

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для практичних робіт з дисципліни

«Основи теорії транспортних процесів і систем»
для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальності 275
«Транспортні технології (за видами)»

Методичні вказівки для практичних робіт дисципліни “ Основи теорії транспортних процесів і систем” для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275 “Транспортні технології (за видами)” / Укл. проф. Кузькін О.Ф., ст. викл. Райда І.М. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024.– 73 с.

Укладачі: проф., д.т.н. Кузькін О.Ф.
ст. викл. Райда І.М.

Рецензент: проф., д.т.н. Турпак С.М.

Відповідальний за випуск: ст. викл. Лебідь Г.О.

Затверджено на засіданні
кафедри «Транспортні технології»
Протокол № 4
від «07» грудня 2023 р.
Рекомендовано до видання
НМК транспортного факультету
Протокол № 107
від «12» лютого 2024 р.

ЗМІСТ

Практична робота № 1. Оперативне і короткострокове прогнозування попиту на перевезення.....	4
Практична робота № 2. Прогнозування техніко-економічних показників методами регресійного аналізу.....	20
Практична робота № 3. Маршрутизація перевезень партійних вантажів.....	25
Практична робота № 4. Факторний аналіз продуктивності рухомого складу.....	37
Практична робота № 5. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників роботи парку вантажного рухомого складу.....	44
Практична робота № 6. Нормування витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті.....	51
Практична робота № 7. Оптимізація структури парку автомобілів за вантажопідйомністю.....	62
Перелік рекомендованої літератури.....	72
Додаток А	73

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. ОПЕРАТИВНЕ І КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Мета заняття: ознайомлення з математичними методами оперативного і короткострокового прогнозування – ковзної середньої та експоненціального згладжування – і їх застосування в аналізі і плануванні транспортних процесів.

Стисла теоретична довідка

Під **прогнозом** розуміється науково обґрунтоване судження про можливі стани об'єкта у майбутньому і (або) альтернативних шляхах і термінах їх появи на основі екстраполяції минулого досвіду.

Особливістю моделей прогнозування з математичної точки зору є те, що в них незалежною змінною виступає час, і тому одним із важливих етапів процесу прогнозування є складання так званих **динамічних (часових) рядів**, які характеризують змінювання показника за минулий період часу $t_0 + t$.

Окремі спостереження часового ряду називаються його **рівнями**. Основна задача аналізу часових рядів полягає у визначенні основної закономірності змінювання досліджуваного ряду у часі. Для виявлення основної тенденції змінювання показників в межах аналізованого часу необхідно провести, так зване, згладжування часового ряду. В результаті отримують більш або менш гладку траєкторія, яка називається **трендом**.

Періодом упередження прогнозу називається відрізок часу від моменту, для якого є останні статистичні дані для досліджуваного об'єкту, до моменту, на який надається прогноз. В залежності від тривалості періоду упередження розрізняють такі види прогнозів:

оперативний з періодом упередження до 1 місяця;

короткостроковий – від 1 місяця до 1 року;

середньостроковий – від 1 року до 5 років;

довгостроковий – від 5 до 15 років.

Для оперативного та короткострокового прогнозування використовують декілька методів, найбільш розповсюдженими з яких є методи ковзної середньої та експоненціального згладжування.

Метод ковзної середньої. Суть методу полягає у тому, що середній рівень показника обчислюється спочатку для певної кількості перших членів ряду, потім для такого ж числа членів, починаючи з другого члена за рахунком, далі – з третього і т.д. Таким чином, інтервал згладжування, тобто інтервал, для якого обчислюється середня, немов би ковзає по динамічному ряду з кроком, що дорівнює одиниці. В практиці згладжування частіше за все застосовуються три- та п'ятичленні ковзні середні.

При тричленному ($m = 3$) вирівнюванні для часового ряду y_1, y_2, \dots, y_n складають послідовно середні за формулою

$$\bar{y}_t = \frac{y_{t-1} + y_t + y_{t+1}}{3}, \quad t = 2, 3, \dots, (n-1). \quad (1.1)$$

Аналогічним чином складають ряд п'ятичленних ковзних середніх

$$\bar{y}_t = \frac{y_{t-2} + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + y_{t+2}}{5}, \quad t = 3, 4, \dots, (n-2). \quad (1.2)$$

Прогнозований рівень останніх членів часового ряду і в упереджених точках ($t + \tau$) за областю отриманих спостережень може бути обчислений за формулою

$$\bar{y}_t = \bar{y}_{t-1} + \frac{y_t - y_{t-m}}{m}, \quad (1.3)$$

де \bar{y}_t – значення ковзної середньої на кінці t -го рівня;
 \bar{y}_{t-1} – значення ковзної середньої на кінці $(t-1)$ -го рівня;
 y_t – фактичне значення t -го рівня;
 m – порядковий номер рівня в інтервалі згладжування.

Величина y_t за областю отриманих спостережень для подальшої екстраполяції приймається рівною значенню попередньої ковзної середньої, тобто

$$y_t = \bar{y}_{t-1}. \quad (1.4)$$

Тоді формулу (1.3) для упередженого періоду $(t + \tau)$ можна подати у вигляді

$$\bar{y}_t = \frac{\bar{y}_{t-1}(m+1) - y_{t-m}}{m}. \quad (1.5)$$

Стандартна похибка лінії тренду дорівнює

$$\sigma_{\bar{y}} = \sigma_0 \sqrt{1 + \frac{1}{n}}, \quad (1.6)$$

де σ_0 – стандартна похибка часового ряду.

Стандартна похибка σ_0 часового ряду дорівнює

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2}{n-1}}. \quad (1.7)$$

Метод експоненціального згладжування. Суть методу полягає у тому, що часовий ряд згладжується за допомогою зваженої ковзної середньої. При побудові моделі, яка описує тренд, більша питома вага надається середнім, отриманим із останніх членів часового ряду, через припущення, що розвиток процесу у перспективі в більшій ступені залежить від спостережень за декілька останніх періодів. При цьому ваги ковзної середньої, за допомогою якої виконується згладжування часового ряду, змінюється за експоненціальним законом.

Тренд часового ряду y_t ($t = 1, 2, \dots, n$) у загальному вигляді можна описати поліномом p -ої степені

$$y_t = a_0 + a_1 t + \frac{a_2}{2!} t^2 + \dots + \frac{a_p}{p!} t^p. \quad (1.8)$$

Будь-яка k -та похідна ($k = 0, 1, 2, \dots, p$) рівняння (1.8) може бути виражена через лінійні комбінації експоненціальних середніх до $(p + 1)$ -го порядку.

Експоненціальна функція згладжування k -го порядку розраховується за рекурентною формулою

$$S_t^{[k]} = \alpha \cdot S_t^{[k-1]} + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}^{[k]}, \quad (1.9)$$

де α – параметр згладжування, який характеризує вагу поточного спостереження при розрахунку експоненціальної середньої ($0 < \alpha < 1$);

$S_t^{[k-1]}$, $S_{t-1}^{[k]}$ — експоненціальні середні відповідно $(k - 1)$ -го і k -го порядку.

Параметр α рекомендується визначати за співвідношенням

$$\alpha = \frac{2}{n + 1}, \quad (1.10)$$

де n – кількість рівнів часового ряду.

В техніко-економічних прогнозах найбільш часто зустрічаються лінійні і квадратичні функції.

Лінійна функція прогнозу. Модель описується функцією $y_t = a_0 + a_1 t$. Модель включає експоненціальні середні першого $S_t^{[1]}$ і другого $S_t^{[2]}$ порядку.

Розрахунок параметрів a_0 і a_1 часового ряду, який включає n рівнів виконують в такій послідовності.

1. Для першої точки ($t = 1$) приймають

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = y_1.$$

2. Для другої точки ($t = 2$) обчислюються експоненціальні середні

$$S_2^{[1]} = \alpha y_2 + (1 - \alpha) S_1^{[1]};$$

$$S_2^{[2]} = \alpha S_2^{[1]} + \beta S_1^{[2]}.$$

3. Обчислюють коефіцієнти $a_0(t)$ і $a_1(t)$:

$$a_0(2) = 2S_2^{[1]} - S_2^{[2]};$$

$$a_1(2) = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} (S_2^{[1]} - S_2^{[2]}).$$

4. Надалі аналогічним чином обчислюють значення $S_3^{[1]}$, $S_3^{[2]}$ і коефіцієнти $a_0(3)$ і $a_1(3)$ для третьої точки і т.д. доти, доки не отримають $a_0(n)$ і $a_1(n)$. Ці останні коефіцієнти використовують в прогнозній функції

$$y_{n+\tau}^* = a_0(n) + a_1(n) \cdot \tau,$$

де τ – період упередження прогнозу.

Проміжні значення $a_0(t)$, $a_1(t)$ для $t = 2, 3, \dots, (m - 1)$ розраховувати необов'язково. Важливо отримати $S_t^{[1]}$ і $S_t^{[2]}$ для $t = 2, 3, \dots, n$, тобто знаючи $S_m^{[1]}$ і $S_m^{[2]}$ можна відразу отримати

$$a_0(n) = 2S_n^{[1]} - S_n^{[2]};$$

$$a_1(n) = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S_m^{[1]} - S_m^{[2]}).$$

5. Виконують екстраполяцію тренду на один крок вперед за область $(n + \tau)$. Для цього приймають, що значення майбутнього рівня функції дорівнює екстрапольованому значенню функції попереднього періоду, тобто $y_{i+1}^* = y_i^*$.

Далі, виконуючи вищезазначені операції, розраховують експоненціальні середні, коефіцієнти рівняння і прогнозне значення функції y_{i+1}^* .

6. Розраховують стандартну похибку лінії тренду за формулою

$$\sigma_{y^*} = \sigma_0 \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^3} \left[1 + 4(1-\alpha) + 5(1-\alpha^2) + 2\alpha(4-3\alpha)\tau + 2\alpha^2\tau^2 \right]}.$$

Квадратична функція прогнозу. Квадратична функція

$y_t = a_0 + a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2$ включає експоненціальні середні першого $S_t^{[1]}$, другого $S_t^{[2]}$ і третього $S_t^{[3]}$ порядків.

Розрахунок параметрів a_0 , a_1 , a_2 часового ряду квадратичної функції проводять в такій послідовності.

1. Для першої точки ($t = 1$) приймають

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = S_1^{[3]} = y_1.$$

2. Для другої точки ($t = 2$) обчислюються експоненціальні середні:

$$\begin{aligned} S_2^{[1]} &= \alpha y_2 + (1-\alpha) S_1^{[1]}; \\ S_2^{[2]} &= \alpha S_2^{[1]} + (1-\alpha) S_1^{[2]}; \\ S_2^{[3]} &= \alpha S_2^{[2]} + (1-\alpha) S_1^{[3]}. \end{aligned}$$

3. Аналогічно обчислюють для третьої і наступних точок:

$$\begin{aligned} S_t^{[1]} &= \alpha y_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{[1]}; \\ S_t^{[2]} &= \alpha S_t^{[1]} + (1-\alpha) S_{t-1}^{[2]}; \\ S_t^{[3]} &= \alpha S_t^{[2]} + (1-\alpha) S_{t-1}^{[3]}. \end{aligned}$$

4. Обчислюють значення коефіцієнтів прогнозного рівняння:

$$a_0 = a_0(t) = 3S_t^{[1]} - 3S_t^{[2]} + S_t^{[3]};$$

$$a_1 = a_1(t) = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} \left[(6-5\alpha)S_t^{[1]} - 2(5-4\alpha)S_t^{[2]} + (4-3\alpha)S_t^{[3]} \right];$$

$$a_2 = a_2(t) = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \left[S_t^{[1]} - 2S_t^{[2]} + S_t^{[3]} \right],$$

та отримують значення прогнозу для наступного прогнозного періоду

$$y_{t+\tau}^* = a_0(t) + a_1(t) \cdot \tau + \frac{1}{2} a_2(t) \cdot \tau^2$$

5. Розраховують значення прогнозу на упереджений період ($n + \tau$) аналогічно лінійній прогнозній моделі.

6. Розраховують похибку прогнозу за формулою

$$\sigma_{y^*} = \sigma_0 \sqrt{2\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^3 \tau}.$$

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

Наявні дані про обсяги переробки вантажів на вантажному дворі залізничної станції (y_i , $i = \overline{1,12}$) щомісячно протягом останніх $n = 12$ місяців. Використовуючи методи ковзної середньої (для тричленного та п'ятичленного вирівнювання) та експоненціального згладжування (для лінійної та квадратичної функції прогнозу) виконати прогноз обсягів переробки вантажів на наступні три ($\tau = 1, 2, 3$) місяці.

Побудувати графіки вихідного ряду динаміки та згладжених даних та обчислити похибку прогнозу за кожним з методів. Вихідні дані до виконання завдання по варіантах у вигляді динамічних рядів наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 1

Варі- ант	Обсяги переробки вантажів по місяцях року, тис. т.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,5	3,7	1,6	2,6	2,8	3,9	4,1	5,9	5,2	6,3	4,8	5,7
2	12,6	8,2	5,4	7,9	6,7	8,2	5,6	4,9	5,2	4,1	3,7	3,9
3	9,4	7,8	6,4	5,4	8,7	7,8	5,5	5,4	3,9	1,4	0,9	1,3
4	0,3	2,9	3,6	4,9	4,4	5,8	6,4	7,6	8,1	8,5	7,4	9,4
5	6,4	7,2	7,7	9,9	6,0	6,0	3,5	3,9	4,6	4,4	4,8	7,3
6	3,9	2,1	2,6	8,4	3,8	2,9	4,4	3,2	4,5	7,4	8,5	7,0
7	9,8	7,6	7,7	5,2	4,6	4,9	2,8	2,0	0,8	2,0	5,0	2,1
8	8,3	5,8	4,9	6,2	3,7	8,9	6,1	4,8	6,3	2,5	6,0	4,1
9	5,0	3,2	3,0	8,3	5,8	8,5	9,2	7,5	7,5	8,8	4,9	9,7
10	0,9	1,4	3,4	4,9	4,1	5,8	6,3	7,2	8,0	8,2	7,5	8,2
11	9,0	8,0	7,1	9,7	8,0	4,8	2,6	2,8	7,2	4,4	4,7	1,4
12	16,4	19,2	13,9	14,4	16,5	16,9	11,5	15,0	13,7	11,1	10,0	2,5
13	8,3	8,1	7,1	5,3	5,5	3,3	2,7	2,9	1,0	0,6	2,1	2,1
14	19,3	17,2	16,6	14,1	16,0	17,8	17,0	10,5	11,5	11,8	10,6	7,3
15	1,9	1,4	2,8	4,3	6,0	6,8	6,0	7,9	9,6	9,8	8,6	8,6
16	18,1	13,6	13,4	14,5	16,1	16,0	12,2	10,4	10,0	11,7	10,6	7,3
17	11,3	14,5	19,6	16,6	15,2	15,3	13,6	10,1	12,0	11,2	10,9	9,7
18	8,3	7,1	7,2	5,3	6,0	3,8	4,0	3,0	1,4	1,4	1,0	4,5
19	14,2	19,0	19,4	15,1	19,4	15,4	14,1	11,8	11,0	11,0	10,0	9,4
20	1,9	1,6	2,8	4,7	4,6	5,9	8,0	8,2	9,1	7,7	9,4	7,2
21	9,7	10,3	11,2	12,5	12,6	13,0	17,3	16,7	15,0	15,1	18,4	18,5
22	8,7	8,9	7,4	6,1	4,4	3,8	3,9	3,0	0,6	1,9	1,1	1,6
23	5,2	10,4	11,0	11,6	11,9	17,7	15,6	16,9	17,9	14,2	12,7	16,1
24	6,4	10,0	11,0	13,5	11,3	13,0	17,1	18,0	17,1	18,0	16,2	16,7
25	0,3	2,3	3,2	4,1	5,1	6,7	6,1	7,1	8,9	7,6	5,9	9,0
26	4,7	11,0	10,9	10,2	13,9	14,5	15,0	18,2	15,8	13,5	18,4	13,1
27	6,9	10,1	11,8	10,7	15,5	16,3	17,9	16,3	14,1	19,0	16,1	18,5
28	9,1	7,3	7,2	6,9	4,5	3,4	3,8	1,3	0,9	2,6	3,1	2,2
29	7,6	10,9	10,9	11,9	13,9	16,3	17,1	16,4	19,6	16,7	18,8	17,6
30	16,3	20,0	14,9	18,3	15,9	15,6	10,8	11,1	13,8	10,6	10,1	3,4

Приклад виконання практичної роботи

Розглянемо приклад виконання завдання для таких вихідних даних:

Порядковий номер місяця, t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обсяг переробки вантажів y_t , тис.т.	10,3	14,3	7,7	15,8	14,4	16,7	15,3	20,2	17,1	7,5	15,5	16,5

Розв'язок.

