприємства. Нанесемо на карту координатні вісі таким чином, щоб обслуговуючий район розмістився на в першій чверті системи координат (рис. 5.2). Знайдемо координати точок, в яких розміщені підприємства – споживачі матеріального потоку.

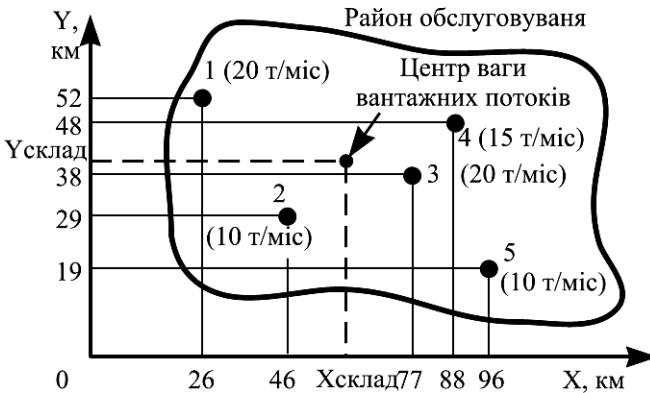


Рис. 5.2. Визначення місця розміщення складу методом пошуку центру ваги вантажних потоків (в дужках поряд з номером підприємства вказаний його місячний вантажообіг)

Координати центра ваги вантажних потоків (X_c , Y_c), тобто точки, в околицях яких може бути розміщений розподільчий склад, визначається за формулами:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad X_c = \frac{26 \cdot 20 + 46 \cdot 10 + 77 \cdot 20 + 88 \cdot 15 + 96 \cdot 10}{20 + 10 + 20 + 15 + 10} = \frac{4800}{75} = 64 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n B_i}; Y_c = \frac{52 \cdot 20 + 29 \cdot 10 + 38 \cdot 20 + 48 \cdot 15 + 19 \cdot 10}{20 + 10 + 20 + 15 + 10} = \frac{3000}{75} = 64 \text{ км,}$$

де B_i – вантажообіг i -того дилерського підприємства;

X_i, Y_i – координати i -того дилерського підприємства;

n – кількість дилерських підприємств.

Точка території, яка забезпечує мінімум транспортної роботи під час постачання продукції на дилерські підприємства, в загальному випадку не співпадає з отриманим центром ваги, проте, як правило, знаходиться поблизу. Підбирають необхідне місце для складу шляхом наступного аналізу можливих місць розміщення в околицях отриманого центру ваги. При цьому необхідно оцінити транспортну досяжність місцевості, розмір і конфігурацію можливої ділянки, а також врахувати плани місцевих органів влади по відношенню до даної території.

Склади – це будинки, споруди, які призначені для приймання, розміщення і зберігання продукції. Для розміщення продукції (матеріальних ресурсів) важливо знати загальну площу складу F_3 , яка рівна

$$F_3 = f_k + f_n + f_c + f_d, \text{ м}^2$$

де f_k – корисна площа складу, яка зайнята безпосередньо для зберігання продукції;

f_n – площа, яка зайнята приймальними і відпускними ділянками;

f_c – службова площа, яка зайнята конторськими і іншими службовими приміщеннями;

f_d – допоміжна площа, яка зайнята проїздами і проходами.

Корисна площа складу f_k визначається двома способами: способом навантаження на 1 м.кв. площі підлоги і способом коефіцієнта заповнення об'єму.

Спосіб навантаження на 1 м.кв. площі полу f_k1 використовується коли відоме, для даного виду матеріалу, навантаження на 1 м.кв. площі

$$f_{k1} = \frac{Q_3}{\sigma}, \text{ м}^2$$

де Q_3 – величина встановленого запасу відповідної продукції на складі;
 σ – навантаження на 1 м.кв. площі підлоги.

Площа f_{k2} способом коефіцієнта заповнення об'єму розраховується за формулою

$$f_{k2} = f_0 \cdot n = l \cdot b \cdot n = f_0 \frac{Q_3}{V \cdot \gamma \cdot \beta}, \text{ м}^2$$

де f_0 – площа складського обладнання для зберігання (стелажі, комірки, штабеля та ін.), м.кв;

l – довжина обладнання для зберігання, м;

b – ширина обладнання для зберігання, м;

n – необхідна кількість складського обладнання;

V – геометричний об'єм відповідного обладнання, м.куб.;

γ – питома вага матеріалу або виробу, т/м.куб.;

β – коефіцієнт заповнення об'єму.

Підрахувавши в такий спосіб суму корисних площ f_{ki} для зберігання окремих видів або груп продукції отримаємо загальну корисну площу складу.

На складах з великим обсягом робіт приймальні і відпускні площадки влаштовуються окремо, а з малим обсягом робіт – разом.

Площа, яка зайнята приймальними або відпускними площадками f_n :

$$f_n = \frac{Q \cdot K_n \cdot T_n}{360 \cdot \sigma}, \text{ м}^2$$

де Q – річний обсяг постачання продукції, т;

K_n – коефіцієнт нерівномірності постачання продукції, $K_n = 1,2-1,5$;

T_n – кількість днів знаходження продукції на приймальній площадці, $T_n = 1-2$ дні.

Службова площа f_c , яка зайнята конторськими та іншими службовими приміщеннями визначається в залежності від кількості робітників. При штаті складу до трьох робітників площа контори приймається 5 м.кв на кожну людину; від 3 до 5 – 4 м.кв, при штаті більше 5 робітників – 3,25 м.кв.

Допоміжна площа f_d , яка зайнята проїздами і проходами визначається в залежності від габаритів продукції, яка зберігається, розмірів вантажообігу, підйомно-транспортних засобів. В абсолютних величинах ширина головних проїздів (проходів) приймається від 1,5 до 4,5 м. Ширина бічних проїздів (проходів) – від 0,7 до 1,5 м.

Використання площі складських приміщень характеризується коефіцієнтом α (чим більший коефіцієнт α , тим краще використовується склад):

$$\alpha = \frac{f_k}{F_z}.$$

Практичне завдання №2

2.1. Допустимий запас матеріалів 500 шт. і складає 10 т. При вкладанні у два рівні навантаження на підлогу складає 3 т/м.кв., в три рівні – 5 т/м.кв. Визначити корисну площу складу при вкладанні матеріалів в два рівні, в три рівні. Розрахувати загальну площу складу, якщо площі приймальних, службових і допоміжних площ складають 60 % від корисної площі.

2.2. Максимальна норма запасу для складу заготовок встановлена у розмірі 6000 шт. У комірці зберігання можна розмістити по 2 вироби. Стелаж площею $6 \times 0,5$ м.кв. має 40 комірок. Визначити корисну площу складу заготовок, а також всю площу складу, якщо відомо, що проходи та обслуговуючі приміщення складають половину складу.

2. Взаємодія з постачальником та контроль процесу постачання продукції

Вибір постачальника – одна з важливих завдань центру (підприємства). На вибір постачальника суттєво впливають результати роботи за вже заключними договорами, на основі яких здійснюється розрахунок рейтингу постачальника. Відповідно, система контролю за виконання договорів постачання дозволяє накопичувати інформацію, необхідну для такого розрахунку. Перед розрахунком рейтингу необхідно визначити, на основі яких критеріїв буде прийматися рішення про перспективність вибору постачальника. Як правило, в якості таких критеріїв використовується ціна, якість поставлених товарів і надійність постачання. Проте цей перелік може мати і більше критеріїв (в наведеному прикладі використовується 6 критеріїв).

Наступним кроком у виборі постачальника є їх оцінка за наміченими критеріями. При цьому, вага вибраного критерію у загальній їх сукупності визначається дослідним шляхом.

Приведемо приклад розрахунку рейтингу умовних постачальників (табл. 3.1). Припустимо, що протягом визначеного періоду дилерське підприємство отримало від трьох постачальників однакову продукцію. Прийнято рішення у майбутньому обмежуватися послугами одного постачальника. Якому з трьох необхідно віддати перевагу? Відповідь на це запитання можна отримати наступним чином.

Таблиця 3.1

Приклад розрахунку рейтингу постачальника

Критерій вибору постачальника	Вага критерію	Оцінка критерію за десятибальною шкалою			Добуток ваги критерію на оцінку		
		постачальник № 1	постачальник № 2	постачальник № 3	постачальник № 1	постачальник № 2	постачальник № 3
Надійність поставки	0,30	7	5	9	2,1	1,5	2,7
Ціна	0,25	6	2	3	1,5	0,5	0,75
Якість товару	0,15	8	6	8	1,2	0,9	1,2
Умови платежу	0,15	4	7	2	0,6	1,05	0,3
Можливість позапланових поставок	0,10	7	7	2	0,7	0,7	0,2
Фінансовий стан	0,05	4	3	7	0,2	0,15	0,35
СУМА	1,00	-	-	-	6,3	4,8	5,5

Спочатку необхідно оцінити кожного з постачальників за кожним з вибраних критеріїв, а потім помножити вагу критерію на оцінку. Вага критерію і оцінка в даному випадку визначається дослідним шляхом.

Рейтинг визначається сумуванням добутків ваги критерію на його оцінку для даного постачальника. Розраховуючи рейтинг різних постачальників і порівнюючи отримані результати, визначають найкращого постачальника. Розрахунок, приведений у табл. 3.1, показує, що таким партнером є постачальник № 1, і саме з ним необхідно продовжити термін дії договору.

В даному прикладі більш високий рейтинг постачальника № 1 свідчив про його вагомість у порівнянні з іншими. Проте, для розрахунку рейтингу може використовуватися інша система оцінок, за яким більш високий рейтинг свідчить про більший рівень негативних якостей постачальника. В такому випадку перевагу необхідно віддати постачальнику який має найменший рейтинг.

Система оцінки критеріїв в запропонованому нижче завданні і оснований на визначенні темпів росту негативних характеристик роботи постачальників.

Практичне завдання №3

Провести оцінку постачальників № 1 і № 2 за результатами роботи для прийняття рішення про продовження договірних зобов'язань.

Вказівки до виконання

Протягом перших двох місяців року дилерське підприємство отримало від постачальників № 1 і № 2 продукцію *A* і *B*.

Динаміка цін на аналогічну продукцію яка постачається, а також динаміка постачань продукції неналежної якості і динаміка порушень постачальниками встановлених термінів поставок приведені у табл. 3.2-3.4.

Для прийняття рішення щодо продовження договору з одним із постачальників необхідно розрахувати рейтинг кожного постачальника. Оцінку постачальників виконати за показниками: ціна, надійність і якість поставленої продукції. Прийняти до уваги, що продукція *A* і *B* не потребують безперебійного поповнення.

При розрахунку рейтингу постачальника прийняти наступну вагу показників:

- ціна 0,5;
- якість поставленої продукції 0,3;
- надійність поставки 0,2.

Таблиця 3.2

Динаміка цін на продукцію, яка постачається

Постачальник	Місяць	Запасні частини	Обсяг постачання, од./міс.	Ціна за одиницю, у.о.
№ 1	Січень	<i>A</i>	2000	100
	Січень	<i>B</i>	1000	50
№ 2	Січень	<i>A</i>	9000	90
	Січень	<i>B</i>	6000	40
№ 1	Лютий	<i>A</i>	1200	110
	Лютий	<i>B</i>	1200	60
№ 2	Лютий	<i>A</i>	7000	100
	Лютий	<i>B</i>	10 000	60

Таблиця 3.3

Динаміка постачань продукції неналежної якості

Постачальник	Місяць	Кількість продукції неналежної якості, яка постачається протягом місяця, одиниць
№ 1	Січень	75
№ 2	Січень	300
№ 1	Лютий	120
№ 2	Лютий	425

Таблиця 3.4

Динаміка порушень встановлених термінів постачань продукції

Постачальник № 1			Постачальник № 2		
місяць	кількість постачань	всього запізнень, днів	місяць	кількість постачань	всього запізнень, днів
Січень	8	28	Січень	10	45
Лютий	7	35	Лютий	12	36

1. Розрахунок середньозваженого темпу росту цін (показник ціни).

Для оцінки постачальника за першим критерієм (ціна) необхідно розрахувати середньозважений темп росту цін (\bar{T}_c) на поставлену продукцію:

$$\bar{T}_y = \sum_{i=1}^n T_{yi} \cdot di, \%$$

де T_{yi} – темп росту ціни на i -ту різновидність продукції, яка постачається на підприємство;

di – відсоток i -тої різновидності продукції в загальному обсязі постачань поточного періоду;

n – кількість різновидностей продукції, яка постачається.

Темп росту ціни на i -ту різновидність продукції, яка постачається на підприємство (T_{yi}) розраховується за формулою:

$$T_{yi} = \left(\frac{P_{i1}}{P_{i0}} \right) \cdot 100, \%$$

де P_{i1} – ціна i -тої різновидності продукції в поточному періоді;

P_{i0} – ціна i -тої різновидності продукції в попередньому періоді.

Частка i -тої різновидності продукції (di) в загальному обсязі постачань розраховується за формулою:

$$di = \left(\frac{Si}{\sum Si} \right),$$

де Si – сума, на яку поставлена продукції i -тої різновидності у поточному періоді, у.о.

Розрахунок середньозваженого темпу росту цін необхідно оформити у вигляді табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Розрахунок середньозваженого темпу росту цін

Постачальник	T_{yA}	T_{yB}	SA	SB	dA	dB	\bar{T}_y
№ 1							
№ 2							

2. Розрахунок темпу росту постачання продукції неналежної якості (показник якості).

Для оцінки постачальників за другим показником (якість продукції, яка постачається) розрахуємо темп росту постачання продукції

неналежної якості ($T_{н.я}$) за кожним постачальником:

$$T_{н.я} = \frac{d_{н.я1}}{d_{н.я0}} \cdot 100, \%$$

де $d_{н.я1}$, $d_{н.я0}$ – відповідно, відсоток продукції неналежної якості в загальному обсязі постачань поточного та попереднього періоду;

3. Розрахунок темпу росту середнього запізнення (показник надійності постачання, $T_{н.п}$).

Кількісною оцінкою надійності постачання є середній термін запізнення, тобто число днів запізнь, які припадають на одне постачання. Таким чином, темп росту середнього запізнення $T_{н.п}$ за кожним постачальником визначається за формулою:

$$T_{н.п} = \left(\frac{Z_{ср1}}{Z_{ср0}} \right) \cdot 100, \%$$

де $Z_{ср1}$ – середнє запізнення на одне постачання в поточному періоді, днів; $Z_{ср0}$ – середнє запізнення на одне постачання в попередньому періоді, днів.

4. Розрахунок рейтингу постачальників.

Для розрахунку рейтингу необхідно за кожним показником знайти добуток отриманого значення темпу росту на вагу. Підсумковий розрахунок рейтингу постачальника оформити у вигляді табл. 3.6 і зробити висновок.

Таблиця 3.6

Розрахунок рейтингу постачальників

Показник	Вага	Оцінка постачальника за даним показником		Добуток оцінки на вагу	
		№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Ціна					
Якість					
Надійність					
Рейтинг постачальника					

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо поповнення (оновлення) основних засобів для ефективного функціонування підприємства і наданні транспортних послуг.

Для опису й аналізу багатьох явищ і процесів у різних областях науки і техніки широко застосовується моделювання. При моделюванні основні властивості досліджуваних процесів і явищ представляють або у вигляді різних рівнянь або функцій (математичні моделі), або за допомогою алгоритмів і програм для ЕОМ.

Побудова імовірнісних моделей, що базуються на теорії імовірностей у її класичній формі, не завжди прийнятно, оскільки такі моделі описують незалежні явища в даний момент або період часу. Для опису процесів, як послідовності явищ у часі, досить ефективний апарат теорії випадкових (стохастичних) процесів. Моделі, за допомогою яких описуються й аналізуються явища реального світу в припущенні, що вони являють собою стохастичні процеси, називаються стохастичними моделями.

Серед великого класу задач, що успішно розв'язуються з використанням стохастичних моделей, які описуються випадковими процесами (стаціонарними, марковськими, напівмарковськими), особливий інтерес представляють задачі поповнення (оновлення) основних засобів.

Як правило, процес оновлення розглядається стосовно до деякого транспортного парку, що складається з однотипних автомобілів, з яких раніше або пізніше деяка кількість перестає діяти внаслідок стійкого дефекту, надмірно тривалого терміну служби, аварії, повного зносу і т.п. При цьому неважливо, яка саме автомобіль виявиться несправною; важливо те, скільки автомобілів буде потребувати технічного обслуговування або ремонту і скільки автомобілів протягом визначеного часу буде потрібно замінити новими. Такі середні дані можна одержати на основі спостережень за сукупністю однакових

автомобілів, а потім з деякою імовірністю визначити процес старіння і вибуття досліджуваних автомобілів.

В економічних розрахунках, зв'язаних з теорією оновлення, особливе значення має вибір найбільш підходящого моменту для списання автомобілів. Простоти автомобілів через часті ТО і Р зменшують виробничу потужність і збільшують експлуатаційні витрати, а передчасне списання пов'язане з витратами на придбання нового автомобіля.

Стохастичні моделі добре описують системи, що піддаються впливу поступового зносу і вибуття окремих одиниць (елементів) основних засобів з часом (збільшенням віку), який можна розглядати в дискретні моменти (місяць, квартал, рік). У більшості випадків імовірність перебування в кожній віковій групі залежить від віку (терміну служби) одиниці основних засобів. Процес описується системою імовірностей (для різного терміну роботи), що виражають перебування в групі «живучості». Якщо ці імовірності узгодити з визначеним вихідним числом одиниць деякої початкової сукупності (наприклад, групою із 100 автомобілів), то це число буде поступово зменшуватися, поки, не залишиться жодного автомобіля, придатного для експлуатації.

Щоб при поповненні новими одиницями сукупності вибуваючих основних засобів її розмір не змінювався, необхідно знати, як відбувається процес оновлення (відновлення). Якщо зношені в даному періоді основні засоби замінюють такою ж кількістю нових одиниць, то відновлення є простим; якщо ж у кожному наступному періоді в сукупність вводиться більше нових основних засобів, чим було вилучено, то варто говорити про розширене відновлення.

Для моделей відновлення з дискретним часом приймається, що одиниці основних засобів які вийшли з ладу, замінюються наприкінці деякого періоду (дня, тижня, місяця), а оновлення здійснюється з перервами, у дискретні проміжки часу.

Розглянемо найбільш просту модель відновлення, що задовольняє наступним вимогам:

- відновлення здійснюється завжди наприкінці однакових часових інтервалів (наприклад, кварталу, року) навіть у випадках знищення або ушкодження автомобіля (одиниці основних засобів);

- спочатку сукупність складається лише з нових одиниць, а оновлення здійснюється заміною основних засобів, що вийшли з ладу,

новими, причому одна одиниця, яка вибула замінюється однією новою, тобто відбувається просте оновлення;

- не враховується вплив морального зносу й амортизації, а різні передчасні ушкодження одиниці основних засобів (наприклад, у результаті аварії) не вивчаються в явному вигляді, оскільки вони нерегулярні;

- оновлення одиниць визначається імовірностями їх вибуття наприкінці k -го періоду, що менше T – максимального терміну служби. Отже, характеристики основних засобів вимірюються імовірностями a_k ($k = 1, 2, \dots, T$) того, що нова одиниця списана після k періодів експлуатації;

- досліджувані основні засоби однорідні (як вихідна сукупність, так і ті, що вводяться замість вибулих).