Приклад побудови прогнозової моделі за методом *ковзної середньої* наведений в таблиці 1.2. Згладжування обсягів переробки вантажів виконано три- ($m = 3$) і п'ятичленими ($m = 5$) ковзними середніми. Значення \bar{y}_t для періоду $t = 12$ (для $m = 3$) та періодів $t = 11$ та $t = 12$ (для $m = 5$) розраховувались за формулою (1.3), а для $(t + \tau) = (12 + 1) \dots (12 + 3)$ – за формулою (1.5). У другому стовпчику таблиці через дріб наведені екстрапольовані дані про значення показника за межею області спостережень (чисельник – тричленна ковзна середня, знаменник – п'ятичленна ковзна середня).

Таблиця 1.2 – Розрахунки прогнозу методом ковзної середньої

Місяці року t	Обсяги переробки вантажів y_t , тис.т.	$m = 3$			$m = 5$		
		сума	\bar{y}_t	$(y_t - \bar{y}_t)^2$	сума	\bar{y}_t	$(y_t - \bar{y}_t)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	10,3	–	–	–	–	–	
2	14,3	32,3	10,8	12,25	–	–	
3	7,7	37,8	12,6	24,01	62,5	12,5	23,0
4	15,8	37,9	12,6	10,89	68,9	13,8	4,0
5	14,4	44,6	15,6	1,44	69,9	14,0	0,16
6	16,7	47,8	15,5	1,44	82,4	16,5	0,04
7	15,3	52,2	17,4	0,92	83,7	16,7	1,96
8	20,2	52,6	17,5	7,29	76,8	15,4	23,0
9	17,1	44,8	14,9	4,84	76,5	15,1	4,0
10	7,5	40,1	13,4	34,81	76,8	15,4	62,4

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
11	15,5	39,5	13,2	5,29	–	11,1	19,4
12	16,5	–	13,0	12,25	–	10,1	40,9
13 ($\tau=1$)	13,0 / 10,1	–	14,8	–	–	8,08	–
14 ($\tau=2$)	14,8 / 8,08	–	14,6	–	–	6,28	–
15 ($\tau=3$)	14,6 / 6,28	–	14,0	–	–	6,04	–
				115,43			178,97

За результатами розрахунків будемо графіки вихідного динамічного ряду та згладжених при $m=3$ та $m=5$ (рисунок 1.1).

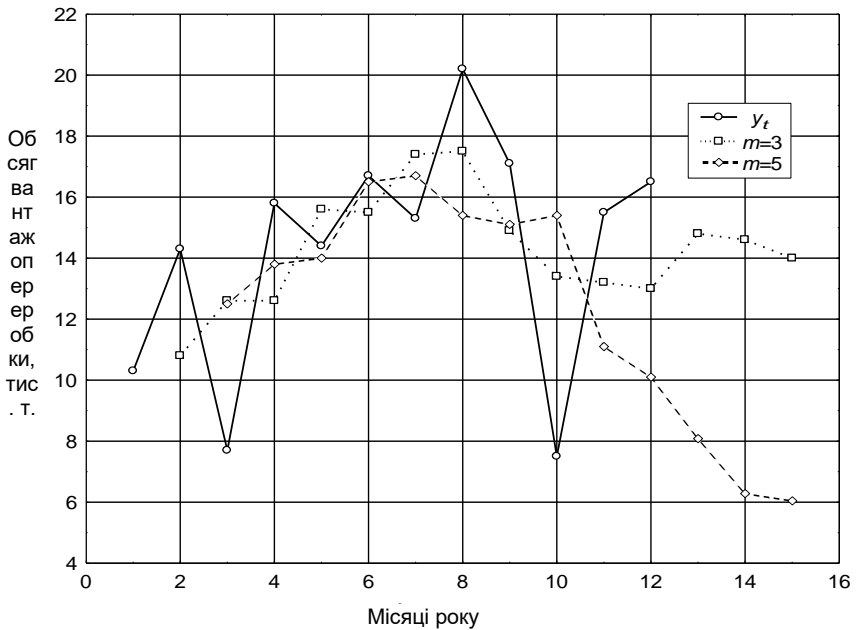


Рисунок 1.1 – Згладжування часового ряду тричленною та п'ятичленною ковзною середньою

Розраховуємо похибку прогнозу:
для тричленної ковзної середньої

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{115,43}{11-1}} = 3,4; \quad \sigma_{\bar{y}} = 3,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{12}} = 3,54;$$

для п'ятичленної ковзної середньої

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{178,97}{8-1}} = 5,06; \quad \sigma_{\bar{y}} = 5,06 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{12}} = 5,27.$$

Побудову прогнозної моделі за методом експоненціального згладжування проводимо у наведеній нижче послідовності.

Лінійна функція прогнозу.

1. Визначаємо константу згладжування α :

$$\alpha = \frac{2}{m+1} = \frac{2}{12+1} = 0,154;$$

тут m – кількість точок (рівнів) ряду динаміки.

2. Для першої точки ($t=1$) приймаємо значення змінної згладжування відповідно першого і другого порядку:

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = y_1 = 10,3.$$

3. Розраховуємо експоненціальні середні для другої точки ($t=2$) за формулами:

$$S_2^{[1]} = \alpha y_2 + (1-\alpha)S_1^{[1]} = 0,154 \cdot 14,3 + (1-0,154) \cdot 10,3 = 10,92;$$

$$S_2^{[2]} = \alpha S_2^{[1]} + (1-\alpha)S_1^{[2]} = 0,154 \cdot 10,92 + (1-0,154) \cdot 10,3 = 10,39.$$

4. Обчислюємо коефіцієнти $a_0(t)$ і $a_1(t)$ для другої точки ($t=2$):

7. Для періоду $t = 13$ ($\tau = 1$) приймаємо $y_{13} = y_{12}^* = 15,79$. Далі розраховуємо $S_{13}^{[1]}$, $S_{13}^{[2]}$, коефіцієнти $a_0(13)$ і $a_1(13)$, прогнозне значення y_{13}^* . Аналогічним чином діємо для рівнів $t = 14$ та $t = 15$.

8. Розраховуємо стандартну похибку часового ряду

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{101,49}{11-1}} = 3,19;$$

9. Розраховуємо похибку прогнозу

$$\sigma_{y^*} = 3,19 \sqrt{\frac{0,154}{(2-0,154)^3} \left[1 + 4(1-0,154) + 5(1-0,154^2) + \right.} \\ \left. + 2 \cdot 0,154(4-3 \cdot 0,154) \cdot 1 + 2 \cdot 0,154^2 \cdot 1^2 \right]} = 1,19.$$

Квадратична функція прогнозу.

1. Для першої точки ($t = 1$) приймаємо значення змінної згладжування відповідно першого, другого і третього порядку:

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = S_1^{[3]} = y_1 = 10,3.$$

2. Розраховуємо експоненціальні середні для другої точки ($t = 2$) за формулами:

$$S_2^{[1]} = \alpha y_2 + (1-\alpha)S_1^{[1]} = 0,154 \cdot 14,3 + (1-0,154) \cdot 10,3 = 10,92;$$

$$S_2^{[2]} = \alpha S_2^{[1]} + (1-\alpha)S_1^{[2]} = 0,154 \cdot 10,92 + (1-0,154) \cdot 10,3 = 10,39;$$

$$S_2^{[3]} = \alpha S_2^{[2]} + (1-\alpha)S_1^{[3]} = 0,154 \cdot 10,39 + (1-0,154) \cdot 10,3 = 10,31.$$

3. Обчислюємо коефіцієнти $a_0(t)$ і $a_1(t)$ для другої точки ($t = 2$):

$$a_0(2) = 3S_2^{[1]} - 3S_2^{[2]} + S_2^{[3]} = 3 \cdot 10,92 - 3 \cdot 10,39 + 10,31 = 11,88;$$

$$a_1(2) = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} \left[(6-5\alpha)S_2^{[1]} - 2(5-4\alpha)S_2^{[2]} + (4-3\alpha)S_2^{[3]} \right] =$$

$$= \frac{0,154}{2(1-0,154)^2} \left[(6-5 \cdot 0,154) \cdot 10,92 - 2(5-4 \cdot 0,154) \cdot 10,39 + \right.$$

$$\left. + (4-3 \cdot 0,154) \cdot 10,31 \right] = 0,26;$$

$$a_2(2) = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \left[S_2^{[1]} - 2S_2^{[2]} + S_2^{[3]} \right] = \frac{0,154^2}{(1-0,154)^2} \times$$

$$\times (10,92 - 2 \cdot 10,39 + 10,31) = 0,01;$$

4. Визначаємо прогнозне значення y_2^* для другої точки ($\tau = 1$):

$$y_2^* = 11,88 + 0,26 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 0,01 \cdot 1 = 12,15 .$$

5. Аналогічно обчислюємо $S_3^{[1]}$, $S_3^{[2]}$, $S_3^{[3]}$ коефіцієнти $a_0(3)$, $a_1(3)$ і $a_2(3)$, прогнозне значення y_3^* і т. д. до кінцевого періоду $t = 12$. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахунки прогнозу методом експоненціального згладжування (квадратична функція прогнозу)

Місяці року t	Обсяги переробки вантажів y_t , тис.т.	$S_t^{[1]}$	$S_t^{[2]}$	$S_t^{[3]}$	$a_0(t)$	$a_1(t)$	$a_3(t)$	y_t^*	$(y_t^* - y_t)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,3	10,3	10,3	10,3	—	—	—	—	—
2	14,3	10,92	10,39	10,31	11,88	0,26	0,01	12,15	4,63
3	7,7	10,42	10,40	10,33	10,39	-0,01	0,00	10,38	7,17
4	15,8	11,25	10,53	10,36	12,52	0,34	0,02	12,87	8,61
5	14,4	11,73	10,72	10,41	13,47	0,46	0,02	13,94	0,21
6	16,7	12,50	10,99	10,50	15,03	0,66	0,03	15,71	0,98
7	15,3	12,93	11,29	10,62	15,55	0,67	0,03	16,23	0,87
8	20,2	14,05	11,71	10,79	17,80	0,96	0,05	18,79	2,00
9	17,1	14,52	12,15	11,00	18,12	0,90	0,04	19,04	3,76
10	7,5	13,44	12,35	11,21	14,49	0,18	0,00	14,67	51,39

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	15,5	13,76	12,56	11,42	15,00	0,24	0,00	15,23	0,07
12	16,5	14,18	12,81	11,63	15,73	0,32	0,01	16,06	0,20
13 ($\tau=1$)	16,06	14,47	13,07	11,85	16,06	0,33	0,01	16,39	–
14 ($\tau=2$)	16,39	14,76	13,33	12,08	16,39	0,33	0,01	16,72	–
15 ($\tau=3$)	16,72	15,07	13,60	12,31	16,72	0,34	0,01	17,06	–
									79,9

6. Для періоду $t = 13$ ($\tau = 1$) приймаємо $y_{13} = y_{12}^* = 16,06$. Далі розраховуємо $S_{13}^{[1]}$, $S_{13}^{[2]}$, $S_{13}^{[3]}$, коефіцієнти $a_0(13)$, $a_1(13)$ та $a_2(13)$, прогнозне значення y_{13}^* . Аналогічним чином діємо для рівнів $t = 14$ та $t = 15$.

7. Розраховуємо стандартну похибку часового ряду

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{79,9}{11-1}} = 2,83;$$

8. Розраховуємо похибку прогнозу

$$\sigma_{y^*} = 2,83 \sqrt{2 \cdot 0,154 + 3 \cdot 0,154^2 + 3 \cdot 0,154^3 \cdot 1} = 2,83 \cdot 0,625 = 1,77.$$

За результатами розрахунків будуємо графіки вихідного динамічного ряду та згладжених для лінійної та квадратичної функції прогнозу за методом експоненціального згладжування (рисунок 1.2).

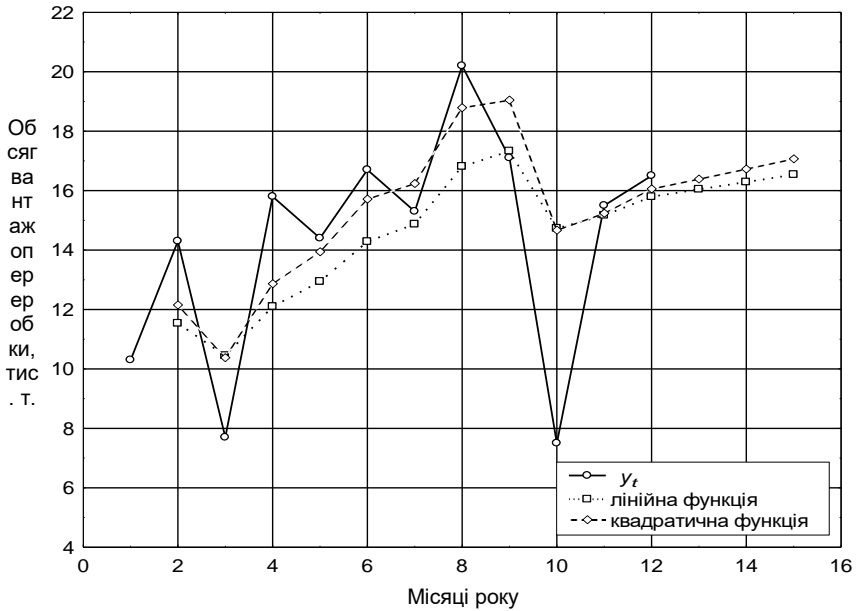


Рисунок 1.2 – Згладжування часового ряду за методом експоненціального згладжування

Контрольні запитання

1. Дайте визначення наступним визначенням: *прогноз, динамічний ряд, рівень динамічного ряду, період упередження*.
2. Які види прогнозів розрізняють за тривалістю періоду упередження ?
3. У чому полягає сутність методу ковзної середньої?
4. Викладіть порядок розрахунків прогнозу методом експоненціального згладжування за лінійною та квадратичною моделями. З яких міркувань обирають константу згладжування ?
5. Яким чином оцінюють похибку та якість вироблених прогнозів ?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТОДАМИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Мета заняття: ознайомлення з математичними методами розробки середньострокових та довгострокових прогнозів техніко-економічних показників транспортних систем методами регресійного аналізу.