Щоб виразити приведені умови за допомогою математичних залежностей, використовуємо наступні символи:

n – періоди часу, $n = 1, 2, \dots$;

T – максимальна тривалість терміну служби основних засобів;

a_k – імовірність повного зносу одиниці основних засобів через k періодів, з моменту її введення в експлуатацію;

r_k – імовірність того, що нова одиниця основних засобів прослужить більше, ніж k інтервалів з моменту введення її в дію;

u_0 – кількість нових основних засобів у початковий момент дослідження;

u_n – очікувана середня кількість основних засобів, яку варто ввести в сукупність на початку n -го періоду для заміни тих, що списуються в кінці $(n - 1)$ -го періоду;

v – середній (або очікуваний) термін служби одиниці досліджуваного виду основних засобів:

$$v = \sum_{k=1}^T k \cdot a_k \quad (6.1)$$

де k – періоди служби досліджуваного виду основних засобів, $k = 1, 2, \dots, T$.

Слід зазначити, що $\sum_{k=1}^T a_k = 1$. Ця рівність означає, що кожна з досліджуваних одиниць основних засобів повинна бути списана через 1, 2, ..., T періодів.

Імовірність того, що нова одиниця основних засобів прослужить не менше k періодів, тобто вибуде через $k+1$, або $k+2$, ..., або T періодів:

$$r_k = a_{k+1} + a_{k+2} + \dots + a_T = \sum_{i=k+1}^T a_i, \quad (6.2)$$

де $k = 1, 2, \dots, T-1$.

Очевидно,

$$\begin{aligned} r_0 &= a_1 + a_2 + \dots + a_T = 1; \\ r_1 &= a_2 + a_3 + \dots + a_T = 1 - a_1; \\ r_2 &= a_3 + a_4 + \dots + a_T = r_1 - a_2; \\ &\dots\dots\dots \\ r_{T-2} &= a_{T-1} + a_T; \\ r_{T-1} &= a_T, \end{aligned} \quad (6.3)$$

звідки

$$a_k = r_{k-1} - r_k \quad (6.4)$$

для $k = 1, 2, \dots, T-1$.

В часткових випадках

$$a_1 = r_0 - r_1;$$

$$a_2 = r_1 - r_2; \text{ і т.д.}$$

Після підстановки $a_k = r_{k-1} - r_k$ в $v = \sum_{k=1}^T k \cdot a_k$, одержимо:

$$v = r_0 + r_1 + r_2 + \dots + r_{T-1}. \quad (6.5)$$

Процес оновлення відбувається наступним чином.

Нехай на початку процесу в системі функціонує u_0 одиниць. На початку n -го періоду замість одиниць основних засобів, що вибули

наприкінці $(n - 1)$ -го періоду, вводиться u_n нових одиниць (кількість оновлень). В результаті вивчення системи визначені імовірності вибуття фізичних предметів одного виду, тобто відомі імовірності a_k – вибуття одиниць наприкінці k -го періоду в результаті відмови між k і $(k + 1)$ -м періодами.

Для послідовності періодів $1, 2, \dots, n, \dots, T - 1$ кількість вибуттів одиниць u_n складає:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= a_1 u_0; \\
 u_2 &= a_1 u_1 + a_2 u_0; \\
 u_3 &= a_1 u_2 + a_2 u_1 + a_3 u_0; \\
 &\dots\dots\dots \\
 u_n &= a_1 u_{n-1} + a_2 u_{n-2} + \dots + a_T u_{n-T}, \quad n \geq T; \\
 &\dots\dots\dots \\
 u_{T-1} &= a_1 u_{T-2} + a_2 u_{T-3} + \dots + a_{T-1} u_0,
 \end{aligned}
 \tag{6.6}$$

тобто на початку процесу система складалася з u_0 нових одиниць.

Наприкінці 1-го періоду із системи вибуло $u_1 = a_1 u_0$ одиниць, що відмовили після закінчення одного періоду з імовірністю a_1 . Наприкінці 2-го періоду вибули одиниці основних засобів, що відмовили після одного періоду експлуатації u_1 нових одиниць (наприкінці 1-го періоду оновлено u_1 одиниць з імовірністю a_1), плюс $a_2 u_0$ одиниць, що відмовили після двох періодів експлуатації вихідних u_0 одиниць. Отже, після другого періоду загальний очікуваний обсяг оновлення складе $a_2 u_0 + a_1 u_1$.

Аналогічно, наприкінці 3-го періоду загальна кількість одиниць, що відмовили, дорівнює сумі одиниць, що відмовили за два попередні періоди експлуатації ($a_1 u_2$) і за один попередній період ($a_2 u_1$), тобто $a_1 u_2 + a_2 u_1$, плюс кількість одиниць, що відмовили за три періоди $a_3 u_0$. Отже,

$$u_3 = a_1 u_2 + a_2 u_1 + a_3 u_0$$

Аналогічно виконуються розрахунки для 4, 5, і наступних періодів.

Остаточо, рівняння простого відновлення має вигляд

$$u_n = \sum_{i=1}^T a_i u_{n-i}, \quad (6.7)$$

де a_i – імовірність оновлення на початку $(i + 1)$ -го періоду, або ж імовірність вибуття наприкінці i -го періоду;

u_n – середнє число одиниць, відновлених у n -му періоді часу;

i – кількість періодів, $i = 1, 2, \dots, T$; $n = 1, 2, \dots, i$, причому $n \leq i$.

Поряд з кількістю нових одиниць, доцільно знати і вікову структуру оновлення сукупності (табл. 6.1). До кінця першого періоду існують лише основні засоби в кількості u_0 ; до кінця другого існують нові і залишок від вихідних, кількість яких

$$u_0 - u_1 = u_0 \left(1 - \frac{u_1}{u_0} \right) = u_0 (1 - a_1) = u_0 r_1,$$

де $r_1 = 1 - a_1$ - імовірність протилежної події, тобто оновлення після закінчення одного періоду.

В третій період ми переходимо з u_2 новими одиницями, $u_1 r_1$ одиницями другого та $u_0 r_2$ третього періодів.

Для випадку рівноваги можна показати, що якщо існує $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n$, тоді

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = \frac{u_0}{v}, \quad (6.8)$$

тобто кількість оновлень при стабілізації системи дорівнює кількості первісних одиниць u_0 , розділеному на середню тривалість їхньої експлуатації v .

Таблиця 6.1

Типова таблиця вікової структури оновлення сукупності

Вік	Період часу				
	0	1	2	3	...
0	u_0	u_1	u_2	u_3	...
1	-	$u_0 r_1$	$u_1 r_1$	$u_2 r_1$	...
2	-	-	$u_0 r_2$	$u_1 r_2$	...
Всього	u_0	u_0	u_0	u_0	...

Методичні рекомендації до моделювання процесу простого оновлення парку автомобілів

Розглянемо модель простого оновлення, що дозволяє розрахувати очікувану (імовірну) кількість оновлень (поповнень), що необхідні в кожен період, якщо відомі властивості досліджуваних основних засобів.

Якщо в початковий момент всі основні засоби в кількості u_0 були новими, то варто очікувати, що після першого періоду буде потрібно списати $u_1 = a_1 u_0$ одиниць, оскільки a_1 визначає імовірність вибуття нової одиниці основних засобів після закінчення одного періоду.

Очевидно, після двох періодів для подальшого використання будуть непридатні $a_2 u_0$ одиниць сукупності (a_2 – імовірність вибуття після закінчення двох періодів), а також частина основних засобів, введених після першого періоду (u_1) з врахуванням імовірності їхнього вибуття a_1 тобто $a_1 u_1$. Отже, після другого періоду загальний очікуваний обсяг оновлень u_2 складе $a_2 u_0 + a_1 u_1$. Діючи послідовно, одержимо формули (6.9).

Для $n \geq T$

$$u_n = a_1 u_{n-1} + a_2 u_{n-2} + \dots + a_T u_{n-T} \quad (6.9)$$

У початковий момент всі основні засоби нові. У наступні періоди новими є тільки ті одиниці, що знову вводяться в сукупність, а інші знаходяться у віці від 1 до T . Очевидно, після першого періоду

кількість нових одиниць складає $u_1 = a_1 u_0$, а інші основні засоби в кількості $u_0 - a_1 u_0 = u_0(1 - a_1) = u_0 r_1$ мають вік, рівний одному періоду. Після другого періоду нових основних засобів буде u_2 , у віці 1 – відповідно $u_1 r_1$ (оскільки в попередньому періоді у віці 0 їх було u_1), а у віці 2 їх буде, імовірно, $u_0 r_2$. Аналогічний розрахунок виконується для наступних періодів і за його результатами складається таблиця (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Очікувана чисельність основних засобів для сукупності, що складається в початковий період тільки з нових одиниць

Вік	Період часу									
	0	1	2	3	...	$T-1$	T	...	$n-1$	n
0	u_0	u_1	u_2	u_3	...	u_{T-1}	u_T	...	u_{n-1}	u_n
1	-	$u_0 r_1$	$u_1 r_1$	$u_2 r_1$	...	$u_{T-2} r_1$	$u_{T-1} r_1$	...	$u_{n-2} r_1$	$u_{n-1} r_1$
2	-	-	$u_1 r_2$	$u_1 r_2$	...	$u_{T-3} r_2$	$u_{T-2} r_2$	...	$u_{n-3} r_2$	$u_{n-2} r_2$
...
$T-1$	-	-	-	-	...	$u_0 r_{T-1}$	$u_1 r_{T-1}$	...	$u_{n-T} r_{T-1}$	$u_{n-T+1} r_{T-1}$
Σ	u_0	u_0	u_0	u_0	...	u_0	u_0	...	u_0	u_0

Заповнювати таблицю найкраще по лініях, паралельних до головної діагоналі, оскільки в цьому випадку можна простежити в часі зміни обсягу основних засобів, наприклад

$$u_1, u_1 r_1, u_1 r_2, \dots; u_2, u_2 r_1, u_2 r_2, \dots$$

Неважко помітити, що сума по стовпцях таблиці дає постійний обсяг одиниць основних засобів u_0 у досліджуваній сукупності, що відповідає простому оновленню.

Модель простого оновлення, представлена в табл. 2, характеризує систему, для якої в початковий момент всі основні засоби є новими, і може застосовуватися для дослідження, тільки починаючи з вихідного моменту роботи. Розглянемо тепер модель, що дозволяє почати аналіз у довільний період часу за умови, що відомо вікову структуру сукупності в початковий момент.

При побудові відповідної таблиці (табл. 6.3) спочатку записується перший стовпець ($v_0, v_1, v_2, \dots, v_{T-1}$), а потім діагональ квадрата зі стороною $0 \dots T-1$. Якщо в початковий момент було v_0 основних засобів, то в момент 1 їх буде $v_0 r_1$ (де r_1 – імовірність того, що нові основні засоби прослужать не менше одного періоду часу); у момент 2 – відповідно $v_0 r_2$ і т.д. Далі заповнюються клітки під головною діагоналлю по лінії, паралельній до неї. Оскільки в момент 0 було v_1 основних засобів, що вже прослужили один період, то імовірність того, що вони прослужать наступний період, дорівнює $\frac{r_2}{r_1}$ (а не r_2), тобто це є умовна імовірність того, що ці основні засоби прослужать щонайменше два періоди. Отже, чисельність основних засобів у момент 1 складає $v_1 \frac{r_2}{r_1}$, у момент 2 вона буде $v_1 \frac{r_3}{r_1}$ і т.д.

Таблиця 6.3

Очікувана чисельність основних засобів для сукупності, що складається в початковий період з вікових груп

Вік	Період часу								
	0	1	2	3	...	$T-1$	T	...	n
0	v_0	u_1	u_2	u_3	...	u_{T-1}	u_T	...	u_n
1	v_1	$v_0 r_1$	$u_1 r_1$	$u_2 r_1$	...	$u_{T-2} r_1$	$u_{T-1} r_1$	...	$u_{n-1} r_1$
2	v_2	$v_1 \frac{r_2}{r_1}$	$v_1 r_2$	$u_1 r_2$	...	$u_{T-3} r_2$	$u_{T-2} r_2$	...	$u_{n-2} r_2$
3	v_3	$v_2 \frac{r_3}{r_2}$	$v_1 \frac{r_3}{r_1}$	$v_0 r_3$	...	$u_{T-4} r_3$	$u_{T-3} r_3$	...	$u_{n-3} r_3$
...
$T-1$	v_{T-1}	$v_{T-2} \frac{r_T}{r_{T-3}}$	$v_{T-3} \frac{r_T}{r_{T-3}}$	$v_{T-4} \frac{r_{T-1}}{r_{T-4}}$	...	$v_0 r_{T-1}$	$u_1 r_{T-1}$	...	$u_{n-T+1} r_{T-1}$
Σ	N	N	N	N	...	N	N	...	N

Кількості основних засобів, що вводяться в дію в моменти 1, 2, 3, ... , записуються над головною діагоналлю уздовж прямих, паралельних до її. Так, якщо в момент 1 було u_1 нових основних засобів, то в моменти 2, 3, ... їх, очевидно, буде $u_1 r_1, u_2 r_2 \dots$.

Щоб визначити вибуття основних засобів по окремих періодах, варто віднімати елементи двох послідовно розташованих стовпців уздовж прямої, паралельної до головної діагоналі. Запишемо ці різниці для послідовності елементів двох стовпців з періодами часу 0; 1 і зробимо перетворення з урахуванням залежностей (3), (4).

Для першого елемента

$$v_0 - v_0 r_1 = v_0(1 - r_1) = v_0 a_1.$$

Для другого

$$v_1 - v_1 \frac{r_2}{r_1} = v_1 \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) = v_2 \left(\frac{r_1 - r_2}{r_1}\right) = v_1 \frac{a_2}{r_1}.$$

Аналогічно

$$v_{T-2} - v_{T-2} \frac{r_{T-1}}{r_{T-2}} = v_{T-2} \left(1 - \frac{r_{T-1}}{r_{T-2}}\right) = v_{T-2} \left(\frac{r_{T-2} - r_{T-1}}{r_{T-2}}\right) = v_{T-2} \frac{a_{T-1}}{r_{T-2}}.$$

Обчислені значення являють собою очікуване число одиниць основних засобів, що вибули після першого періоду. Справді, якщо в початковий момент кількість основних засобів складало v_0 одиниць, а після першого періоду, як варто очікувати, з цієї кількості залишиться $v_0 r_1$ одиниць (вже у віці 1), то відповідно до визначення r_1 у першому періоді їхнє вибуття складе $v_0 - v_0 r_1 = a_1 v_0$. Аналогічно після двох періодів $v_1 \frac{a_2}{r_1}$ і т. д.

Додавши обсяги всіх очікуваних вибуттів після першого періоду, одержимо:

$$u_1 = v_0 a_1 + v_1 \frac{a_2}{r_1} + v_2 \frac{a_3}{r_2} + \dots + v_{T-2} \frac{a_{T-1}}{r_{T-2}} + v_{T-1}.$$

Виконавши аналогічні розрахунки для послідовних елементів двох стовпців з періодами часу 1 і 2, 2 і 3 і т. д., а потім додавши обсяги очікуваних вибуттів після 2, 3, ... періодів, одержимо очікувані

чисельності основних засобів, які варто ввести в сукупність після 2, 3 періодів, тобто u_2, u_3, \dots, u_{T-1} .

Остаточні залежності для моделі простого відновлення основних засобів мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= a_1 v_0 + v_1 \frac{a_2}{r_1} + v_2 \frac{a_3}{r_2} + \dots + v_{T-2} \frac{a_{T-1}}{r_{T-2}} + v_{T-1}; \\
 u_2 &= a_1 u_1 + a_2 u_0 + v_1 \frac{a_2}{r_1} + \dots + v_{T-3} \frac{a_{T-1}}{r_{T-2}} + v_{T-2} \frac{a_T}{r_{T-2}}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 u_{T-1} &= a_1 u_{T-2} + a_2 u_{T-3} + \dots + a_{T-1} u_0 + v_1 \frac{a_T}{r_1}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 u_n &= a_1 u_{n-1} + a_2 u_{n-2} + \dots + a_T u_{n-T}, \quad n \geq T
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

де u_1, u_2, u_3, \dots – очікувана кількість одиниць основних засобів, яку варто ввести в сукупність після 1, 2, 3, ... періодів, щоб загальна їхня чисельність була постійною (дотримувалося просте оновлення);

$v_0, v_1, v_2, v_3, \dots$ – чисельності нових основних засобів досліджуваної сукупності, що прослужили 0, 1, 2, 3, ... періодів: $\sum_{k=0}^{T-1} v_k = N$, де N – чисельність сукупності в початковий момент;

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ – імовірність повного зносу одиниці основних засобів через 1, 2, 3, ..., k періодів, від моменту вводу її в експлуатацію,

$$\sum_{k=1}^T a_k = 1;$$

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_k$ – імовірність того, що нова одиниця основних засобів прослужить більше, ніж k періодів з моменту введення в експлуатацію;

T – максимальна тривалість служби основних засобів.

Відзначимо, що модель простого відновлення основних засобів (6.10) для випадку $v_0 = u_0; v_1 = v_2 = \dots = 0$ перетворюється в модель,

що описується залежностями (6.9), для якої характерно, що в початковий момент всі основні засоби в кількості u_0 є новими (тобто відсутня вікова структура).

Модель (6.10) можна представити в більш компактному вигляді, використовуючи математичний апарат теорії марковських ланцюгів. Позначимо вихідний розподіл досліджуваної сукупності одиниць по віковій структурі через вектор D_0 з компонентами v_0, v_1, \dots, v_{T-1} :

$$D_0 = |v_0, v_1, v_2, \dots, v_{T-2}, v_{T-1}|. \quad (6.11)$$

Нехай матриця перехідних імовірностей з T рядками і T стовпцями, що описує процес оновлення, має вигляд:

$$P = \begin{pmatrix} a_2 & r_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{a_2}{r_1} & 0 & \frac{r_2}{r_1} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{a_3}{r_2} & 0 & 0 & \frac{r_3}{r_2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{a_{T-1}}{r_{T-2}} & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{r_{T-1}}{r_{T-2}} \\ \frac{r_{T-2}}{1} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (6.12)$$

Тоді розподіл чисельності основних засобів по вікових групах для простого оновлення в моменти часу 1, 2, ... можна записати як

$$\begin{aligned} D_1 &= D_0 P; \\ D_2 &= D_1 P; \\ &\dots \\ D_n &= D_{n-1} P. \end{aligned} \quad (6.13)$$

У загальному вигляді модель оновлення може бути представлена, як:

$$D_n = D_0 P^n \quad (6.14)$$

де D_n – розподіл чисельності основних засобів по вікових групах у n -й період часу;

P – матриця перехідних імовірностей.