Стисла теоретична довідка

Середньострокове та довгострокове прогнозування методом регресійного аналізу зводиться до пошуку деякої математичної залежності

$$\tilde{y} = f(t), \quad (2.1)$$

яка потім використовується для розрахунку прогнозного значення \tilde{y} для наперед заданого періоду упередження τ

$$\tilde{y}_{t_{n+\tau}} = f(t_n + \tau). \quad (2.2)$$

Залежності \tilde{y} від t подаються у вигляді поліномів, комбінацій елементарних функцій, коефіцієнти яких визначаються методом найменших квадратів.

Для апроксимації динамічних рядів найчастіше використовуються наступні функціональні залежності:

$$\begin{array}{lll} \tilde{y} = a + bt; & \tilde{y} = a + bt^2; & \tilde{y} = \frac{1}{ae^t + b} \\ \tilde{y} = \frac{1}{a + bt}; & \tilde{y} = a + bt + ct^2; & \tilde{y} = a \cdot \ln t + b \\ \tilde{y} = \frac{t}{a + bt}; & \tilde{y} = ab^{\frac{1}{t}}; & \tilde{y} = a \cdot \ln t + b \cdot t + c \\ \tilde{y} = \frac{a}{b + t}; & \tilde{y} = at^b; & \tilde{y} = ab^t \end{array}$$

Формальним критерієм вибору найкращого виду тренду є мінімальна величина середньоквадратичної похибки

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \tilde{y}_t)^2}{n-1}}. \quad (2.3)$$

Для *лінійної* залежності виду $\tilde{y} = a + bt$ невідомі коефіцієнти a та b розраховуються за формулами:

$$b = \frac{n \sum_{t=1}^n y_t \cdot t - \sum_{t=1}^n y_t \sum_{t=1}^n t}{n \sum_{t=1}^n t^2 - \left(\sum_{t=1}^n t \right)^2} \quad (2.4)$$

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} - b \cdot \frac{\sum_{t=1}^n t}{n} \quad (2.5)$$

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

Наявні дані про обсяги переробки вантажів на вантажному дворі залізничної станції ($y_i, i = \overline{1,12}$) щомісячно протягом останніх $n = 12$ місяців. Використовуючи методи регресійного аналізу виконати прогноз обсягів переробки вантажів за лінійною функцією прогнозу на наступні три ($\tau = 1, 2, 3$) місяці.

Побудувати графіки вихідного ряду динаміки, регресійної прогновної моделі та обчислити похибку прогнозу. Вихідні дані до виконання завдання по варіантах у вигляді динамічних рядів прийняти за таблицею 1.1 (практичне заняття №1).

Приклад виконання практичного заняття

Розглянемо приклад виконання завдання для таких вихідних даних:

Порядковий номер місяця, t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обсяг переробки вантажів y_t , тис.т.	10,3	14,3	7,7	15,8	14,4	16,7	15,3	20,2	17,1	7,5	15,5	16,5

Розв'язок.

Розрахунок коефіцієнтів лінійної регресійної прогнозної функції та похибки прогнозу зручно виконувати у табличній формі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Розрахунок лінійної прогнозної моделі

Місяці року t	Обсяги переробки вантажів y_t , тис.т.	$y_t \cdot t$	t^2	\tilde{y}_t	$(y_t - \tilde{y}_t)^2$
1	10,3	10,3	1	12,35	4,20
2	14,3	28,6	4	12,7	2,56
3	7,7	23,1	9	13,05	28,62
4	15,8	63,2	16	13,4	5,76
5	14,4	72	25	13,75	0,42
6	16,7	100,2	36	14,1	6,76
7	15,3	107,1	49	14,45	0,72
8	20,2	161,6	64	14,8	29,16
9	17,1	153,9	81	15,15	3,80
10	7,5	75	100	15,5	64,00
11	15,5	170,5	121	15,85	0,12
12	16,5	198	144	16,2	0,09
13	16,55				
14	16,9				
15	17,25				
78	171,3	1163,5	650		146,23

З сум значень у перших чотирьох стовпчиках таблиці 2.1 маємо:

$$\sum_{t=1}^n y_t = 171,3; \quad \sum_{t=1}^n t = 78; \quad \sum_{t=1}^n y_t \cdot t = 1163,5; \quad \sum_{t=1}^n t^2 = 650.$$

Таким чином, коефіцієнти рівняння регресії:

$$b = \frac{12 \cdot 1163,5 - 171,3 \cdot 78}{12 \cdot 650 - 78^2} = 0,35;$$

$$a = \frac{1}{12} (171,3 - 0,35 \cdot 78) = 12,0.$$

Шукане прогнозне лінійне рівняння має вигляд

$$\tilde{y} = 12 + 0,35 \cdot t.$$

Знаходимо похибку прогнозу за формулою (2.3), для чого спочатку розраховуємо значення \tilde{y}_t , підставляючи у прогнозне рівняння відповідні значення t , а далі знаходимо квадрати різниць між фактичними y_t та розрахованими \tilde{y}_t значеннями (останні два стовпчики таблиці 2.1).

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{146,23}{12-1}} = 3,65.$$

Прогнозні значення на періоди $t = 13$, $t = 14$ та $t = 15$ отримаємо, підставивши відповідні значення у прогнозне рівняння:

$$\text{для } t = 13: \quad \tilde{y}_{13} = 12 + 0,35 \cdot 13 = 16,55 \text{ тис. т.};$$

$$\text{для } t = 14: \quad \tilde{y}_{14} = 12 + 0,35 \cdot 14 = 16,9 \text{ тис. т.};$$

$$\text{для } t = 15: \quad \tilde{y}_{15} = 12 + 0,35 \cdot 15 = 17,25 \text{ тис. т.}$$

Будуємо графіки фактичних даних та прогнозової лінійної регресійної моделі (рисунок 2.1).

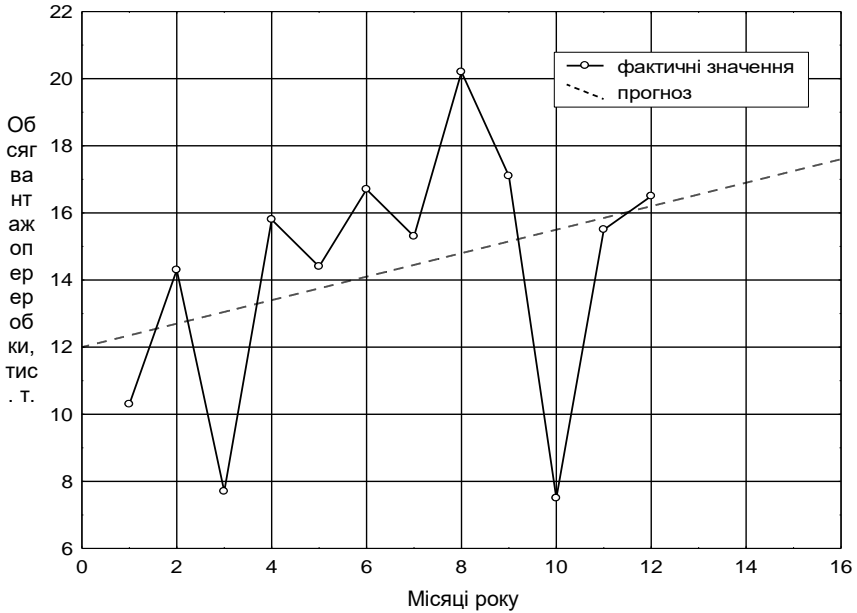


Рисунок 2.1 – Згладжування часового ряду лінійною прогновною моделлю

Контрольні запитання

1. Для яких видів прогнозу з точки зору періоду упередження застосовують методи регресійного аналізу ?
2. Укажіть основні види математичних залежностей, що використовуються для апроксимації динамічних рядів.
3. Як розраховуються коефіцієнти рівняння лінійної регресії за даними динамічного ряду ?
4. Як оцінюють якість прогнозів, отриманих за допомогою регресійних моделей ?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

МАРШРУТИЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАРТІОННИХ ВАНТАЖІВ

Мета заняття: ознайомлення з постановкою задачі оперативного планування та маршрутизації партійних перевезень евристичним методом «функцій виграшу» (Кларка-Райта).

Стисла теоретична довідка

До *партійних* перевезень відносять такі, за яких перевезень автомобіль протягом одної їздки виконує доставку вантажів відразу декільком одержувачам (або збирає вантаж від декількох відправників на адресу одного одержувача, або водночас розвозить і збирає вантаж). Така, наприклад, технологія перевезень більшості вантажів торгівлі, пошти, деяких промислових виробів з баз постачання.

Один з методів, що використовується для рішення задач розвезення з одним відправником є метод Кларка-Райта. Він відноситься до евристичних (наближених) методів та його ідея побудована на понятті «виграшу» (вигоди) від об'єднання маршруту, що закінчується останньою їздкою в i -му пункті з маршрутом, що розпочинається першою їздкою в j -му пункті (рис. 7.1).

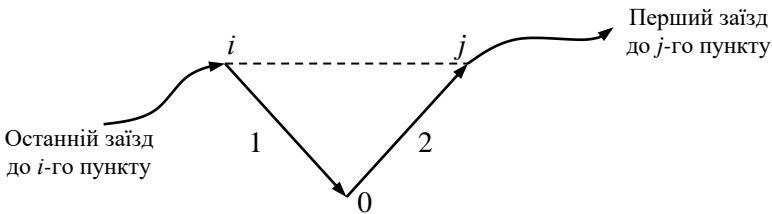


Рисунок 3.1 – Схема об'єднання маршрутів

Очевидно, якщо об'єднати ці маршрути ланкою (i, j) , то «виграш» від цього об'єднання буде дорівнювати

$$f_{ij} = l_{i,0} + l_{0,j} - l_{ij}, \quad (3.1)$$

де $l_{i,0}$ – відстань від i -го пункту до пункту-відправника вантажу;
 $l_{0,j}$ – відстань від пункту-відправника вантажу до j -го пункту;
 l_{ij} – відстань між пунктами (i, j) .

«Виграш» досягається за рахунок того, що введення ланки (i, j) виключає необхідність використовувати ланки $(i, 0)$ для замикання першого маршруту і $(0, j)$ для початку другого. Звідси випливає логічний крок до розв'язання всієї задачі: *якщо є деякі початкові маршрути, то їх можна «укрупнювати», об'єднуючи у відповідності з величиною виграшу*. Якщо, в першу чергу, використати найбільше значення виграшів для всіх можливих об'єднань, то інтуїтивно можна сподіватись на отримання непоганого розв'язку. Розв'язок закінчується тоді, коли подальше об'єднання маршрутів буде неможливим. Це може бути у двох випадках:

– не залишається жодного позитивного значення «виграшу» – об'єднання маршрутів є не вигідним;

– для виконання об'єданого маршруту не знаходиться автомобіля необхідної вантажомісткості.

Формально постановка задачі виглядає наступним чином. Потрібно доставити вантаж від одного відправника 0 до n одержувачів, причому кожному j -му одержувачу ($j=1, 2, \dots, n$) у кількості q_j одиниць. Для перевезень виділено m автомобілів, з яких кожен k -й автомобіль має вантажомісткість P_k , а нумерація автомобілів виконана так, що справедливі відношення

$$P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_m.$$

Задачу зручно розв'язувати табличним способом у такій послідовності.

1. Для заданої транспортної мережі будується матриця найкоротших відстаней.

2. Для всіх пар пунктів (i, j) за формулою (7.1) визначаються значення «функцій виграшу» f_{ij} і подаються у вигляді матриці виграшів.

3. Формується початкова розрахункова таблиця (таблиця 7.1). В таблиці відображують:

– в гр. 1 – порядковий номер маршруту ($M=1, 2, \dots, n$);

– в гр. 2 – схему маршруту. Спочатку це будуть маятникові маршрути між початковим пунктом 0 і кожним одержувачем $(0-B_1-0, 0-B_2-0, \dots, 0-B_n-0)$.

– в гр. 3 – «завантаження» маршруту, тобто кількість вантажу, що перевозиться на маршруті, який починається в j -му пункті. Спочатку для всіх маятникових маршрутів $b_{0j} = q_j$;

– в гр. 4 проставляється найменший номер автомобіля з вантажомісткістю, достатньою для виконання маршруту (спочатку $k = 1$ для всіх маршрутів);

– в наступних $4 + (1, 2, \dots, m)$ графах проставляється умовна оцінка використання k -го автомобіля. Оцінка „використання автомобіля” установлюється з умови забезпечення кожного маршруту окремою одиницею рухомого складу. Тоді для першого за порядком автомобіля ця оцінка буде дорівнювати $\alpha = m - n$. Від’ємне значення величини α по суті буде означати неможливість обслуговування прийнятої системи маршрутів. Інші типи автомобілів будуть включатися до роботи послідовно за потребою, виходячи з умови (5.48), яка характеризує сумарний обсяг вантажу, що перевозиться на прийнятому маршруті. Тому для цих автомобілів ($k=2, 3, \dots, m$) у відповідних графах розрахункової таблиці проставляється **одиниця**, яка фіксує факт незайнятості k -го типу автомобіля на деякому етапі розрахунків.

Таблиця 3.1 – Форма розрахункової таблиці

Номер маршруту	Схема маршруту	Завантаження маршруту	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів			
				1	2	...	m
1	2	3	4	5	6	...	$4+m$
1	$0-1-0$	q_1	1				
2	$0-2-0$	q_2	1	α	1	...	1
...				
n	$0-n-0$	q_n	1				

4. З матриці виграшів вибираємо пару пунктів (i_0, j_0) з максимальним значенням «функції виграшу» f_{ij} і перевіряємо її на допустимість введення до розв’язку. При цьому виходять з таких умов. Пункти i та j в об’єднаному маршруті повинні бути суміжними, тобто

належати одному і тому же маршруту (одній лінії). Якщо у вибраній парі один з пунктів є *внутрішнім* в прийнятому маршруті, то у подальшому при пошуку нових варіантів об'єднань такий пункт не розглядається, а вибрана на цьому етапі пара (i_0, j_0) до розв'язку не включається і вважається переглянutoю.

У вибраній для розгляду парі пункт i_0 визначає *номер маятникового маршруту*, який приймається для об'єднання. Номер пункту (за виключенням початкового і кінцевого, позначених 0) вибраного маятникового маршруту включається до шуканого кільцевого маршруту. Новий пункт приєднується або до першого (за виключенням початкового з позначкою 0), або до останнього (за виключенням кінцевого з позначкою 0) пунктів утвореного на попередніх етапах фрагменту кільцевого маршруту.

Якщо номери i_0 та j_0 вибраної пари вже присутні в раніше утвореному на попередньому етапі маршруті, то така пара до розв'язку не включається і вважається переглянutoю.

5. Введення пари (i_0, j_0) до розв'язку призводить до утворення нового маршруту, за яким необхідно перевезти $Q = \sum_m q_i$ одиниць вантажу. Якщо $Q > P_m$, то маршрут заздалегідь не може бути виконаний і пара (i_0, j_0) не повинна бути включена до розв'язку. У цьому випадку необхідно згенерувати нову пару. При $Q \leq P_m$ продовжується перевірка для вибору автомобіля, здатного виконати заново утворений маршрут. Очевидно це повинен бути автомобіль вантажомісткості, не менше ніж P_k^* , яка визначається з умови

$$P_k^* = \min_k P_k \quad \text{для } k = k_2, k_2+1, \dots, m \text{ і } P_k > Q,$$

тобто вибирається автомобіль мінімальної вантажомісткості, здатний виконати знову утворений маршрут.