Початковий розподіл сукупності, виражений чисельністю одиниць основних засобів за віковими групами, $D_0 = |v_0, v_1, v_2, \dots, v_{T-2}, v_{T-1}|$, можна представити у вигляді

$$\frac{D_0}{N} = \left| \frac{v_0}{N}, \frac{v_1}{N}, \dots, \frac{v_{T-1}}{N} \right| \quad (6.15)$$

і прийняти його як розподіл імовірностей, оскільки $\sum_{k=0}^{T-1} v_k = N$, де N – загальна чисельність початкової сукупності.

Таким чином, за допомогою вихідного розподілу $\frac{D_0}{N}$ і матриці імовірностей переходу P визначається однорідний марковський ланцюг, що описує модель простого оновлення основних засобів.

Очікуване число оновлень протягом одного періоду часу після досить тривалого терміну

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = \frac{N}{v}, \quad (6.16)$$

де v - середній термін служби основних засобів, $v = \sum_{k=1}^T k \cdot a_k$.

Приклад моделі простого оновлення парку автомобілів

Нехай підприємство представлене парком автомобілів, яке складається з 121 однотипних одиниць, які мають наступний розподіл термінів служби (вікові групи): $v_0 = 15$; $v_1 = 18$; $v_2 = 20$; $v_3 = 22$; $v_4 = 17$; $v_5 = 29$ (тобто, 15 автомобілів експлуатуються до одного року, 18 – від 1 року до 2 років і т. д.).

Необхідно побудувати просту модель оновлення: визначити очікувану кількість поповнень автомобілів на кожен рік протягом п'яти років, для того щоб їх кількість, які працюють у парку, було незмінним (складало 121 одиницю).

Для побудови моделі потрібно знати імовірності вибуття основних засобів a_k , тобто необхідно визначити імовірність списання автомобілів по терміну служби. З цією метою взята вибірка в кількості $n = 67$ одиниць, що були списані раніше, після того як відпрацювали

різну кількість років. Дані, згруповані за віком, представлені в табл. 6.4 (графи 2, 3).

Таблиця 6.4

Статистичні дані про списання однотипних автомобілів на підприємстві

№ п/п	Термін служби автомобілів, років	Частота	Частість
1	2	3	4
1	4	2	0,03
2	5	3	0,04
3	6	20	0,30
4	7	15	0,23
5	8	14	0,21
6	9	13	0,19

Визначимо частість як частку від розподілу частоти (кількість автомобілів, що попадають в обрані інтервали) на загальну їх кількість, рівну 67, і занесемо в графу 4 табл. 6.4. Отримані значення частостей приймемо як емпіричні імовірності вибуття автомобілів.

Відмітимо, щоб обчислити теоретичні значення імовірності вибуття можна визначивши закон розподілу вікового терміну служби автомобілів. Для цього потрібно визначити параметри, наприклад, нормального закону – математичне очікування m і середнє квадратичне відхилення σ :

$$m = 0,03 \cdot 4 + 0,04 \cdot 5 + 0,3 \cdot 6 + \dots + 0,19 \cdot 9 = 7 ;$$

$$\sigma = \sqrt{(7-4)^2 \cdot 0,03 + \dots + (7-9)^2 \cdot 0,19} = 1$$

Імовірності вибуття в цьому випадку визначаються з нормального розподілу:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-7)^2}{2}}$$

$$\text{як } a_1 = \int_4^5 f(t)dt ; a_2 = \int_5^6 f(t)dt \text{ і т. д.}$$

Використані в якості вихідних даних для подальших розрахунків емпіричні значення частотей складають: $a_1 = 0,03$; $a_2 = 0,045$; $a_3 = 0,30$; $a_4 = 0,23$; $a_5 = 0,21$; $a_6 = 0,12$. Тому $T = 6$.

Використовуючи формулу (6.3), визначимо імовірності того, що нова одиниця прослужить більше, ніж k періодів часу, починаючи з моменту введення в експлуатацію, тобто 1; 2; 3; 4; 5; 6 періодів:

$$\begin{aligned} r_1 &= 1 - a_1 = 1 - 0,03 = 0,97; \\ r_2 &= r_1 - a_2 = 0,97 - 0,04 = 0,93; \\ r_3 &= r_2 - a_3 = 0,93 - 0,30 = 0,63; \\ r_4 &= 0,63 - 0,23 = 0,40; \\ r_5 &= 0,40 - 0,21 = 0,19; \\ r_6 &= 0,19 - 0,19 = 0. \end{aligned}$$

Відповідно до (6.10) обчислимо u_1 – очікуване число автомобілів, якими варто поповнити підприємство після першого періоду (після 1 року експлуатації):

$$\begin{aligned} u_1 &= v_0 a_1 + v_1 \frac{a_2}{r_1} + v_2 \frac{a_3}{r_2} + v_3 \frac{a_4}{r_3} + v_4 \frac{a_5}{r_4} + v_5 \frac{a_6}{r_5}; \\ u_1 &= 15 \cdot 0,03 + 18 \frac{0,04}{0,97} + 20 \frac{0,30}{0,93} + 22 \frac{0,23}{0,63} + 17 \frac{0,21}{0,40} + 29 \frac{0,19}{0,19} = \\ &= 0,45 + 0,74 + 6,45 + 8,03 + 8,92 + 29 = 54. \end{aligned}$$

Аналогічно розраховується чисельність u_2, u_3, \dots :

$$\begin{aligned} u_2 &= u_1 a_1 + v_0 a_2 + v_1 \frac{a_3}{r_1} + v_2 \frac{a_4}{r_2} + v_3 \frac{a_5}{r_3} + v_4 \frac{a_6}{r_4}; \\ u_3 &= u_2 a_1 + u_1 a_2 + v_0 a_3 + v_1 \frac{a_4}{r_1} + v_2 \frac{a_5}{r_2} + v_3 \frac{a_6}{r_3}, \text{ і т. д.} \end{aligned}$$

В числовому вигляді:

$$u_2 = 54 \cdot 0,03 + 15 \cdot 0,04 + 18 \frac{0,3}{0,97} + 20 \frac{0,23}{0,93} + 22 \frac{0,21}{0,63} + 17 \frac{0,19}{0,40} = 28;$$

$$u_3 = 28 \cdot 0,03 + 54 \cdot 0,04 + 15 \cdot 0,30 + 18 \frac{0,23}{0,97} + 20 \frac{0,21}{0,93} + 22 \frac{0,19}{0,63} = 23;$$

$$u_4 = 23 \cdot 0,03 + 28 \cdot 0,04 + 54 \cdot 0,30 + 15 \cdot 0,23 + 18 \frac{0,21}{0,97} + 20 \frac{0,19}{0,93} = 29;$$

$$u_5 = 29 \cdot 0,03 + 29 \cdot 0,04 + 28 \cdot 0,30 + 54 \cdot 0,23 + 15 \cdot 0,21 + 18 \frac{0,19}{0,97} = 29.$$

Отримані значення u_n для моделі простого відновлення представлені в першому рядку табл. 6.5.

Обчислимо v за формулою (1):

$$v = 1 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,04 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,23 + 5 \cdot 0,21 + 6 \cdot 0,19 = 4,12.$$

$$\text{Визначимо } \lim_{n \rightarrow \infty} u_n = \frac{N}{v} = \frac{121}{4,12} = 29.$$

Таким чином, після досить тривалого терміну очікуване число поповнень протягом одного періоду буде коливатися близько 29 одиниць автомобілів.

Граничний розподіл D_0 складе:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} D_n = \left| \frac{N}{v}, \frac{Nr_1}{v}, \frac{Nr_2}{v}, \frac{Nr_3}{v}, \frac{Nr_4}{v}, \frac{Nr_5}{v} \right| = 29; 28; 27; 18; 12; 6.$$

Таблиця 6.5

Результати розрахунку очікуваної чисельності автобусів на перспективу

№ з/п	Вік	Імовірності		Період часу					
		a_k	r_k	0	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0,03	0,97	15 v_0	54 u_1	28 u_2	23 u_3	29 u_4	29 u_5
2	1	0,04	0,93	18 v_1	14,6 $v_0 r_1$	52,4 $u_1 r_1$	27,4 $u_2 r_1$	22,5 $u_3 r_1$	29 $u_4 r_1$
3	2	0,3	0,63	20 v_2	17,1 $v_1 \frac{r_2}{r_1}$	13,9 $v_0 r_2$	49,8 $u_1 r_2$	26 $u_2 r_2$	21,4 $u_3 r_2$

4	3	0,23	0,40	22 v_3	13,4 $v_2 \frac{r_3}{r_2}$	11,4 $v_1 \frac{r_3}{r_1}$	9,3 $v_0 r_3$	33,4 $u_1 r_3$	17,4 $u_2 r_3$
5	4	0,21	0,19	17 v_4	13,9 $v_3 \frac{r_4}{r_3}$	8,4 $v_2 \frac{r_4}{r_2}$	7,2 $v_1 \frac{r_4}{r_1}$	5,9 $v_0 r_4$	21 $u_1 r_4$
6	5	0,19	0	29 v_5	8 $v_4 \frac{r_5}{r_4}$	6,5 $v_3 \frac{r_5}{r_3}$	4 $v_2 \frac{r_5}{r_2}$	3,4 $v_1 \frac{r_5}{r_1}$	12,8 $v_0 r_5$
Всього		1	-	121	121	121	121	121	121

Визначимо очікувані кількості поповнення парку автомобілів для моделі простого оновлення з використанням математичного апарату теорії ланцюгів Маркова. Позначимо через D_0 вектор, який характеризує вікову структуру автомобілів у початковий період: $D_0 = [15; 18; 20; 22; 17; 29]$.

Використовуючи основну формулу (6.12), побудуємо матрицю перехідних імовірностей:

$$P = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccccc} 0,03 & 0,97 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,04 & 0 & 0,93 & 0 & 0 & 0 \\ 0,97 & 0 & 0,97 & & & \\ 0,30 & 0 & 0 & 0,63 & 0 & 0 \\ 0,93 & & & 0,93 & & \\ 0,23 & 0 & 0 & 0 & 0,40 & 0 \\ 0,63 & & & & 0,63 & \\ 0,21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,19 \\ 0,40 & & & & & 0,40 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \end{array}$$

Розрахуємо $D_1 = D_0 P$:

$$D_1 = \begin{array}{c|cccccc|} 15 & 0,03 & 0,97 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 18 & 0,05 & 0 & 0,95 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0,33 & 0 & 0 & 0,67 & 0 & 0 \\ 22 & 0,37 & 0 & 0 & 0 & 0,63 & 0 \\ 17 & 0,53 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,47 \\ 29 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline & 0,45 + 0,9 & + 6,6 & + 8,14 & + 9,01 & + 29 & \\ \hline & & & 14,6 & & & 54 \\ & & & 17,2 & & & 14,6 \\ & & & 13,4 & & & 17,1 \\ & & & 13,86 & & & 13,4 \\ & & & 7,99 & & & 13,9 \\ & & & & & & 8,0 \end{array} =$$

Розраховані значення вектора D_1 заносимо в графу 6 табл. 6.5. Очевидно, компоненти вектора D_1 характеризують розподіл чисельності автомобілів за віковими групами в період часу рівний 1, тобто на наступний рік від початку відліку.

Очікувані чисельності для другого періоду:

$$D_2 = D_1 P = \begin{array}{c|cccccc|} 54 & 0,03 & 0,97 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 14,6 & 0,05 & 0 & 0,95 & 0 & 0 & 0 \\ 17,1 & 0,33 & 0 & 0 & 0,67 & 0 & 0 \\ 13,4 & 0,37 & 0 & 0 & 0 & 0,63 & 0 \\ 13,9 & 0,53 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,47 \\ 8,0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline & & & & & & 28,3 \\ & & & & & & 52,4 \\ & & & & & & 13,9 \\ & & & & & & 11,4 \\ & & & & & & 8,4 \\ & & & & & & 6,5 \end{array} .$$

Аналогічним чином проводимо розрахунки для наступних періодів, в результаті чого одержуємо:

$$D_3 = D_2 P = \begin{vmatrix} 23 \\ 27,4 \\ 49,8 \\ 9,3 \\ 7,2 \\ 4 \end{vmatrix}; \quad D_4 = D_3 P = \begin{vmatrix} 29,5 \\ 22,5 \\ 26,0 \\ 33,4 \\ 5,9 \\ 3,4 \end{vmatrix}; \quad D_5 = D_4 P = \begin{vmatrix} 29 \\ 29 \\ 21,4 \\ 17,4 \\ 21,0 \\ 12,8 \end{vmatrix}$$

Отримані очікувані кількості зведені в табл. 6.5.

Слід зазначити, що результати, одержані при розрахунку очікуваних кількості і проміжних значень за двома різними методами, можуть мати незначні розбіжності, що пов'язано з точністю розрахунку й округлення. Крім того, обчислені значення u_n , а також доданки формул (10), (13) не завжди є цілочисельними, тому їх варто округляти, оскільки кількість автобусів не може бути дробовим числом.

Практичне завдання

Нехай транспортний комплекс (підприємство) представлений парком автомобілів, який складається з однотипних одиниць, які мають наступний розподіл за віковими групами: $v_0 = 15 + 2n$; $v_1 = 18 + 4m$; $v_2 = 20 + 2m$; $v_3 = 22 + n$; $v_4 = 17 + 6m$; $v_5 = 29 + 4n$ (тобто, $15 + 2n$ автомобілів експлуатуються до одного року, $18 + 4m$ – від 1 року до 2 років і т. д.).

Побудувати просту модель оновлення парку автомобілів: визначити очікувану кількість поповнень автомобілів на кожен рік протягом п'яти років, для того щоб їх кількість, яка працює у парку, була незмінною.

Імовірності вибуття автомобілів a_k , тобто імовірність списання автомобілів по терміну служби, визначити з умови, що на основі статистичних даних сформована вибірка з $N = 67 + 5m$ автомобілів, які були списані раніше, після того як відпрацювали різну кількість років. Дані, згруповані за віком, представлені в табл. 6.6 (графи 2, 3).

Таблиця 6.6

Статистичні дані про списання однотипних автомобілів транспортного комплексу

№ п/п	Термін служби автомобілів, років	Кількість списаних автомобілів, (% від обсягу вибірки N)
1	2	3
1	4	5
2	5	7
3	6	18
4	7	22
5	8	28
6	9	20

Визначити очікувані кількості поповнення парку автомобілів для моделі простого оновлення з використанням математичного апарату теорії ланцюгів Маркова.

**Вихідні дані для розрахунку за варіантом приймати: n – передостання та m – остання цифра залікової книжки.*

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

ОЦІНКА ЗБИТКІВ АБО УПУЩЕНОЇ ВИГОДИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТІВ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо прийняття рішень на підставі прогнозування поведінки транспортно-виробничої системи під впливом на неї чинників, механізм впливу яких невідомий.

Мета управлінських рішень – змінити роботу системи в майбутньому (тобто завтра, через місяць, рік, кілька років) на підставі прогнозування поведінки цієї системи під впливом на неї чинників, механізм впливу яких невідомий. Інакше кажучи, рішення ухвалюється в умовах дефіциту інформації та невизначеності. Якщо система погоджується з цим рішенням, то вона ризикує.

Таким чином, ризик – це ймовірність нездійснення очікуваної (планованої) події або стану в заданий час і з необхідними цільовими нормативами.

Невизначеність – це неповнота або неточність інформації про умови реалізації проекту, зокрема й пов'язані з оцінкою витрат і результатів реалізації. Невизначеність, пов'язана з можливістю виникнення несприятливих ситуацій під час реалізації проекту, характеризується поняттям ризику.

Різниця між ризиком і невизначеністю полягає в тому, що насамперед керівник, який приймає рішення, знає про ймовірність настання певних подій.

Ризик присутній тоді, коли ймовірності, пов'язані з різними наслідками, можуть оцінюватися, наприклад, на основі попереднього досвіду.

Невизначеність існує тоді, коли ймовірності наслідків доводиться визначати суб'єктивно, тому що досвід минулого відсутній або не може бути використаний.

В умовах визначеності стан системи та її поведінка відомі. Тому залежно від обсягу та характеру наявної інформації рішення поділяють на рішення в умовах визначеності; в умовах ризику; в умовах невизначеності (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Класифікаційні ознаки прийняття рішення

Умови прийняття рішення	Стан факторів в цільовій функції		
	Завдання умови	Елементи рішення	Зовнішні фактори
Визначеність	Відомі	Необхідно визначити	Відсутні або відомі
Ризик	Відомі	Необхідно визначити	Відома імовірність їх появи
Невизначеність	Відомі	Необхідно визначити	Відома імовірність їх появи

Коли діють усі три групи чинників, то завдання вибору рішення формується так: за заданих умов з урахуванням дії невідомих чинників потрібно знайти елементи рішення, які по можливості забезпечували б отримання екстремального значення цільової функції.

1. Ухвалення рішення в умовах дефіциту інформації (невизначеності). Якщо стан зовнішніх чинників невідомий, то завдання розв'язується в умовах невизначеності.

Фахівці багатьох країн стверджують, що 80% рішень ухвалюють за наявності тільки 20% інформації про керовану систему і чинники, що діють на неї.

Наприклад, ухвалюючи рішення про кількість постів на станції технічного обслуговування, можна тільки припускати про потенційну кількість клієнтів і їхній розподіл за годинами доби, днями тижня, місяцями року тощо.

Аналогічна ситуація складається з числом можливих вимог на конкретний вид ремонту автомобіля протягом «завтрашнього дня», можливості виходу або невиходу на роботу конкретного фахівця або робітника тощо. Тому повну інформацію можна отримати тільки після того, як відбулася та чи інша подія (тобто відмови вже сталися), коли необхідність в упереджувальному рішенні відпала, а система перейшла в режим реактивного управління. При цьому управлінні рішення ухвалюються без аналізу можливих альтернатив і часто змінюються, будучи реакцією на поточні події, за принципом: «Зробимо, а там подивимося».

Отже, при управлінні необхідно вміти тими чи іншими способами заповнювати і компенсувати дефіцит інформації.

Такими способами є:

1. Збір додаткової інформації та її аналіз.
2. використання досвіду аналогічних підприємств і рішень, при цьому важливо мати у своєму розпорядженні банк рішень або мати надійний доступ до нього.
3. Використання колективної думки спеціалістів або експертизи.
4. Інтерв'ю і запитання.
5. Застосування спеціальних методів, заснованих на теорії ігор.
6. Використання імітаційного моделювання, яке буде відтворювати виробничі ситуації, ближче до реального.

2. *Ухвалення рішення в умовах визначеності.* В умовах визначеності, коли стан зовнішніх умов повністю відомий, під час ухвалення рішення можливі два підходи:

1. Якщо ситуація стандартна, то рішення приймається відповідно до розроблених стандартних правил.

2. Якщо виробнича ситуація нестандартна, тобто стандартних рішень немає, то ухвалення рішення полягає у визначенні елементів рішення, які забезпечать за заданих умов одержання екстремального (U_{min} или U_{max}) значення цільової функції.

Завдання 1. В транспортному підприємстві необхідно побудувати циліндричний резервуар заданої місткості для зберігання технічних мастил з мінімальною витратою листового матеріалу.