6. Фіксування знову утвореної системи маршрутів. В гр. 1 розрахункової таблиці виконується перенумерація маршрутів. В гр. 2, 3, 4 фіксуються: схеми нової системи маршрутів; зміна завантаження маршрутів і зміна в нумерації типів автомобілів на маршрутах. В гр. 5 величина α зменшується на одиницю, в інших графах по мірі введення автомобіля до роботи на маршруті значення оцінки 1 замінюється на 0.

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

Вантаж від одного ($m = 1$) відправника θ доставляється восьми ($n = 8$) одержувачам (1–8) у кількості відповідно q_j ($j = 1, 2, \dots, n$) вантажних одиниць. Для перевезень використовуються автомобілі двох типів – вантажомісткістю P_1 та P_2 вантажних одиниць. Задана матриця найкоротших відстаней між пунктами транспортної мережі $L = \|l_{ij}\|$. Методом Кларка-Райта побудувати раціональні маршрути розвезення вантажів. Вихідні дані по варіантах прийняти з таблиці 3.2 та рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 3

Вар.	m	n	P_1	P_2	Обсяги заводу вантажів одержувачам, в.о.							
					1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	16	18	2	5	4	1	6	3	7	6
2	2	5	16	30	4	5	4	7	7	6	9	4
3	3	4	11	20	8	3	1	5	2	6	4	2
4	4	1	15	24	5	4	1	7	8	2	8	4
5	5	2	14	17	4	7	1	3	1	6	4	5
6	2	1	20	30	9	5	9	6	8	4	6	3
7	5	5	12	15	5	5	1	2	4	2	1	7
8	4	3	20	29	1	8	6	7	6	8	7	6
9	1	1	20	25	7	9	8	6	1	2	3	9
10	6	3	18	21	2	2	7	4	2	9	7	6
11	5	1	14	16	9	4	3	2	6	2	1	3
12	3	1	18	23	4	6	1	3	8	8	6	5
13	6	1	14	20	2	2	5	6	2	8	8	1
14	3	5	14	17	5	4	6	3	1	9	1	2
15	2	2	16	19	5	4	6	2	3	1	7	7
16	4	6	20	28	9	5	4	8	6	2	5	9
17	3	2	14	20	6	3	6	8	1	2	2	6
18	3	6	16	25	6	8	8	7	5	2	1	4
19	1	3	20	24	4	9	5	6	1	9	8	2
20	4	4	14	19	1	3	2	3	7	6	7	4
21	1	6	18	22	7	3	2	2	8	3	6	9
22	2	3	15	21	1	9	5	6	7	5	1	2
23	5	3	20	22	8	5	1	4	3	7	9	5
24	4	2	12	15	2	2	6	3	8	1	2	3
25	1	4	18	21	5	1	4	8	4	5	3	9

Продовження таблиці 3.2.

Вар.	m	n	P_1	P_2	Обсяги заводу вантажів одержувачам, в.о.							
					1	2	3	4	5	6	7	8
26	2	4	15	20	7	1	9	5	8	2	2	1
27	3	3	15	20	4	9	3	2	1	3	8	5
28	1	5	14	20	5	8	7	4	1	5	2	2
29	5	4	20	25	5	9	7	4	7	8	2	3
30	4	5	14	18	2	4	5	2	7	8	3	1

		0											
0		1											
1	$2n+5$	2											
2	14	3	3										
3	12	4	1	4									
4	$2m+5$	6	3	5	5								
5	15	8	5	7	2	6							
6	16	9	6	8	n	1	7						
7	$3n+1$	10	9	8	7	5	4	8					
8	14	5	4	$m+1$	7	7	9	$m+n$					

Рисунок 3.2 – Матриця найкоротших відстаней між пунктами

Приклад виконання завдання

Вантаж від одного ($m=1$) відправника 0 доставляється восьми ($n=8$) одержувачам в кількості відповідно $q_1=2, q_2=5, q_4=3, q_3=7, q_5=4, q_6=8, q_7=3, q_8=1$ вантажних одиниць. Для перевезень використовуються автомобілі двох типів – вантажомісткістю $P_1=15, P_2=20$ вантажних одиниць. Матриця найкоротших відстаней між пунктами транспортної мережі $L = \|l_{ij}\|$ задана в таблиці 3.3.

Необхідно методом Кларка-Райта побудувати раціональні маршрути розвезення вантажів для цих автомобілів. Зауважимо, що задана матриця найкоротших відстаней є несиметричною, тобто $l_{ij} \neq l_{ji}$.

Таблиця 3.3 – Матриця найкоротших відстаней між пунктами

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		10	7	9	4	2	4	3	8
1	7		3	5	6	8	11	10	5
2	4	3		2	3	5	8	7	5
3	2	4	1		4	4	6	5	3
4	4	6	3	5		2	8	7	8
5	2	8	5	7	2		6	5	10
6	4	9	6	8	3	1		4	9
7	3	10	9	8	7	5	4		5
8	5	5	4	3	7	7	9	6	

Розв'язок.

1. Розраховуємо значення «виграшів» для всіх елементів матриці за формулою $f_{ij} = l_{i0} + l_{0j} - l_{ij}$. Результати розрахунку матриці виграшів наведені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Матриця виграшів

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		11	11	5	1	0	0	10
2	11		11	5	1	0	0	7
3	8	8		2	0	0	0	7
4	8	8	8		4	0	0	4
5	4	4	4	4		0	0	0
6	5	5	5	5	5		3	3
7	3	5	4	0	0	3		6
8	10	8	11	2	0	0	2	

2. Будуємо початкову систему (таблиця 3.5) маятникових маршрутів, на кожному з яких передбачається обслуговування одного споживача. Таким чином, маємо $n = 8$ маятникових маршрутів. На кожний такий маршрут призначається автомобіль мінімально необхідної вантажомісткості. Необхідна кількість автомобілів обраної вантажомісткості для виконання перевезень на даних маршрутах складає

$$A_1^n = m - n = 2 - 8 = -6.$$

Таблиця 3.5 – Початкова система маятникових маршрутів

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–1–0	2	1	– 6	1
2	0–2–0	5	1		
3	0–3–0	7	1		
4	0–4–0	3	1		
5	0–5–0	4	1		
6	0–6–0	8	1		
7	0–7–0	3	1		
8	0–8–0	1	1		

Наявність від’ємного числа (–6) у стовпчику 5 свідчить про неприпустимість даної системи маршрутів, тобто наявної кількості автомобілів недостатньо для забезпечення перевезень на маршрутах.

3. Для подальшого об’єднання маршрутів вибираємо пару пунктів (i, j) з максимальним значенням виграшу. Такою парою є пара $(2, 1)$ з виграшем $f_{21} = 11$.

За початковий у новому маршруті приймається маршрут, у якому є пункт, що відповідає **номеру першого з пунктів обраної пари**, тобто $i = 2$. Таким маршрутом є маршрут $0 - 2 - 0$. Цей маршрут об’єднується з маршрутом, у якому є пункт, що відповідає **номеру другого пункту обраної пари**, тобто $j = 1$. Таким маршрутом є маршрут $0 - 1 - 0$. Таким чином, об’єднуємо два маятникових маршрути $0 - 1 - 0$ та $0 - 2 - 0$ у один кільцевий маршрут $0 - 2 - 1 - 0$ та фіксуємо його у новій таблиці. Для отриманого об’єднаного маршруту сумарна кількість вантажу, який перевозиться, складає $2 + 5 = 7$ одиниць. Це не перевищує вантажомісткості автомобіля першого типу.

Об’єднання маршрутів приводить до підвищення ступені їх „використання”, яке виражається у зменшенні числа необхідних для виконання перевезень автомобілів. Це можна врахувати додаванням до від’ємного числа в стовпчику 5 одиниці або обчислити за виразом $\alpha = t - n$, тобто кількість автомобілів, необхідна для освоєння системи маршрутів дорівнює $A_1^m = -6 + 1 = -5$ або $A_2^m = 2 - 7 = -5$.

Отриманий стан системи маршрутів фіксуємо в таблиці 3.6. Пара $(2, 1)$ з подальшого розгляду виключається.

Таблиця 3.6 – Система маршрутів після першого об'єднання

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–2–1–0	7	1	–5	1
3	0–3–0	7	1		
4	0–4–0	3	1		
5	0–5–0	4	1		
6	0–6–0	8	1		
7	0–7–0	3	1		
8	0–8–0	1	1		

4. Наступною парою у відповідності з максимальним виграшем вибирається пара (1,2) з $f_{12} = 11$. Однак, пункти 1 та 2 уже належить одному і тому ж маршруту №1 (таблиця 3.6). Тому ця пара до подальшого розгляду не приймається і виключається з числа не переглянутих.

5. Вибираємо пару (1,3) з $f_{13} = 11$. Діючи за вищеописаними правилами, об'єднуємо маршрут №1 (0–2–1–0) і №3 (0–3–0). У результаті отримуємо маршрут (0–2–1–3–0), на якому необхідно перевезти $7+7=14$ одиниць вантажу автомобілем першого типу. Отримуємо нову систему маршрутів (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 – Система маршрутів після другого об'єднання

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–2–1–3–0	14	1	–4	1
4	0–4–0	3	1		
5	0–5–0	4	1		
6	0–6–0	8	1		
7	0–7–0	3	1		
8	0–8–0	1	1		

6. Розглядаємо пару (2,3) з $f_{23} = 11$. Вона не вводиться до розв'язку, оскільки пункти 2 і 3 уже входять до одного й того ж маршруту №1 (таблиця 7.7).

7. Вибираємо пару (8,3). Згідно зі значенням $i=8$ та $j=3$ встановлюємо (таблиця 3.7), що можна об'єднати маршрут № 1 (0–2–1–3–0) і маршрут № 8 (0–8–0). Після об'єднання отримаємо розвізний маршрут 0–2–1–3–8–0 з обсягом перевезень $14+1=15$ вантажних одиниць, який фіксуємо в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Система маршрутів після третього об'єднання

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–2–1–3–8–0	15	1	–3	1
4	0–4–0	3	1		
5	0–5–0	4	1		
6	0–6–0	8	1		
7	0–7–0	3	1		

8. Послідовно розглядаємо пари (8,1) та (1,8) і доходимо висновку, що вони не можуть бути включені до розв'язку, бо пункти 1 і 8 уже входять в один і той же маршрут № 1 (таблиця 3.8).

9. Наступною розглядається пара (4,2) з виграшем $f_{42} = 8$ кілометрів. Ця пара вводиться в розв'язок і дозволяє об'єднати (таблиця 3.8) маршрути №1 і №4. При такому об'єднанні для виконання маршруту 0–2–1–3–8–4–0 необхідно використати автомобіль типу 2, так як обсяг перевезень на маршруті складає $15+3=18$ одиниць.

На даному етапі розрахунків до роботи на знову утвореному маршруті включається автомобіль типу 2, решта маршрутів як і раніше обслуговується автомобілем типу 1. Заміна оцінки „використання автомобіля” в стовпчиках 5 і 6 нової таблиці здійснюється таким чином: для автомобіля типу 1 – до від'ємної оцінки додається одиниця; для автомобіля типу 2 – від позитивної оцінки віднімається одиниця. Утворений новий маршрут фіксуємо в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Система маршрутів після четвертого об'єднання

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–2–1–3–8–4–0	18	2	–2	0
5	0–5–0	4	1		
6	0–6–0	8	1		
7	0–7–0	3	1		

10. З матриці вигравшів вибираємо пару (6,5), що приводить до об'єднання маршрутів №5 і №6 (таблиця 3.9). Отриману систему маршрутів фіксуємо в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Система маршрутів після п'ятого об'єднання

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0–2–1–3–8–4–0	18	2	–1	0
2	0–6–5–0	12	1		
7	0–7–0	3	1		

11. Вибрана у подальшому пара (5,4) з $f_{54} = 4$ кілометрів не може бути включена до розв'язку з двох причин: по-перше, серед маятникових маршрутів в таблиці 7.10 немає таких, що включають пункти, зазначені у цієї пари; по-друге – об'єднання маршрутів №1 і №2, де є такі пункти, в маршрут 0–2–1–3–8–4–5–6–0 неможливе, так як обсяг перевезень на ньому перевищує максимальну вантажомісткість наявних типів автомобілів ($18+12=30>20$).

12. До розв'язку вводиться пара (7,6) з $f_{76} = 3$ одиниці. Цією парою можна об'єднати маршрути №2 і №8, що зафіксовано в таблиці 3.11.

На цьому розрахунки закінчуються, оскільки більше немає можливості об'єднати маршрути. Загальний пробіг автомобілів складає:

- система маятникових маршрутів – 76 км;
 - система об'єднаних розвізних маршрутів – 33 км.
- Скорочення пробігу складає $76-33=43$ км.

Таблиця 3.11 – Остаточна система маршрутів

Номер маршруту	Схема маршруту	Кількість вантажу на маршруті	Номер автомобіля на маршруті	Використання автомобілів	
				1	2
1	0-2-1-3-8-4-0	18	2	0	0
2	0-7-6-5-0	15	1		

Контрольні запитання

1. Дайте визначення і умови виконання партійних перевезень ?
2. Яким є критерії оптимальності при організації збірних, розвізних та збірно-розвізних маршрутів ?
3. У чому полягає сутність евристичних методів планування перевезень ?
4. Дайте математичну постановку задачі розвезення з одним відправником. Які вихідні дані повинні бути задані для її рішення ?
- 5 Поясніть, що таке виграш при об'єднанні маршрутів? Дайте його графічну ілюстрацію.
- 6 Що таке матриця виграшів та як вона складається ?
- 7 За яких умов об'єднання декількох маршрутів в один є можливим ?
- 8 Викладіть один крок методу Кларка-Райта. Яким чином коригується розрахункова таблиця методу на кожному кроці розрахунків ?
9. Якими є умови завершення розрахунків за методом Кларка-Райта?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета заняття: ознайомлення з методикою визначення характеру та ступеню впливу експлуатаційних факторів на продуктивність автомобіля для простого циклу перевезень.

Стисла теоретична довідка

Продуктивність автомобіля на практиці прийнято оцінювати його виробкою в тоннах та тонно-кілометрах за годину (зміну) роботи.

Годинна продуктивність автомобіля в тоннах за годину визначається за формулою

$$P_{\Gamma} = \frac{q\gamma_c\delta}{\frac{l_{\text{вї}}}{v_{\Gamma}\beta} + t_{\text{нр}}}, \quad (4.1)$$

де q – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т;
 γ_c – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності автомобіля;
 δ – коефіцієнт, що враховує використання часу перебування автомобіля в наряді для роботи безпосередньо на маршруті;
 $l_{\text{вї}}$ – довжина вантажної їздки, км;
 v_{Γ} – технічна швидкість руху автомобіля, км/год.;
 β – коефіцієнт використання пробігу;
 $t_{\text{нр}}$ – тривалість виконання навантажувально-розвантажувальних робіт за одну їздку, год.

Коефіцієнт δ розраховується за формулою

$$\delta = \frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{н}}} = \frac{T_{\text{н}} - t_{\text{н}}}{T_{\text{н}}} = 1 - \frac{l_{\text{н}}}{v_{\Gamma}T_{\text{н}}}, \quad (4.2)$$

де T_m – тривалість роботи автомобіля на маршрутах, год.;
 T_n – час перебування автомобіля в наряді, год.;
 l_n – сумарна довжина нульових пробігів, км.

Годинна продуктивність автомобіля в тонно-кілометрах за годину визначається за формулою

$$W_r = \frac{q\gamma_d\delta}{\frac{1}{v_r\beta} + \frac{t_{np}}{l_{вї}}}, \quad (4.3)$$

де γ_d – коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності автомобіля.

З співвідношення $W_r = P_r \cdot l_{вї}$ витікає, що всі фактори, за виключенням відстані перевезень, впливають на виробіток автомобіля у тоннах та тонно-кілометрах однаково. Тому у більшості випадків можна обмежитись аналізом годинної продуктивності автомобіля в тоннах.

Прийнявши аналізований фактор змінним, а інші – незмінними, шляхом нескладних перетворень можна отримати формули залежності годинної продуктивності автомобіля та її відносної зміни для кожного фактора (таблиця 4.1).

Залежності продуктивності автомобіля від експлуатаційних факторів мають здебільшого лінійний

$$y = a + bx, \quad (4.4)$$

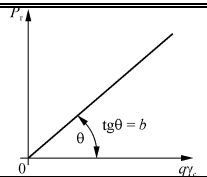
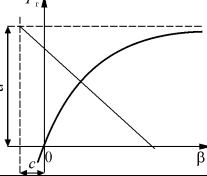
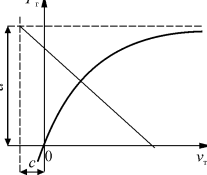
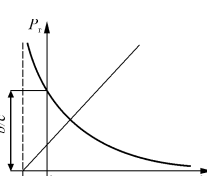
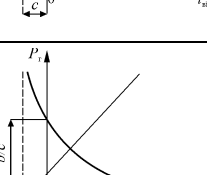
та дробово-лінійний

$$y = \frac{ax + b}{x + c} \quad (4.5)$$

характер. Графіком лінійної залежності є пряма, графіком будь-якої дробово-лінійної залежності є рівнобічна гіпербола.

Проаналізувати взаємопов'язаний вплив експлуатаційних факторів на продуктивність автомобіля можна шляхом побудови характеристичних суміщених графіків.

Таблиця 4.1 – Залежність продуктивності автомобіля від експлуатаційних факторів

Експлуатаційний фактор та формула продуктивності	Значення коефіцієнтів	Характер залежності
1. Вантажопідйомність автомобіля та ступінь її використання $q\gamma_c = x$ $P_\Gamma = b \cdot x$	$b = \frac{v_\Gamma \beta}{l_{\text{ві}} + v_\Gamma \beta t_{\text{нр}}}$	
2. Коефіцієнт використання пробігу $\beta = x$ $P_\Gamma = \frac{a \cdot x}{x + c}$	$a = \frac{q\gamma_c}{t_{\text{нр}}}$ $c = \frac{l_{\text{ві}}}{v_\Gamma t_{\text{нр}}}$	
3. Технічна швидкість руху $v_\Gamma = x$ $P_\Gamma = \frac{a \cdot x}{x + c}$	$a = \frac{q\gamma_c}{t_{\text{нр}}}$ $c = \frac{l_{\text{ві}}}{\beta t_{\text{нр}}}$	
4. Довжина вантажної їздки $l_{\text{ві}} = x$ $P_\Gamma = \frac{b}{x + c}$ $W_\Gamma = \frac{a' \cdot x}{x + c'}$ (графіки 2, 3)	$b = v_\Gamma \beta q\gamma_c$ $c = v_\Gamma \beta t_{\text{нр}}$ $a' = v_\Gamma \beta q\gamma_d$ $c' = v_\Gamma \beta t_{\text{нр}}$	
5. Тривалість простою під вантажними операціями за їздки $t_{\text{нр}} = x$ $P_\Gamma = \frac{b}{x + c}$	$b = q\gamma_c$ $c = \frac{l_{\text{ві}}}{v_\Gamma \beta}$	

При аналізі впливу експлуатаційних факторів на продуктивність автомобіля в умовах простого циклу перевезень слід враховувати наступні залежності: $l_{ві} = l_{в} = l$; $\gamma_c = \gamma_d = \gamma$.

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

По заданих значеннях експлуатаційних факторів роботи автомобіля в умовах простого циклу перевезень визначити годинну продуктивність автомобіля в тоннах та тонно-кілометрах.

Побудувати характеристичні суміщені графіки зміни годинної продуктивності автомобіля в тоннах при зміні експлуатаційних показників в межах $\pm 50\%$ від заданих.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 4

Варіант	Значення експлуатаційних показників по варіантах				
	$q\gamma_c, \text{ Т}$	β	$v_T, \text{ км/год.}$	$l_{ві}, \text{ км}$	$t_{нр}, \text{ год.}$
1	6.9	0,50	15	23	0,75
2	4.5	0,55	20	12	0,35
3	7.0	0,60	29	26	1,28
4	10.8	0,65	27	30	1,35
5	8.3	0,70	26	58	0,18
6	19.6	0,75	29	45	0,43
7	14.7	0,80	15	11	0,33
8	4.3	0,85	20	52	0,63
9	5.8	0,9	21	22	0,48
10	8.2	0,95	19	19	0,28
11	4.1	1,0	21	42	1,42
12	8.0	0,50	15	58	0,97
13	5.5	0,55	15	38	0,98
14	12.3	0,60	25	32	0,63
15	16.4	0,65	25	56	0,97
16	4.3	0,70	27	28	0,88
17	19.5	0,75	19	55	1,27
18	13.7	0,80	17	23	0,23
19	2.8	0,85	26	35	1,45
20	7.3	0,9	28	12	0,37
21	8.4	0,95	25	23	1,50
22	9.1	1,0	22	21	1,00
23	8.6	0,50	15	11	0,65
24	4.6	0,55	16	54	1,02
25	14.6	0,60	21	35	0,73

Продовження таблиці 4.2

Варіант	Значення експлуатаційних показників по варіантах				
	$q\gamma_c$, т	β	v_T , км/год.	$l_{ві}$, км	$t_{пр}$, год.
26	17.6	0,65	22	6	0,92
27	11.8	0,70	23	28	0,65
28	6.2	0,75	18	50	0,87
29	15.9	0,80	22	5	0,47
30	10.2	0,85	18	58	0,73

Приклад виконання практичної роботи

Розглянемо приклад виконання завдання для таких вихідних даних:

$q\gamma_c$, т	β	v_T , км/год.	$l_{ві}$, км	$t_{пр}$, год.
8,0	0,6	22,5	12,0	0,5

Розв'язок.

Покладаючи $\delta = 1,0$ за формулами (4.1) та (4.3) розраховуємо продуктивність автомобіля за заданих значеннях експлуатаційних факторів:

$$P_T = \frac{8,0 \cdot 1,0}{\frac{12,0}{22,5 \cdot 0,6} + 0,5} = 5,76 \text{ т/год.};$$

$$W_T = \frac{8,0 \cdot 1,0}{\frac{1}{22,5 \cdot 0,6} + \frac{0,5}{12,0}} = 69,12 \text{ ткм/год.}$$

Для побудови характеристичного суміщеного графіка визначимо постійні коефіцієнти у формулах впливу кожного з експлуатаційних факторів на продуктивність автомобіля (таблиця 4.3).

При побудові характеристичного суміщеного графіка задаємось довільним масштабом для продуктивності, а окремі експлуатаційні фактори змінюємо в інтервалах $\pm 50\%$ від заданих.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для побудови характеристичного суміщеного графіка

Експлуатаційний фактор	Значення коефіцієнтів	Формула залежності
1. Вантажопідйомність автомобіля та ступінь її використання $q\gamma_c = x$	$b = \frac{22,5 \cdot 0,6}{12,0 + 22,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5} = 0,72$	$P_r = 0,72 \cdot x$
2. Коефіцієнт використання пробігу $\beta = x$	$a = \frac{8,0}{0,5} = 16,0$ $c = \frac{12,0}{22,5 \cdot 0,5} = 1,07$	$P_r = \frac{16x}{x + 1,07}$
3. Технічна швидкість руху $v_r = x$	$a = \frac{8,0}{0,5} = 16,0$ $c = \frac{12,0}{0,6 \cdot 0,5} = 40,0$	$P_r = \frac{16x}{x + 40}$
4. Довжина вантажної їздки $l_{вї} = x$	$b = 22,5 \cdot 0,6 \cdot 8 = 108$ $c = 22,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 6,75$	$P_r = \frac{108}{x + 6,75}$
5. Тривалість простою під вантажними операціями за їздку $t_{пр} = x$	$b = 8,0$ $c = \frac{12,0}{22,5 \cdot 0,6} = 0,91$	$P_r = \frac{8}{x + 0,91}$

Характеристичний суміщений графік зображений на рисунку 4.1. Відзначимо деякі його властивості:

- всі графіки перетинаються у одній точці, ордината якої відповідає фактичній продуктивності автомобіля при заданих значеннях експлуатаційних факторів (у нашому випадку $P_r = 5,76$ т/год.);

- вплив на продуктивність автомобіля коефіцієнту використання пробігу β та технічної швидкості руху v_r носить

однаковий характер та зображується на графіку співпадаючими рівнобічними гіперболами.

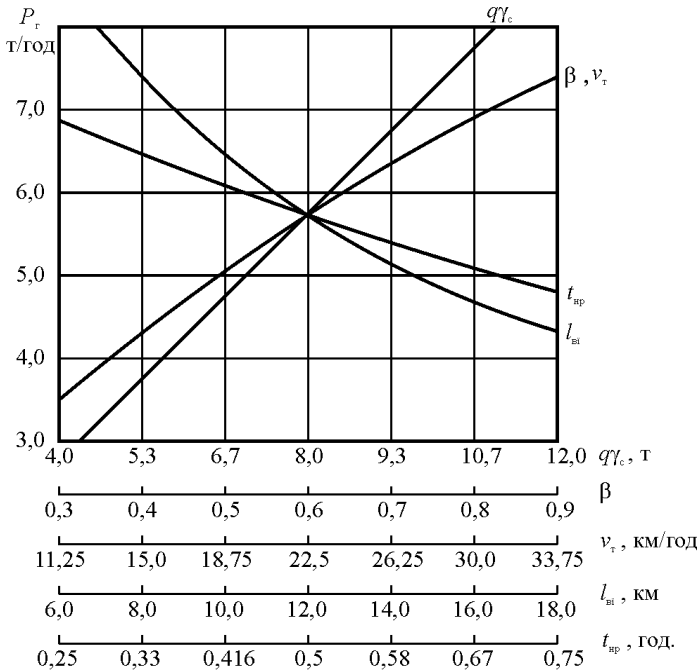


Рисунок 4.1 – Характеристичний графік залежності продуктивності автомобіля від експлуатаційних факторів

Контрольні запитання

1. Дайте визначення продуктивності автомобіля. Якими одиницями вимірюють продуктивність рухомого складу ?
2. Від яких експлуатаційних факторів залежить продуктивність автомобіля ?
3. Наведіть формули розрахунку продуктивності автомобіля у тоннах та тонно-кілометрах.
4. Який характер носить вплив окремих експлуатаційних факторів на продуктивність автомобіля ?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПАРКУ ВАНТАЖНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета заняття: ознайомлення з системою показників, що характеризують роботу парку рухомого складу та методикою їх розрахунку.

Стисла теоретична довідка

Парком рухомого складу називається група транспортних засобів, об'єднаних організаційно чи виконанням загальної задачі.

Основні показники, що визначають транспортну роботу, що виконується парком автомобілів поділяють на дві групи:

- показники чисельності рухомого складу та часу його перебування на підприємстві для роботи на лінії;
- показники продуктивності рухомого складу, що характеризують середню годинну виробку у тонах та тонно-кілометрах.

При розрахунку та аналізі роботи парку рухомого складу користуються середніми значеннями показників.

Транспортна робота парку рухомого складу у **тонах** визначається за формулою

$$P = \left(\sum_{j=1}^m n_{ij} q_j \gamma_{cj} \right) = n_i \bar{q}_i \bar{\gamma}_c, \quad (5.1)$$

де n_{ij} – кількість їздок, виконаних автомобілями однакової вантажопідйомності q_j ;

γ_{cj} – статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля за їздки

n_i – загальна кількість їздок, виконаних автомобілями парку;

\bar{q}_i – середня вантажопідйомність автомобіля парку, т.

$\bar{\gamma}_c$ – середнє значення статичного коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів парку.

Середня вантажопідйомність автомобілів парку для розрахунку обсягу перевезень у **тонах** визначається кількістю їздок, виконаних автомобілями різної вантажопідйомності

$$\bar{q}_i = \frac{\sum_{j=1}^m n_{ij} q_j}{n_i}. \quad (5.2)$$

Транспортна робота парку рухомого складу у **тонно-кілометрах** визначається за формулою

$$W = \left(\sum_{j=1}^m n_{ij} q_j l_{ві} \gamma_d \right) = n_i \bar{q}_{пв} \bar{\gamma}_d \bar{l}_{ві}, \quad (5.3)$$

де $\bar{l}_{ві}$ – середнє значення довжини вантажної їздки автомобілів парку, км;

$\bar{\gamma}_d$ – середній коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності автомобіля парку;

$\bar{q}_{пв}$ – середня вантажопідйомність автомобілів парку для розрахунку обсягу перевезень у тонно-кілометрах, т.

Середня вантажопідйомність автомобілів парку для розрахунку обсягу перевезень у **тонно-кілометрах** визначається за формулою

$$\bar{q}_{пв} = \frac{\sum_{j=1}^m n_{ij} q_j l_{віj}}{\sum_{j=1}^m n_{ij} l_{віj}} = \frac{\sum_{j=1}^m q_j L_{вj}}{\sum_{j=1}^m L_{вj}}, \quad (5.4)$$

де L_{bj} – пробіг з вантажем автомобілів j -ї групи однакової вантажопідйомності, км.

Середні значення коефіцієнтів використання вантажопідйомності розраховуються за формулами

$$\bar{\gamma}_c = \frac{P}{\sum_{j=1}^m n_{ij} q_j} = \frac{P}{n_i \bar{q}_i}; \quad (5.5)$$

$$\bar{\gamma}_d = \frac{W}{\sum_{j=1}^m q_j L_{bj}} = \frac{P \bar{l}_b}{n_i \bar{q}_{пв} \bar{l}_{ві}}, \quad (5.6)$$

де \bar{l}_b – середня відстань перевезення тони вантажу, км.

Середня відстань вантажного пробігу автомобілів за одну їздку визначається за формулою

$$\bar{l}_{ві} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{bj}}{n_i}. \quad (5.7)$$

Середня відстань перевезення тони вантажу визначається за формулою

$$\bar{l}_b = \frac{W}{P}. \quad (5.8)$$

Зміст самостійної роботи та вихідні дані до її виконання

Парк автомобілів вантажного автотранспортного підприємства складається з автомобілів двох груп вантажопідйомністю q_1 та q_2 тонн. Автомобілі першої групи виконали за добу n_1 їздок за

маятниковими маршрутами зі зворотним порожнім пробігом на відстань $l_{\text{в}1}$ км з коефіцієнтом статичного використання вантажопідйомності γ_{c1} , автомобілі другої групи – n_2 їздок за маятниковими маршрутами зі зворотним порожнім пробігом на відстань $l_{\text{в}2}$ км з коефіцієнтом статичного використання вантажопідйомності γ_{c2} . Для парку автомобілів розрахувати:

- обсяг виконаної роботи у тоннах та тонно-кілометрах;
- середню відстань вантажного пробігу за їздки;
- середню відстань перевезення тонни вантажу;
- середню вантажопідйомність автомобілів парку для розрахунку обсягу перевезень у тоннах і тонно-кілометрах;
- середні значення коефіцієнту статичного та динамічного використання вантажопідйомності автомобілів.