Очевидно, що цільова функція матеріалу – площа (витрата) матеріалу

$$U = F = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l, \quad (7.1)$$

де r – радіус резервуара; l – довжина резервуара; U – об'єм резервуара.

Рішення

1. Виразимо один елемент рішення через інший об'єм резервуара $U = \pi \cdot r \cdot 2 \cdot l$, тоді $l = U / \pi \cdot r^2$

2. Вводимо значення l в цільову функцію $F = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + \frac{2 \cdot U}{r}$

a)
$$\frac{dU}{dX} = \frac{dF}{dr} = 4 \cdot \pi \cdot r - \frac{2 \cdot U}{r^2};$$

$$\text{б) } 4 \cdot \pi \cdot r - \frac{2 \cdot U}{r^2} = 0; \quad 2 \cdot \pi \cdot r^3 - U = 0;$$

в) підставляємо значення $U = \pi \cdot r \cdot 2 \cdot l$ та отримуємо $2 \cdot \pi \cdot r^3 = \pi \cdot r^2 \cdot l$, звідки $2 \cdot r = l$ або $r = 0,5 \cdot l$, тобто при такому співвідношенні радіуса (r) та довжини (l) і будь-якому об'ємі (U) циліндричного резервуара витрата матеріалу завжди буде мінімальною ($F = U_{min}$).

Таким чином, отримано стандартне рішення, яким можна буде користуватися вже без додаткових розрахунків.

Якби завдання передбачало визначення і форми резервуара, то мінімальна витрата матеріалу за однакового обсягу може бути отримана у кульового резервуара. Однак витрати на його виготовлення будуть більшими, ніж у циліндричного.

Завдання 2. З метою економії витрат енергії на опалення виробничого приміщення пропонується посилити його теплоізоляцію.

Необхідно визначити оптимальну товщину теплоізоляції x .

Цільова функція в цьому випадку містить у собі витрати на опалення C_o і на теплоізоляцію C_{mi}

$$U = C = C_o + C_{mi}. \quad (7.3)$$

Очевидно, витрати на опалення обернено пропорційні товщині ізоляційного шару, тобто

$$C_{mi} = \frac{K_1}{x}, \quad (7.4)$$

де K_1 – коефіцієнт питомих витрат на одиницю втрати тепла x .

Витрати на ізоляцію пропорційні товщині теплоізоляційного шару x

$$C_{mi} = K_2 \cdot x \quad (7.5)$$

де K_2 – коефіцієнт питомих витрат на теплоізоляцію, що являє собою вартість одиниці товщини (наприклад, одного см) теплоізоляційного шару.

Цільова функція витрат матиме вигляд

$$C = \frac{K_1}{x} - K_2 \cdot x; \quad \frac{dC}{dx} = -\frac{K_1}{x^2} - K_2 = 0; \quad x = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \quad (7.6)$$

тобто що дорожчі енергоносії і дешевша вартість теплоізоляції, то більшою може бути товщина теплоізоляційного шару і навпаки.

3. *Ухвалення рішення в умовах ризику.* В умовах ризику керівник транспортного підприємства повинен ухвалювати рішення в тих випадках, коли ймовірність появи тих чи інших станів зовнішніх факторів може бути правильно визначена або точно оцінена ним у процесі своєї діяльності.

Так, визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) автомобілів в умовах ризику здійснюється за допомогою економіко-імовірнісного методу. Суть цього методу в тому, що існує інформація про ймовірність певних подій та оцінку їхніх технологічних, економічних та інших наслідків. При цьому використовується цільова функція, яка встановлює кількісні зв'язки між рівнем досягнення поставлених цілей і факторами, які впливають на стан системи, тобто на її показник ефективності.

Наприклад, потрібно визначити оптимальну періодичність ТО і Р, яка відповідає мінімальній цільовій функції. Але оскільки напрацювання на відмову випадкове, то навіть за оптимальної періодичності ТО і Р зберігається певна ймовірність ризику відмови. Тому якщо цей ризик буде відомий, то система до нього може підготуватися.

Якщо виникне необхідність зниження ризику відмови ТО і Р, то для цього періодичність ТО і Р потрібно буде скоротити, а витрати на їх проведення потрібно буде збільшити.

Оцінка відносного збитку від кількох можливих ризиків розраховується за формулою

$$y_o = \sum_{i=1}^n (f_i \pm \Delta f_i) \cdot k_{ti} \cdot \delta_i \cdot \varepsilon_i, \quad (7.7)$$

где f_i – нормована ймовірність конкретного типу ризику;

Δf_i – коректура імовірності i -го ризику для конкретного підприємства (визначається досвідом або експертизою);

k_{ti} – коефіцієнт, що враховує час (тривалість) прояву цього виду ризику і по відношенню до нормативної ймовірності;

δ_i – частка частини об'єкта (проєкту), на яку поширюється цей вид ризику i ;

ε_i – ймовірність охоплення негативного впливу i -го ризику в даній частині об'єкта (програми).

4. *Страховання ризиків.* Знаючи відносний збиток (y_o) та ймовірність ризику (f_o), можна розв'язати питання про доцільність страхування ризиків цього об'єкта (проекту).

Якщо пропозиції страхових компаній перевищують розрахунки y_o та f_o , то підряднику доцільно взяти на себе ризик збитку.

Завдання 3. Під час реалізації інвестиційного проекту його вартість становить $Z = 750$ тис. у.о. Підрядник закупив і поставив на зберігання устаткування вартістю $Z_{об} = 200$ тис. у.о. За планом це устаткування повинне буде застосовуватися через $t = 3$ місяці. Однак протягом цього періоду обладнання може бути піддано таким ризикам з коригуванням (Δf_i):

- пожежа – 3% + ризик 1 Δf_1 на 2%;
- вибух – 10% - ризик 2 Δf_2 на 3%;
- крадіжка – 8%.

Пожежа і вибух можуть зіпсувати обладнання на $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 60\%$, а крадіжка обладнання становитиме псування на $\varepsilon_3 = 25\%$.

Потрібно визначити відносний річний збиток від ризиків і ймовірність ризику.

Рішення

1. Визначити відносний річний збиток від ризиків за формулою

$$y_o = \sum_{i=1}^n (f_i \pm \Delta f_i) \cdot k_{ti} \cdot \delta_i \cdot \varepsilon_i =$$

$$= [(3 + 2) \cdot 0,6 + (10 - 3) \cdot 0,6 + 8 \cdot 0,25 \cdot 1] \cdot \frac{3}{12} = \frac{9,2}{4} = 2,3\%$$

Переводимо ці 2,3% у грошовий вигляд $y_{гр}$

$$y_{гр} = y_o \cdot Z_{об} = 2,3 \cdot 200 = 4,6 \text{ тис.}$$

2. Визначити ймовірність ризику, для чого використовується формула

$$f_o = \frac{Z_{об}}{Z} \cdot \frac{t}{12} [(f_1 + \Delta f_1) \cdot \varepsilon_1 + (f_2 + \Delta f_2) \cdot \varepsilon_2 + (f_3 + \Delta f_3) \cdot \varepsilon_3]$$

$$f_o = \frac{200}{750} \cdot \frac{3}{12} [(3 + 2) \cdot 0,6 + (10 - 3) \cdot 0,6 + 8 \cdot 0,25] = 0,62$$

3. Перевірка можливого збитку визначається за формулою

$$\dot{y}_{\text{гр}} = Z \cdot f_o = 750 \cdot 0,62 = 4,6 \text{ тис.}$$

Таким чином, $y_{\text{гр}} = \dot{y}_{\text{гр}} \cong 4.6$ тис.

Перевірка показала, що розрахунок проведено правильно.

Практична робота

Завдання 1. В транспортному підприємстві необхідно побудувати циліндричний резервуар заданої місткості для зберігання моторного мастила з мінімальною витратою листового матеріалу. Радіус резервуара $r = 1$ м, довжина резервуара $l = 2$ м. Якою буде витрата матеріалу?

Завдання 2. Вартість інвестиційного проекту становить 500 тис. у.о. Підприємство закупило і поставило на зберігання обладнання вартістю 160 тис. у.о. Планується встановити це обладнання через півроку. За цей період обладнання може бути піддано ризикам з коригуванням:

- пожежа – 6%, плюс ризик на 1%;
- вибух – 2%, мінус ризик на 1%;
- крадіжка – 8%.

Пожежа і вибух можуть зіпсувати обладнання на 70%. Крадіжка складе збиток на 18%. Вирішіть питання про доцільність страхування ризиків цього проекту.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

ПОБУДОВА СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУ

Мета заняття – набуття практичних навиків щодо стратегічного планування підприємства та прийняття своєчасних рішень в умовах мінливих ринкових відносин і нинішньої конкуренції за результатами SWOT-аналізу.

SWOT-аналіз – це метод стратегічного планування, який розглядає ваш бізнес у перспективі, використовуючи наступні ознаки: сильні та слабкі сторони, можливості та загрози (рис. 8.1, рис. 8.2). Використання SWOT-аналізу допомагає визначити шляхи вдосконалення бізнесу та максимізації можливостей, одночасно визначаючи негативні фактори, які можуть зашкодити шансам на успіх. Практично все, що вимагає стратегічного планування, внутрішнього чи зовнішнього, може бути застосовано до SWOT-аналізу та допоможе уникнути непотрібних помилок через недостатність або обмеженість інформації.

Уперше термін «SWOT-аналіз» був застосований американським академіком Кеннетом Ендрюсом у 1963 році в Гарварді на конференції з проблем бізнес-політики (Оголь).