Вихідні дані до виконання завдання по варіантах наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до виконання самостійної роботи 5

Вар.	q_1 , Т	n_1	$l_{\text{в}1}$, км	γ_{c1}	q_2 , Т	n_2	$l_{\text{в}2}$, км	γ_{c2}
1	4,5	8	23	0,60	6,0	15	13	0,91
2	4,5	23	7	0,51	8,0	14	10	0,62
3	4,5	10	19	0,77	10,0	9	13	0,54
4	4,5	16	3	0,72	12,0	25	14	0,76
5	4,5	24	3	0,90	14,5	21	17	0,86
6	4,5	24	13	0,89	20,0	7	5	0,72
7	6,0	12	23	0,59	8,0	21	24	0,83
8	6,0	15	11	0,78	10,0	19	7	0,79
9	6,0	21	10	0,86	12,0	18	9	0,59
10	6,0	13	17	0,97	14,5	8	14	0,65
11	6,0	14	3	0,52	20,0	16	4	0,97
12	8,0	8	15	0,67	10,0	7	12	0,92
13	8,0	6	13	0,83	12,0	24	6	0,65
14	8,0	19	25	0,53	14,5	6	14	0,87
15	8,0	20	3	0,53	20,0	16	23	0,54
16	10,0	17	5	0,65	12,0	18	11	0,61

Продовження таблиці 5.1

Вар.	q_1 , Т	n_1	$l_{\text{ві1}}$, км	$\gamma_{\text{с1}}$	q_2 , Т	n_2	$l_{\text{ві2}}$, км	$\gamma_{\text{с2}}$
17	10,0	13	9	0,60	14,5	9	21	0,52
18	10,0	7	6	1,00	20,0	8	14	0,67
19	12,0	23	25	0,57	14,5	15	5	0,92
20	12,0	7	7	0,55	20,0	5	11	0,78
21	14,5	6	23	0,49	20,0	7	11	0,91
22	4,5	18	17	0,62	14,5	7	6	0,96
23	6,0	9	5	0,53	12,0	19	25	0,54
24	8,0	22	22	0,79	20,0	14	5	0,98
25	10,0	5	23	0,78	14,5	19	10	0,96
26	12,0	14	22	0,58	20,0	18	17	0,95
27	6,0	11	16	0,55	14,5	10	10	0,52
28	8,0	12	9	0,65	14,5	12	9	0,96
29	10,0	7	18	0,67	14,5	9	12	0,84
30	14,5	13	18	0,54	20,0	16	12	0,68

Приклад виконання практичної роботи

Розглянемо приклад виконання завдання для таких вихідних даних:

q_1 , Т	n_1	$l_{\text{ві1}}$, км	$\gamma_{\text{с1}}$	q_2 , Т	n_2	$l_{\text{ві2}}$, км	$\gamma_{\text{с2}}$
4,5	12	21	0,65	12,0	10	8	0,86

Розв'язок.

Розраховуємо транспортну роботу, виконану парком автомобілів у тонах за формулою (5.1):

$$P = n_1 q_1 \gamma_{\text{с1}} + n_2 q_2 \gamma_{\text{с2}} = 4,5 \cdot 12 \cdot 0,65 + 12 \cdot 10 \cdot 0,86 = 138,3 \text{ т.}$$

Транспортну роботу, виконану парком автомобілів у тонно-кілометрах визначимо за формулою (5.3), враховуючи, що для

маятникових маршрутів зі зворотним порожнім пробігом (простий цикл перевезень) $\gamma_c = \gamma_d$:

$$W = n_1 q_1 l_{\text{ві1}} \gamma_{д1} + n_2 q_2 l_{\text{ві2}} \gamma_{д2} = 4,5 \cdot 12 \cdot 21 \cdot 0,65 + 12 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 0,86 = 1562,7 \text{ ткм.}$$

Середня відстань вантажного пробігу за їздку складе

$$\bar{l}_{\text{ві}} = \frac{n_1 l_{\text{ві1}} + n_2 l_{\text{ві2}}}{n_1 + n_2} = \frac{12 \cdot 21 + 10 \cdot 8}{12 + 10} = 15,1 \text{ км.}$$

Середня відстань перевезення тони вантажу визначається за формулою (5.8):

$$\bar{l}_b = \frac{W}{P} = \frac{1562,7}{138,3} = 11,3 \text{ км.}$$

Середня вантажопідйомність автомобіля парку для розрахунку обсягу перевезень у тонах:

$$\bar{q}_i = \frac{n_1 q_1 + n_2 q_2}{n_1 + n_2} = \frac{12 \cdot 4,5 + 10 \cdot 12}{12 + 10} = 7,91 \text{ т.}$$

Середня вантажопідйомність автомобіля парку для розрахунку обсягу перевезень у тонно-кілометрах:

$$\bar{q}_{\text{пв}} = \frac{n_1 q_1 \bar{l}_{\text{ві1}} + n_2 q_2 \bar{l}_{\text{ві2}}}{n_1 \bar{l}_{\text{ві1}} + n_2 \bar{l}_{\text{ві2}}} = \frac{12 \cdot 4,5 \cdot 21 + 10 \cdot 12 \cdot 8}{12 \cdot 21 + 10 \cdot 8} = 6,307 \text{ т.}$$

Середнє значення коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності автомобілів парку:

$$\bar{\gamma}_c = \frac{P}{n_i \bar{q}_i} = \frac{P}{(n_1 + n_2) \bar{q}_i} = \frac{138,3}{(12 + 10) \cdot 7,91} = 0,795.$$

Середнє значення коефіцієнту динамічного використання вантажопідйомності автомобілів парку:

$$\bar{\gamma}_d = \frac{P\bar{l}_b}{(n_1 + n_2)\bar{q}_{пв}\bar{l}_{ві}} = \frac{138,3 \cdot 11,3}{(12 + 10) \cdot 6,307 \cdot 15,1} = 0,746 .$$

Для перевірки правильності розрахунків використаємо залежність

$$\frac{\bar{q}_i \bar{\gamma}_c}{\bar{q}_{пв} \bar{\gamma}_d} = \frac{\bar{l}_{ві}}{\bar{l}_b} .$$

У нашому випадку маємо:

$$\frac{7,91 \cdot 0,795}{6,307 \cdot 0,746} = \frac{15,1}{11,3} \Rightarrow 1,337 = 1,337 ,$$

отже, розрахунки виконані правильно.

Контрольні запитання

1. На які групи поділяють показники, що визначають транспортну роботу парку автомобілів? Дайте склад і характеристику показників кожної групи.

2. Наведіть формули для розрахунку транспортної роботи парку автомобілів у тоннах та тонно-кілометрах.

3. Як визначаються середні вантажопідйомності парку рухомого складу при розрахунку транспортної роботи парку автомобілів у тоннах та тонно-кілометрах та середні коефіцієнти використання вантажопідйомності автомобіля?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ТА МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета заняття: ознайомлення з видами норм витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті та методикою розрахунку нормативних витрат палива та мастильних матеріалів для різного типу рухомого складу.

Стисла теоретична довідка

Продуктивність автомобіля на практиці прийнято оцінювати його виробкою в тоннах та тонно-кілометрах за годину (зміну) роботи.

Для автомобілів встановлені такі види норм витрат палива:

- базова лінійна норма на пробіг автомобіля – на 100 км;
- норма на виконання транспортної роботи (враховує додаткові витрати палива при русі автомобіля з вантажем) – на 100 ткм;
- норма на одну тонну спорядженої маси (враховує додаткові витрати палива при зміні спорядженої маси автомобіля, причепа на напівпричепа);
- норма на їзду з вантажем (враховує збільшення витрат палива, пов'язане з маневруванням та виконанням операцій завантаження та розвантаження) – на одну їзду;
- норма на пробіг при виконанні спеціальної роботи – на 100 км;
- норма на роботу спеціального обладнання, встановленого на автомобілях – на годину або виконану операцію;
- норма на роботу незалежного обігрівача – на одну годину роботи незалежного обігрівача.

Базова лінійна норма витрат палива N_s встановлена:

- для вантажних автомобілів (за винятком самоскидів) – у спорядженому стані;
- для легкових автомобілів та автобусів (повна маса яких не перевищує 3,5 т) та самоскидів – з половиною завантаження;
- для автобусів (повна маса яких перевищує 3,5 т) – з повним навантаженням (повною масою);

– для вантажопасажирських автомобілів – у спорядженому стані з половиною маси пасажирів.

Норма витрат палива на виконання транспортної роботи

H_w застосовується для бортових вантажних автомобілів і сидельних тягачів у складі автопоїздів, автомобілів-фургонів та вантажопасажирських автомобілів, які виконують роботу, що обліковується у тонно-кілометрах. Також норма може застосовуватись для легкових автомобілів та автобусів з причепами, які виконують транспортну роботу, що обліковується у тонно-кілометрах.

Норма витрат на транспортну роботу H_w в залежності від виду палива становить:

- бензин – 2,0 л/100ткм;
- дизельне паливо – 1,3 л/100ткм;
- зріджений нафтовий газ (ЗНГ) – 2,5 л/100ткм;
- стиснений природний газ (СПГ) – 2,0 м³ / 100 ткм;

Для автопоїздів, повна маса та максимальна швидкість яких дорівнює або перевищує відповідно 40 тонн та 100 км/год. (за даними виробника), норма витрат палива на транспортну роботу становить 1.0 л дизельного палива на 100ткм.

Норма витрат палива на одну тону спорядженої маси H_g

(автопоїзда, автомобіля, причепа або напівпричепа) застосовується при розрахунках лінійної норми витрати палива при зміні спорядженої маси автомобіля, при розрахунках лінійної норми для автопоїздів. Норми на одну тону спорядженої маси H_g (л/100ткм) в залежності від виду палива дорівнюють відповідним нормам на виконання транспортної роботи H_w .

Норма витрат палива на їзду з вантажем H_z

застосовується для автомобілів-самоскидів і автопоїздів з самоскидальними кузовами та враховує збільшення витрат палива, пов'язане з маневруванням та виконанням операцій завантаження і розвантаження на кожному їзду з вантажем. Норма витрат на їзду з вантажем встановлена у розмірі 0,02 л дизельного палива (0,025 л бензину) на одну тону вантажопідйомності самоскидального рухомого складу.

Норми витрат мастильних матеріалів встановлюються на 100 літрів (100 м³ СПГ) нормативних витрат палива Q_n , розрахованих для даного автомобіля: нормативи витрат масел – у л/100л (л/100 м³), нормативи витрат мастил – у кг/100 л (кг/100м³).

Для *легкових автомобілів і автобусів*, нормативні витрати палива розраховуються за формулою

$$Q_n = 0,01 \cdot H_s \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma), \quad (6.1)$$

де Q_n – нормативна витрата палива, л (м³);

S – пробіг автомобіля, км;

K_Σ – сумарний коригуючий коефіцієнт, що враховує конкретні умови виконання перевезень і експлуатації автомобіля (робота в містах, кар'єрах, зимових умовах, гірській місцевості тощо).

Для *борткових вантажних автомобілів і сідельних тягачів у складі автопоїздів, автомобілів-фургонів, вантажопасажирських автомобілів*, які виконують роботу, що обліковується у тонно-кілометрах, нормативні витрати палива розраховуються за формулою:

$$Q_n = 0,01(H_{sn} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma), \quad (6.2)$$

де H_{sn} – лінійна норма витрат палива на пробіг автопоїзда

$$H_{sn} = H_s + H_g \cdot G_{пр}, \quad (6.3)$$

$G_{пр}$ – споряджена маса причепа або напівпричепа, т;

W – обсяг виконаної транспортної роботи, ткм.

Для *автомобілів-самоскидів* та *автосамоскидальних автопоїздів* нормативні витрати палива визначаються за формулою:

$$Q_n = 0,01H_{sns} \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma) + H_z \cdot Z, \quad (6.4)$$

де $H_{sns} = H_s + H_w(G_{np} + 0,5g)$ – лінійна норма витрат палива самоскидального автопоїзда, л/100 км ($\text{м}^3/100\text{км}$);
 G_{np} – споряджена маса причепа або напівпричепа, т;
 g – вантажопідйомність причепа, т;
 Z – кількість їздок з вантажем.

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

В ході практичного заняття слід розв'язати три задачі.

Задача 1. Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для вантажного автомобіля, який виконав на маятниковому маршруті зі зворотним порожнім пробігом з довжиною вантажної їздки $l_{ві}$ км. Z їздок з коефіцієнтом статичного використання вантажопідйомності γ_c в звичайних умовах експлуатації.

Задача 2. Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для автопоїзда у складі тягача та причепа (напівпричепа), який виконав на маршрутах вантажний пробіг S_b км. з коефіцієнтом динамічного використання вантажопідйомності γ_d та коефіцієнтом використання пробігу β в звичайних умовах експлуатації.

Задача 3. Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для автомобіля-самоскида, який виконав на маятниковому маршруті зі зворотним порожнім пробігом з довжиною вантажної їздки $l_{ві}$ км. Z їздок в умовах кар'єру (сумарний коригуючий коефіцієнт $K_\Sigma = +20\%$).

Вихідні дані до виконання завдання по варіантах наведені у таблицях 6.1 – 6.3.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 6 (задача 1)

Варіант	Модель автомобіля	$l_{\text{вп}}$, км	Z, їздок	γ_c
1	УАЗ-3303	8	9	0,81
2	ГАЗ-33021	6	3	0,40
3	ГАЗ-3307	7	10	0,65
4	ГАЗ-4301	12	5	0,47
5	ЗІЛ-4315	14	7	1,00
6	ЗІЛ-5301	9	10	0,40
7	МАЗ-5337	6	3	0,70
8	КамАЗ-5320	10	6	1,00
9	КрАЗ-250	7	3	0,74
10	УАЗ-3303	10	7	0,91
11	ГАЗ-33021	14	6	0,94
12	ГАЗ-3307	13	7	0,44
13	ГАЗ-4301	9	9	0,56
14	ЗІЛ-4315	10	3	0,43
15	ЗІЛ-5301	7	6	0,68
16	МАЗ-5337	15	4	0,82
17	КамАЗ-5320	6	3	0,71
18	КрАЗ-250	7	9	0,53
19	УАЗ-3303	15	9	0,57
20	ГАЗ-33021	12	4	0,65
21	ГАЗ-3307	11	5	0,44
22	ГАЗ-4301	15	6	0,81
23	ЗІЛ-4315	8	10	1,00
24	ЗІЛ-5301	11	10	0,76
25	МАЗ-5337	9	10	0,97
26	КамАЗ-5320	15	3	0,78
27	КрАЗ-250	14	9	0,92
28	УАЗ-3303	9	5	0,49
29	ГАЗ-33021	10	5	0,84
30	ГАЗ-3307	12	9	0,97

Таблиця 6.2 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 6 (задача 2)

Варіант	Модель тягача	Модель причепа (півпричепа)	S_b , км	γ_d	β
1	ЗІЛ-4315	ГКБ-8328	111	0,65	0,89
2	МАЗ-5432	МАЗ-9380	104	0,57	0,58
3	КамАЗ-5320	ОдАЗ-8352	55	0,59	0,96
4	КамАЗ-5410	ОдАЗ-9370	173	0,49	0,63
5	МАЗ-5337	МАЗ-8926	169	0,64	0,50
6	МАЗ-5432	МАЗ-9397	89	0,58	0,80
7	МАЗ-64229	МАЗ-9398	175	0,68	0,59
8	ЗІЛ-4315	ГКБ-8328	141	0,97	0,82
9	МАЗ-5432	МАЗ-9380	197	0,88	0,40
10	КамАЗ-5320	ОдАЗ-8352	107	0,48	0,73
11	КамАЗ-5410	ОдАЗ-9370	138	0,49	0,44
12	МАЗ-5337	МАЗ-8926	118	0,75	0,40
13	МАЗ-5432	МАЗ-9397	158	0,41	0,58
14	МАЗ-64229	МАЗ-9398	133	0,43	0,96
15	ЗІЛ-4315	ГКБ-8328	96	0,57	0,42
16	МАЗ-5432	МАЗ-9380	183	0,75	0,58
17	КамАЗ-5320	ОдАЗ-8352	188	0,70	0,45
18	КамАЗ-5410	ОдАЗ-9370	113	0,65	0,80
19	МАЗ-5337	МАЗ-8926	111	0,51	0,78
20	МАЗ-5432	МАЗ-9397	176	0,70	0,59
21	МАЗ-64229	МАЗ-9398	98	0,46	0,71
22	ЗІЛ-4315	ГКБ-8328	60	0,68	0,86
23	МАЗ-5432	МАЗ-9380	175	0,40	0,41
24	КамАЗ-5320	ОдАЗ-8352	77	0,49	0,41
25	КамАЗ-5410	ОдАЗ-9370	103	0,40	0,90
26	МАЗ-5337	МАЗ-8926	131	0,53	0,53
27	МАЗ-5432	МАЗ-9397	82	0,62	0,48
28	МАЗ-64229	МАЗ-9398	163	0,61	0,54
29	ЗІЛ-4315	ГКБ-8328	224	0,75	0,75
30	МАЗ-5432	МАЗ-9380	180	0,80	0,65

Таблиця 6.3 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 6 (задача 3)

Варіант	Модель самоскида	$l_{\text{вн}}$, км	Z, їздок
1	ГАЗ-СА3-3507	6	10
2	ЗІЛ-4502	7	8
3	МАЗ-5551	7	14
4	КамАЗ-5511	10	5
5	КрАЗ-6510	2	9
6	БелАЗ-6527	8	15
7	ГАЗ-СА3-3507	3	9
8	ЗІЛ-4502	3	11
9	МАЗ-5551	10	9
10	КамАЗ-5511	2	15
11	КрАЗ-6510	4	12
12	БелАЗ-6527	3	14
13	ГАЗ-СА3-3507	5	8
14	ЗІЛ-4502	8	12
15	МАЗ-5551	8	9
16	КамАЗ-5511	10	9
17	КрАЗ-6510	5	9
18	БелАЗ-6527	2	9
19	ГАЗ-СА3-3507	9	12
20	ЗІЛ-4502	5	11
21	МАЗ-5551	9	15
22	КамАЗ-5511	9	14
23	КрАЗ-6510	9	13
24	БелАЗ-6527	7	14
25	ГАЗ-СА3-3507	6	14
26	ЗІЛ-4502	9	12
27	МАЗ-5551	6	7
28	КамАЗ-5511	3	14
29	КрАЗ-6510	4	9
30	БелАЗ-6527	2	12

Приклад виконання практичної роботи

Задача 1.

Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для вантажного бортового автомобіля ЗІЛ-431410, який виконав на маятниковому маршруті зі зворотним порожнім пробігом з довжиною вантажної їздки $l_{\text{ві}} = 12,0$ км. $Z = 10$ їздок з коефіцієнтом статичного використання вантажопідйомності $\gamma_c = 0,65$ в звичайних умовах експлуатації.

Розв'язок.

З додатку А вибираємо необхідні розрахункові дані:

- вантажопідйомність автомобіля ЗІЛ-431410 $q_n = 6,0$ т;
- базова лінійна норма витрат палива на пробіг для бортового автомобіля ЗІЛ-431410 $H_s = 31,0$ л/100 км (бензин);
- норма витрат моторних олив $Q_{\text{н.м.о.}} = 2,2$ л/100 л;
- норма витрат трансмісійних олив $Q_{\text{н.т.о.}} = 0,3$ л / 100 л;
- норма витрат спеціальних олив $Q_{\text{н.с.о.}} = 0,1$ л / 100 л;
- норма витрат пластичних мастил $Q_{\text{н.п.м.}} = 0,2$ кг/100 л.

Розраховуємо загальний пробіг автомобіля

$$S = \frac{l_{\text{ві}} \cdot Z}{\beta} = \frac{12 \cdot 10}{0,5} = 240 \text{ км.}$$

Розраховуємо транспортну роботу, що її виконав автомобіль

$$W = l_{\text{ві}} \cdot Z \cdot q_n \cdot \gamma_c = 12 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0,65 = 468 \text{ ткм.}$$

Нормативна витрата палива автомобілем розраховується за формулою (6.2) враховуючи, що для бензинових двигунів норма витрат палива на виконання транспортної роботи $H_w = 2,0$ л/100 ткм.:

$$Q_n = 0,01(H_{\text{sn}} \cdot S + H_w \cdot W) = 0,01(31 \cdot 240 + 2,0 \cdot 468) = 83,7 \text{ л.}$$

Нормативні витрати мастильних матеріалів:

- моторних олив $Q_{\text{м.о.}} = 0,01 \cdot 2,2 \cdot 83,7 = 1,84$ л;

- трансмісійних олив $Q_{т.о.} = 0,01 \cdot 0,3 \cdot 83,7 = 0,251$ л;
- спеціальних олив $Q_{с.о.} = 0,01 \cdot 0,1 \cdot 83,7 = 0,084$ л;
- пластичних мастил $Q_{п.м.} = 0,01 \cdot 0,2 \cdot 83,7 = 0,167$ кг.

Задача 2. Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для автопоїзда у складі тягача КамАЗ-5410 та напівпричепа ОдАЗ-9370, який виконав на маршрутах вантажний пробіг $S=210,0$ км з коефіцієнтом динамічного використання вантажопідйомності $\gamma_d=0,85$ та коефіцієнтом використання пробігу $\beta=0,75$ в звичайних умовах експлуатації.

Розв'язок.

З додатку А вибираємо необхідні розрахункові дані:

- вантажопідйомність напівпричепа ОдАЗ-9370 $q_{пр} = 14,2$ т;
- вага спорядженого напівпричепа ОдАЗ-9370 $G_{пр} = 4,6$ т;
- базова лінійна норма витрат палива на пробіг для сідельного тягача КамАЗ-5410 $H_s = 25,0$ л/100 км (дизпаливо);
- норма витрат моторних олив $Q_{н.м.о.} = 2,8$ л/100 л;
- норма витрат трансмісійних олив $Q_{н.т.о.} = 0,4$ л / 100 л;
- норма витрат спеціальних олив $Q_{н.с.о.} = 0,15$ л / 100 л;
- норма витрат пластичних мастил $Q_{н.п.м.} = 0,35$ кг/100 л.

Розраховуємо загальний пробіг автопоїзда

$$S = S_b / \beta = 210 / 0,75 = 280,0 \text{ км.}$$

Розраховуємо транспортну роботу, що її виконав автопоїзд

$$W = q_{пр} \cdot S_b \cdot \gamma_d = 14,2 \cdot 210 \cdot 0,85 = 2534,7 \text{ ткм.}$$

Розраховуємо лінійну норма витрат палива на пробіг автопоїзда за формулою (6.3) враховуючи, що для дизельних тягачів норма витрат палива на тону спорядженої маси напівпричепа $H_g = 1,3$ л/100 ткм.:

$$H_{sn} = H_s + H_g \cdot G_{пр} = 25,0 + 1,3 \cdot 4,6 = 30,98 \text{ л/100 км.}$$

Нормативна витрата палива автопоїздом розраховується за формулою (6.2) враховуючи, що для дизельних двигунів норма витрат палива на виконання транспортної роботи $H_w = 1,3$ л/100 ткм.:

$$Q_n = 0,01(H_{sn} \cdot S + H_w \cdot W) = 0,01(30,98 \cdot 280 + 1,3 \cdot 2534,7) = 119,7 \text{ л.}$$

Нормативні витрати мастильних матеріалів:

- моторних олиф $Q_{м.о.} = 0,01 \cdot 2,8 \cdot 119,7 = 3,35$ л;
- трансмісійних олиф $Q_{т.о.} = 0,01 \cdot 0,4 \cdot 119,7 = 0,48$ л;
- спеціальних олиф $Q_{с.о.} = 0,01 \cdot 0,15 \cdot 119,7 = 0,18$ л;
- пластичних мастил $Q_{п.м.} = 0,01 \cdot 0,35 \cdot 119,7 = 0,42$ кг.

Задача 3. Розрахувати нормативну витрату палива та мастильних матеріалів для автомобіля-самоскида ЗІЛ-4505, який виконав на маятниковому маршруті зі зворотним порожнім пробігом з довжиною вантажної їздки $l_{ві} = 3,5$ км. $Z = 24$ їздки в умовах кар'єру (сумарний коригуючий коефіцієнт $K_\Sigma = +20\%$).

Розв'язок.

З додатку А вибираємо необхідні розрахункові дані:

- базова лінійна норма витрат палива на пробіг для самоскида ЗІЛ-4505 $H_s = 37,0$ л/100 км (бензин);
- вантажопідйомність самоскида ЗІЛ-4505 $q_n = 6,0$ т.

Розраховуємо загальний пробіг самоскида

$$S = l_{ві} \cdot Z / \beta = 3,5 \cdot 24 / 0,5 = 168,0 \text{ км.}$$

Нормативна витрата палива самоскидом розраховується за формулою (6.4):

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,01 H_{sns} \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma) + H_z \cdot Z = \\ &= 0,01 \cdot 37 \cdot 168 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) + 6 \cdot 0,025 \cdot 24 = 78,19 \text{ л.} \end{aligned}$$

Нормативні витрати мастильних матеріалів:

- моторних олив $Q_{\text{м.о.}} = 0,01 \cdot 2,0 \cdot 78,19 = 1,56$ л;
- трансмісійних олив $Q_{\text{т.о.}} = 0,01 \cdot 0,3 \cdot 78,19 = 0,23$ л;
- спеціальних олив $Q_{\text{с.о.}} = 0,01 \cdot 0,1 \cdot 78,19 = 0,08$ л;
- пластичних мастил $Q_{\text{п.м.}} = 0,01 \cdot 0,2 \cdot 78,19 = 0,16$ кг.

Контрольні запитання

1. Які види норм витрат палива і мастильних матеріалів встановлені на автомобільному транспорті ?
2. В залежності від чого збільшуються та зменшуються норми витрат палива ?
3. Як розраховуються нормативні витрати палива і мастильних матеріалів для різних типів рухомого складу автомобільного транспорту ?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7 ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ПАРКУ АВТОМОБІЛІВ ЗА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ

Мета заняття: ознайомлення з методикою визначення оптимальної структури парку вантажних автомобілів за вантажопідйомністю в умовах випадкового розподілу розмірів вантажних партій, що пред'являються до перевезення.

Стисла теоретична довідка

Структура парку автомобілів за вантажопідйомністю повинна якомога повно відповідати розподілу вимог на перевезення вантажів партіями різного розміру. Нехай вантажопідйомності автомобілів задані неспадаючою послідовністю $q_1, q_2, \dots, q_j, q_m$. У випадку, якщо розподіл розмірів партій вантажів є експоненціальним з щільністю розподілу

$$f(x) = \frac{1}{\bar{g}} e^{-\frac{x}{\bar{g}}}, \quad (7.1)$$

де \bar{g} – середній розмір партії вантажу, т.

Імовірність надходження вимог на перевезення вантажів автомобілями мінімальної вантажопідйомності дорівнює

$$p_1 = \frac{1}{\bar{g}} \int_0^{(q\gamma)_1} e^{-\frac{x}{\bar{g}}} dx = 1 - e^{-\frac{(q\gamma)_1}{\bar{g}}}. \quad (7.2)$$

Для автомобілів вантажопідйомністю більше мінімальної та менше максимальної

$$p_j = \frac{1}{\bar{g}} \int_{(q\gamma)_{j-1}}^{(q\gamma)_j} e^{-\frac{x}{\bar{g}}} dx = e^{-\frac{(q\gamma)_{j-1}}{\bar{g}}} - e^{-\frac{(q\gamma)_j}{\bar{g}}} \quad (7.3)$$

Для автомобілів максимальної вантажопідйомності, що виконують перевезення партії вантажу за i їздок:

$$p_{m,i} = \frac{1}{g} \int_{(i-1)(q\gamma)_m}^{i(q\gamma)_m} e^{-\frac{x}{g}} dx = e^{-\frac{(i-1)(q\gamma)_m}{g}} - e^{-\frac{(q\gamma)_m}{g}} \quad (7.4)$$

Необхідна кількість автомобілів j -го типу ($j = 1, 2 \dots, m-1$) у парку складе:

$$A_{ej} = \frac{\bar{N}_{ст} p_j}{T_{nj}} \cdot \left(\frac{l_{vij}}{v_{vj} \beta_j} + t_{npj} \right). \quad (7.5)$$

де $\bar{N}_{ст}$ – середньодобова кількість вимог на перевезення вантажів;
 T_{nj} – тривалість часу в наряді для j -го автомобіля, год.;
 l_{vij} – довжина вантажної їздки, км;
 β_j – коефіцієнт використання пробігу;
 t_{npj} – тривалість виконання вантажних операцій з автомобілем j -го типу за їзду, год.

Необхідна кількість автомобілів вантажопідйомністю q_m складе:

$$A_{cm} = \frac{\bar{N}_{ст} \sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}}{T_{nm}} \left(\frac{l_{vim}}{v_{vm} \beta_m} + t_{npm} \right). \quad (7.6)$$

Кількість автомобілів за списком у парку вантажопідйомністю q_j визначається за формулою:

$$\bar{A}_j = \frac{P_j}{D \cdot P_{\text{доб}j}}, \quad (7.7)$$

де P_j – обсяг перевезень, що виконуються автомобілями вантажопідйомністю q_j за розглядуваний період часу, т.

$$P_j = n_{ej}(q\gamma)_j;$$

n_{ej} – кількість їздок, що виконуються автомобілями вантажопідйомністю q_j ;

D – кількість діб роботи автомобілів за розглядуваний період часу;

$P_{\text{доб}j}$ – добова виробка автомобіля, т/добу.

Добова виробка автомобіля визначається за формулою

$$P_{\text{доб}j} = \frac{v_{\text{т}j} \beta_j q_j \gamma_{\text{с}j} T_{\text{н}j}}{l_{\text{в}ij} + v_{\text{т}j} \beta_j t_{\text{нр}j}}. \quad (7.8)$$

Кількість їздок, що виконуються автомобілями вантажопідйомністю q_j , визначається за формулою

$$n_{ej} = \begin{cases} p_j \cdot n_e & \text{для } j = 1 \dots m-1; \\ n_e \sum_{i=1}^{\infty} p_{m,i} & \text{для } j = m. \end{cases} \quad (7.9)$$

де $n_e = \frac{P}{\bar{q}_e \bar{\gamma}_{\text{ст}}}$ – загальна кількість їздок, що виконуються

автомобілями парку за розглядуваний період часу;

P – плановий обсяг перевезень вантажів, т;

\bar{q}_e – середній розмір партії вантажу, що перевозиться за їзду, т;

$\bar{\gamma}_{\text{ст}} = \frac{\bar{g}_e}{\bar{q}_e}$ – середній коефіцієнт статичного використання

вантажопідйомності автомобілів парку;

\bar{g}_e – середня вантажопідйомність автомобіля з розрахунку на одну їздку, т.