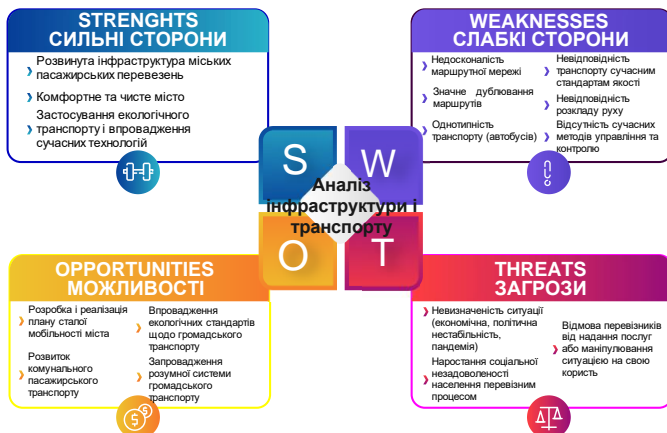


Рис. 8.1. SWOT-аналіз транспортної інфраструктури



Рис. 8.2. SWOT-аналіз облаштування сучасних зупинок громадського транспорту

SWOT-аналіз – це структура, яка допомагає оцінити та зрозуміти внутрішні та зовнішні сили, які можуть створювати можливості або ризики для організації (Peterdy).

Сильні та слабкі сторони – це внутрішні фактори. Це характеристики бізнесу, які надають йому відносну перевагу (або недоліки, відповідно) над конкурентами.

Можливості та загрози, з іншого боку, є зовнішніми факторами. Можливості – це елементи зовнішнього середовища, які керівництво може використати для покращення результатів діяльності (наприклад, зростання доходів або підвищення рентабельності).

Загрози – це елементи зовнішнього середовища, які можуть поставити під загрозу конкурентні переваги компанії або навіть її здатність функціонувати як безперервно діюче підприємство (наприклад, регуляторні проблеми або технологічні збої тощо).

Сильними сторонами можуть бути будь-які сфери або характеристики, в яких підприємство (компанія) перевершує конкурентів і має конкурентну перевагу над ними. Переваги можуть бути більш якісними за своєю природою і тому їх важко виміряти (наприклад, запатентована технологія, сучасний транспорт тощо), або ж вони можуть бути більш кількісними (наприклад, найкраща у своєму

класі рентабельність, вища за середню оборотність запасів, краща у своїй категорії рентабельність власного капіталу тощо).

Слабкі сторони - це сфери або характеристики, в яких бізнес перебуває у не вигідному конкурентному становищі порівняно зі своїми конкурентами. Як і сильні сторони, вони також можуть бути більш якісними або кількісними. Прикладами можуть бути недосвідчений менеджмент, висока плинність кадрів, низька (або така, що знижується) рентабельність, високе (або надмірне) використання боргових коштів як джерела фінансування.

У розділі «Можливості» слід висвітлити зовнішні фактори, які представляють собою потенційні можливості для зростання або вдосконалення бізнесу. Найчастіше практикуються такі можливості, як зростаюча загальна потреба (ринковий попит), технологічний прогрес, який може допомогти підвищити ефективність, або зміни в соціально-економічних нормах, які створюють нові ринки або нові підсегменти існуючих ринків.

Загрози – це зовнішні сили, які становлять ризики для бізнесу та його здатності функціонувати. Ці категорії, як правило, схожі на розділ «Можливості», але мають протилежну спрямованість. Розглянемо такі приклади, як занепад галузі, технологічні інновації, які можуть порушити існуючий бізнес та його діяльність, або зміна соціальних норм, які роблять існуючі пропозиції продуктів менш привабливими для все більшої кількості споживачів (Peterdy).

SWOT-аналіз рідко проводиться ізольовано; зазвичай він є частиною ширшого бізнес-аналізу. І хоча SWOT-аналіз сам по собі є основою для оцінки, він також є ефективним інструментом, який допомагає узагальнити інші висновки.

Наприклад, перевізник не може по-справжньому оцінити сильні та слабкі сторони компанії без попереднього розуміння бізнесу та галузі, в якій він працює. Для цього він може скористатися іншими додатковими інструментами та структурами.

Різні зацікавлені сторони використовують SWOT-аналіз по-різному. Наприклад, управлінська команда використовує його для підтримки стратегічного планування та управління ризиками. SWOT допомагає їм візуалізувати відносні переваги і недоліки фірми, щоб краще зрозуміти, куди і як організація повинна розподіляти ресурси, чи то на зростання, чи то на ініціативи зі зниження ризиків.

Загалом, багато хто вважає SWOT-схему одним з найкорисніших інструментів для стратегічного планування та бізнес-аналізу.

Практична робота

1. Вибрати об'єкт дослідження (організація вантажних або пасажирських перевезень, облаштування зупинок громадського транспорту тощо) – здобувач приймає самостійно за погодженням із викладачем. Формуємо вихідну таблицю.

2. Сформувати матрицю SWOT-аналізу з оцінкою в балах від 1 до 5:

- у списку сильних сторін проставляються тільки позитивні оцінки (якщо «5» — відповідний сильний фактор компанії має найвищий рівень, а якщо «1» — найнижчий);

- слабкі сторони оцінюються за тим самим принципом, тільки максимум — для негативних значень (якщо «5» — за цим фактором компанія вкрай слабка, якщо «1» — цей фактор слабкості практично невластивий компанії).

3. Розраховуємо вагові коефіцієнти (кількісні оцінки) кожного показника SWOT-аналізу.

4. Формулюємо проблеми для кожної комбінації сильних і слабких сторін із загрозами та можливостями.

5. Оцінювання виявлених факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, формування комплексу заходів (проблем), які мають бути закладені в основу стратегії для визначення порядку їхньої практичної реалізації.

Рекомендована література

1. Hong P. V.; Nguyen T.-T. Factors affecting marketing strategy of logistics business-Case of Vietnam. The Asian Journal of Shipping and Logistics 36(4). 2020, 36. P. 224–234.
2. Кини Р. Л., Райфа Б. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М. : Радио и связь, 1981. 168 с.
3. Колпаков В. М. Теория и практика принятия управленческих решений. Киев : МАУП, 2000. 256 с.
4. Kyle Peterdy. SWOT Analysis. CFI : веб-сайт. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/swot-analysis/>
5. Podvezko, V. Agreement of expert estimates. Technological and Economic Development of Economy. 2005, 9, P. 159–172.
6. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1980.
7. Метод аналізу ієрархій. Тріумф ІТ : веб-сайт (URL-1). URL: <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help>.
8. Vaičiūtė K.; Katiniene A.; Bureika G. The Synergy between Technological Development and Logistic Cooperation of Road Transport Companies. Sustainability 2022, 14(21), 14561. <https://doi.org/10.3390/su142114561>
9. Акулиничев В. М., Кудрявцев В. А., Корешков А. Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог. М. : Транспорт, 1981. 223 с.
10. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В., Головатий А. О., Голуб Д. В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
11. Ашманов С. А., Тимохов А. В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. М. : Наука, 1991. 448 с.
12. Бідняк М. Н., Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: теорія і практика. Вінниця, 2006. 176 с.
13. Біліченко В. В., Романюк С. О. Виробничі системи на автомобільному транспорті. Вінницький національний технічний університет : веб-сайт. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/romanyuk2_virobsustemi_na_avtotransporti/p2.html

14. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 544 с.
15. Бутко М. П. та ін. Стратегічний менеджмент. Київ : «Центр учбової літератури», 2016. 376 с.
16. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. Учебное пособие для вузов. М. : Дрофа, 2004. 208 с.
17. Галушко В. Г. Случайные процессы и их применение на автотранспорте / Под ред. И. Н. Коваленко. Киев : Вища школа, 1980. 272 с.
18. Грешилов А. А. Как принять наилучшее решение в реальных условиях. М. : Радио и связь, 1991. 320 с.
19. Джерихов В. Б. Управление техническими системами. СПб., 2007. 51 с.
20. Дмитренко В. С. Виробничі системи на транспорті. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 93 с.
21. Иваницкий В. А. Теория сетей массового обслуживания. М. : Физматлит, 2004. 770 с.
22. Исследование операций в экономике / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, И. М. Тришин, М. Н. Фридман; Под ред. Н. Ш. Кремера. М. : Юнити, 2000. 407 с.
23. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ : Вища шк., 1997. 359 с.
24. Коваленко В. М. Вантажні автомобільні перевезення. Київ : Літера ЛТД, 2006. 304 с.
25. Кристопчук М. Є., Голотюк М. В., Хітров І. О. Менеджмент технічної служби. Рівне : НУВГП, 2012. 101 с.
26. Курніков С. І. Оцінка напрямів розвитку виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту. Вісник машинобудування та транспорту 2019, №2(10), С. 34-39.
27. Мартиненко М. М., Ігнатєва І. А. Стратегічний менеджмент. Київ : Каравела, 2006. 320 с.
28. Оголь Аріна. SWOT-аналіз із прикладами. Espotnik : веб-сайт. URL: <https://esputnik.com/uk/blog/swot-analiz-iz-prikladami>
29. Прохорова В. В. Давидова О. Ю. Організація виробництва. Харків : Вид-во Іванченка І. С., 2018. 275 с.
30. Сологуб Д. М. Грузовые автомобильные перевозки. Киев, 1997, 129 с.

31. Таха Х. А. Введение в исследование операций (пер. с англ. Минько А.А.) Изд. 7-е. М. : Вильямс, 2005. 912 с.
32. Тянь Р. Б., Холод Б. І., Ткаченко В. А. Управління проектами. Дніпропетровськ : ДАУБП, 2000. 224 с.
33. Фомин Г. П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности. М. : Финансы и статистика, 2001. 544 с.