Величини \bar{q}_e та \bar{g}_e розраховуються, відповідно, за формулами

$$\bar{q}_e = \sum_{j=1}^{m-1} p_j (q\gamma)_j + (q\gamma)_m \sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i} , \quad (7.10)$$

$$\bar{g}_e = \sum_{j=1}^{m-1} p_j q_j + q_m \sum_{i=1}^{\infty} p_{m,i} . \quad (7.11)$$

Зміст практичного заняття та вихідні дані до його виконання

Вантажний термінал обслуговує трьох одержувачів (В1–В3) власним парком автомобілів маятниковими маршрутами зі зворотним порожнім пробігом. Річні обсяги перевезень, відстані перевезень та коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля на перевезеннях кожному одержувачу по варіантах задані в таблиці 7.1.

Розміри партій тарно-штучних вантажів, що вивозяться зі складу є випадковою величиною, що розподілена за експоненціальним законом з середнім значенням \bar{g} т.

Для перевезення передбачається використовувати автомобілі ЗІЛ-4315 (номінальна вантажопідйомність $q_n = 6,0$ т, тривалість виконання вантажних операцій за їздку $t_{np} = 1,2$ год.), КАМАЗ-5320 ($q_n = 8,0$ т, $t_{np} = 1,45$ год.) та КАМАЗ-5410 з напівпричепом 9370 ($q_n = 14,5$ т, $t_{np} = 1,8$ год.).

Прийнявши значення часу в наряді $T_n = 8,0$ год. та середню технічну швидкість автомобіля $v_T = 25$ км/год., визначити необхідну кількість автомобілів кожного типу у парку, що необхідна для виконання перевезень.

Таблиця 7.1 – Вихідні дані до виконання практичного заняття 7

Вар.	Обсяги перевезень P_i , тис.т./рік			Відстань перевезень, l_i км			Коефіцієнт використання вантажопідйомності η			Середній розмір вантажної партії \bar{g} , т
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	1	2	3	
1	103	82	165	15	6	7	0,80	1,0	0,65	17,8
2	39	72	239	11	13	9				16,8
3	34	120	196	8	15	13				9,7
4	36	144	170	13	7	12				13,9
5	120	162	68	12	6	8				13,4
6	15	129	206	9	15	12	1,0	0,75	0,50	13,6
7	96	53	201	10	6	5				8,2
8	149	73	128	9	10	10				13,8
9	79	55	216	8	12	14				16,3
10	58	152	140	11	10	7				13,1
11	92	130	128	12	6	13	0,70	0,60	0,90	14,9
12	112	115	123	12	14	9				11,7
13	81	79	190	10	5	13				8,5
14	143	157	50	9	12	9				9,6
15	136	80	134	8	14	7				11,4
16	127	153	70	5	10	10	0,45	0,75	0,90	11,5
17	88	63	199	8	11	7				8,5
18	42	73	235	5	10	13				14,1
19	110	132	108	8	5	6				10,6
20	60	131	159	9	6	7				9,7
21	90	121	139	14	14	14	0,55	0,65	1,0	9,4
22	135	127	88	10	12	12				10,7
23	43	89	218	9	11	6				12,4
24	70	109	171	15	15	13				8,7
25	113	145	92	9	13	13				10,2
26	130	126	130	9	14	7	0,50	0,75	1,0	8,4
27	54	115	58	5	9	10				10,9
28	126	67	102	13	5	15				19,3
29	50	110	87	8	7	8				7,3
30	77	92	98	10	5	10				5,5

Приклад виконання практичної роботи

Розміри об'єднаних партій тарно-штучних вантажів, що вивозяться з терміналу на адресу трьох одержувачів (В1–В3) маятниковими маршрутами зі зворотним порожнім пробігом, розподілені за експоненціальним законом з середнім значенням $\bar{g} = 16,2$ т. Для перевезення передбачається використовувати автомобілі ЗІЛ-4315 (номінальна вантажопідйомність $q_n = 6,0$ т, тривалість виконання вантажних операцій за їздки $t_{np} = 1,2$ год.), КАМАЗ-5320 ($q_n = 8,0$ т, $t_{np} = 1,45$ год.) та КАМАЗ-5410 з напівприцепом 9370 ($q_n = 14,5$ т, $t_{np} = 1,8$ год.).

Обсяги перевезень кожному одержувачу, коефіцієнти використання вантажопідйомності автомобілів та відстань перевезень задані у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Вихідні дані для прикладу

Показник	Значення показника для одержувачів		
	В1	В2	В3
Річний обсяг перевезень, P_i тис.т	50	120	100
Відстань перевезень, l_i км	12	6	10
Коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля γ_i	0,8	1,0	0,75

Прийнявши значення часу в наряді $T_n = 12,0$ год. та середню технічну швидкість автомобіля $v_t = 22$ км/год., визначити необхідну кількість автомобілів кожного типу у парку, що необхідна для виконання перевезень.

Розв'язок.

1. Розраховуємо середньозважене значення коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля на перевезеннях

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_i P_i \cdot \gamma_i}{\sum_i P_i} = \frac{50 \cdot 0,8 + 120 \cdot 1,0 + 100 \cdot 0,75}{50 + 120 + 100} = 0,87.$$

2. Розраховуємо середньозважену відстань перевезень вантажів

$$\bar{l} = \frac{\sum_i P_i \cdot l_i}{\sum_i P_i} = \frac{50 \cdot 12 + 120 \cdot 6 + 100 \cdot 10}{50 + 120 + 100} = 8,59 \text{ км.}$$

3. Розраховуємо імовірності вимог на перевезення вантажів партіями, для доставки яких доцільно використовувати задані автомобілі:

– імовірність надходження вимоги на перевезення вантажу партією, для доставки якої доцільно використовувати автомобіль ЗІЛ-4315 (розмір партії 0 ... 6,0 т)

$$p_1 = 1 - e^{-\frac{6 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,275;$$

– імовірність надходження вимоги на перевезення вантажу партією, для доставки якої доцільно використовувати автомобіль КАМАЗ-5320 (розмір партії 6,0 ... 8,0 т)

$$p_2 = e^{-\frac{6 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{8 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,073;$$

– імовірності надходження вимог на перевезення вантажів партіями, доставляти які доцільно автомобілем КАМАЗ-5410 з напівприцепом 9370 при виконанні $i = 1, 2, \dots$ їздок $i = 1$ (розмір партії 8,0 ... 14,5 т)

$$p_{3,1} = e^{-\frac{8 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,192;$$

$i = 2$ (розмір партії 14,5 ... 29,0 т)

$$p_{3,2} = e^{-\frac{14,5 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{2 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,248;$$

$i=3$ (розмір партії 29,0 ... 43,5 т)

$$p_{3,3} = e^{-\frac{2 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{3 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,114;$$

$i=4$ (розмір партії 43,5 ... 58,0 т)

$$p_{3,4} = e^{-\frac{3 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{4 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,052.$$

$i=5$ (розмір партії 58,0 ... 72,5 т)

$$p_{3,5} = e^{-\frac{4 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{5 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,024;$$

$i=6$ (розмір партії 72,5 ... 87,0 т)

$$p_{3,6} = e^{-\frac{5 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} - e^{-\frac{6 \cdot 14,5 \cdot 0,87}{16,2}} = 0,011.$$

Подальші розрахунки припиняємо, оскільки імовірності надходження вимог на перевезення партії вантажу розміром понад 87,0 т за величиною не перевищують 1%.

4. Розраховуємо середньозважений час для виконання їздки з вантажем для розглянутих автомобілів

$$T_{\text{нв}} B = \sum_{j=1}^{m-1} p_j \cdot \left(\frac{\bar{t}}{v_{\text{тj}} \cdot \beta} + t_{\text{прj}} \right) + \left(\frac{\bar{t}}{v_{\text{тm}} \cdot \beta} + t_{\text{прm}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot p_{m,i}$$

Коефіцієнт використання пробігу для заданих умов $\beta = 0,5$.

$$T_{\text{нв}} = 0,275 \cdot \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,2 \right) + 0,073 \cdot \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,45 \right) + \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,8 \right) \times \\ \times (1 \cdot 0,192 + 2 \cdot 0,248 + 3 \cdot 0,114 + 4 \cdot 0,052 + 5 \cdot 0,024 + 6 \cdot 0,011) = 4,38 \text{ год.}$$

5. Розраховуємо питому вагу автомобілів кожного типу у складі парку:

– для автомобілів ЗІЛ-4315

$$\delta_1 = \frac{0,275}{4,38} \cdot \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,2 \right) = 0,124 ;$$

– для автомобілів КАМАЗ-5320

$$\delta_2 = \frac{0,073}{4,38} \cdot \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,45 \right) = 0,037 ;$$

– для автомобілів КАМАЗ-5410 з напівпричепом 9370

$$\delta_3 = \frac{(1 \cdot 0,192 + 2 \cdot 0,248 + 3 \cdot 0,114 + 4 \cdot 0,052 + 5 \cdot 0,024 + 6 \cdot 0,011)}{4,38} \times \left(\frac{8,59}{22 \cdot 0,5} + 1,8 \right) = 0,839 \cdot$$

6. Розраховуємо середньозважену вантажопідйомність автомобіля з розрахунку на одну їздку

$$\bar{q}_e = 0,275 \cdot 6 + 0,073 \cdot 8 + 14,5 \cdot (0,192 + 0,248 + 0,114 + 0,052 + 0,024 + 0,011) = 11,53 \text{ т.}$$

7. Розраховуємо річну кількість їздок всіх автомобілів

$$\bar{n}_e = \frac{\sum_i P_i}{\bar{q}_e \cdot \bar{\gamma}} = \frac{50000 + 120000 + 100000}{11,53 \cdot 0,87} = 26917 ;$$

8. Розраховуємо кількість їздок, що їх виконують автомобілі кожного типу:

– автомобілі ЗІЛ-4315

$$n_{e1} = 26917 \cdot 0,275 = 7402 ;$$

– автомобілі КАМАЗ-5320

$$n_{e2} = 26917 \cdot 0,073 = 1965 ;$$

– автомобілі КАМАЗ-5410

$$n_{e3} = 26917 - 7402 - 1965 = 17550 ;$$

9. Визначаємо обсяг перевезень, що виконується автомобілями кожного типу:

- автомобілі ЗІЛ-4315 $Q_1 = 7402 \cdot 6 \cdot 0,87 = 38638 \text{ т};$
- автомобілі КАМАЗ-5320 $Q_2 = 1965 \cdot 8 \cdot 0,87 = 13676 \text{ т};$
- автомобілі КАМАЗ-5410 $Q_3 = 17550 \cdot 14,5 \cdot 0,87 = 221393 \text{ т};$

10. Розраховуємо добовий виробіток автомобілів кожного типу:

- автомобілі ЗІЛ-4315 $P_{\text{доб1}} = \frac{22 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 0,87 \cdot 12}{8,59 + 22 \cdot 0,5 \cdot 1,2} = 31,62 \text{ т/добу};$
- автомобілі КАМАЗ-5320 $P_{\text{доб2}} = \frac{22 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 0,87 \cdot 12}{8,59 + 22 \cdot 0,5 \cdot 1,45} = 37,44 \text{ т/добу};$
- автомобілі КАМАЗ-5410 $P_{\text{доб3}} = \frac{22 \cdot 0,5 \cdot 14,5 \cdot 0,87 \cdot 12}{8,59 + 22 \cdot 0,5 \cdot 1,8} = 58,65 \text{ т/добу};$

11. Розраховуємо необхідну кількість автомобілів кожного типу у складі парку:

- автомобілів ЗІЛ-4315 $\bar{A}_1 = \frac{38638}{300 \cdot 31,62} = 4,07 \approx 4 ;$
- автомобілів КАМАЗ-5320 $\bar{A}_2 = \frac{13676}{300 \cdot 37,44} = 1,22 \approx 2 ;$
- автомобілів КАМАЗ-5410 $\bar{A}_3 = \frac{221393}{300 \cdot 58,65} = 12,58 \approx 13 .$

Таким чином, парк вантажних автомобілів повинен налічувати 19 автомобілів: 4 автомобілі ЗІЛ-4315, 2 автомобілі КАМАЗ-5320 та 13 автопоїздів КАМАЗ-5410 з напівпричепами 9370.

Контрольні запитання

1. Яким вимогам повільна задовольняти структура парку вантажних автомобілів за вантажопідйомністю ?

2. Як визначається імовірність надходження вимоги на перевезення вантажної партії, якщо її розмір є випадковою величиною, розподіленою за експоненціальним законом розподілу, нормальним законом розподілу, довільним законом розподілу ?

3. Які параметри визначають структуру парку вантажних автомобілів за вантажопідйомністю ?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. М.Ф.Дмитриченко, Л.Ю.Яцківський, С.В.Ширяєва, В.З.Докуніхін. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник для ВНЗ. - К.: Видавничий Дім «Слово», 2009. - 336 с.
2. Лащених О.А., Кузькін О.Ф. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2006.– 435 с.
3. Горбачов П.Ф. Основи теорії транспортних систем: навч. посіб. / П.Ф. Горбачов, І.А. Дмитриєв; ХНАДУ – Х.: 2002. – 202 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Технічні характеристики та норми витрат палива та мастильних матеріалів деяких вантажних автомобілів

Марка автомобіля	Тип	q_n , т	H_s , л/100 км	Норми витрат мастильних матеріалів			
				мотор- них олив, л/100 л	транс- місійних олив, л/100 л	спеціальних олив, л/100 л	пластичних мастил, кг/100 л
УАЗ-3303	борт.	0,80	16,5	2,2	0,2	0,05	0,2
ГАЗ-33021	борт.	1,65	16,4	2,2	0,25	0,1	0,25
ГАЗ-3307	борт.	4,50	24,5	2,1	0,3	0,1	0,25
ГАЗ-САЗ-3507	сам.	4,00	28,0	2,1	0,3	0,1	0,2
ГАЗ-4301	борт.	5,00	18,0 (д)	2,1	0,3	0,1	0,25
ЗІЛ-4315	борт.	6,00	31,0	2,8	0,4	0,15	0,35
ЗІЛ-5301	борт.	3,00	20,2 (д)	2,2	0,3	0,1	0,2
ЗІЛ-4502	сам.	5,80	37,0	2,0	0,3	0,1	0,2
ЗІЛ-4415	тяг.сід.	–	31,0	2,0	0,3	0,1	0,2
ЗІЛ-4331	борт.	6,00	25,0 (д)	2,8	0,4	0,15	0,35
МАЗ-5337	борт.	8,70	23,0 (д)	2,9	0,4	0,15	0,35
МАЗ-5551	сам.	8,50	28,0 (д)	2,9	0,4	0,15	0,35
МАЗ-5432	тяг.сід.	–	26,0 (д)	2,8	0,4	0,1	0,3
МАЗ-64229	тяг.сід.	–	35,0 (д)	2,8	0,4	0,1	0,3
КамАЗ-5320	борт.	8,00	25,0 (д)	2,8	0,4	0,15	0,35
КамАЗ-5511	сам.	10,0	34,0 (д)	2,8	0,4	0,15	0,35
КамАЗ-5410	тяг.сід.	–	25,0 (д)	2,8	0,4	0,15	0,35
КрАЗ-250	борт.	13,3	38,0 (д)	2,9	0,4	0,1	0,3
КрАЗ-6510	сам.	13,5	48,0 (д)	2,9	0,4	0,1	0,3
КрАЗ-6444	тяг.сід.	–	37,0 (д)	2,9	0,4	0,1	0,3
БелАЗ-7527	сам.	42,0	160,0 (д)	4,3	0,5	1,0	0,3