МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи

з дисципліни

Методи наукових досліджень

(*для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання для спеціальностей 8.07010101 «Транспортні системи* (*за видами транспорту*)», *8.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті* (*за видами транспорту*)», *8.07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху»*)

Харків
ХНАМГ
2012

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Методи наукових досліджень» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання для спеціальностей 8.07010101 «Транспортні системи (за видами транспорту)», 8.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті (за видами транспорту)», 8.07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. К. Доля. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 24 с.

Укладач: проф. В. К. Доля

Рецензент: проф. Ю. О. Давідіч

Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики,
протокол № 1 від 29 серпня 2011 р.

ЗМІСТ

ВСТУП

Метою дисципліни “Методи наукових досліджень ” є формування у студентів навичок постановки наукових завдань та їх вирішення на теоретичному й емпіричному рівнях. Вивчення дисципліни має сформувати потребу в одержанні нових знань. В результаті вивчення дисципліни студент повинен вивчити: структуру наукового дослідження і понятійний апарат науки; технологію проведення наукового дослідження; правила оформлення і представлення результатів наукового дослідження.

Об’єктом дисципліни є наукове дослідження і технічна творчість.

Предметом дисципліни є технологія наукового дослідження.

Зміст дисципліни полягає у розкритті методів і методик планування і проведення наукового дослідження, аналізу й узагальнення його результатів, оформлення результатів дослідження у вигляді звіту, статті, заявки на винахід та ін.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ЕКСТРЕМУМУ МЕТОДОМ КРУТОГО СХОДЖЕННЯ БОКСУ-УЇЛСОНА

Мета заняття – ознайомитися з методикою пошуку області екстремуму за методом крутого сходження.

Вихідні дані. Досліджується процес зносостійкості поверхні колінчастого валу двигуна автомобіля залежно від наступних факторів:

X_1 – тиск на шийку колінчастого валу, кгс/ кв. см^2;

X_2 – температура масла, $°C$;

X_3 – тиск масла, кгс/ кв. см^2;

X_4 – час роботи в одному режимі, t, час;

На підставі статистичних спостережень одержані наступні рівні факторів, таблиця 1.1:

Таблиця 1.1 – Рівні факторів

Nn п/п	Найменування	Позначення	X_1	X_2	X_3	X_4
1	Нульовий рівень (мат. очікування факторів)	X_{jo}	30	10	60	4
2	Інтервал варіювання факторів	j_j	10	1,5	20	1,5
3	Верхній рівень	X_{bj}	40	11,5	80	5,5
4	Нижній рівень	X_{Hj}	20	8,5	40	2,5

Таблиця 1.2

Позначення	Nn дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8
	Y_{1i}	61,5+0,1i	69,5+0,3j	63,8-0,5i	67,5+0,2i	60,8-0,1j	69,3+0,2i	59,3+0,3j	71,4-0,3j
	Y_{2i}	59,5+0,1j	71,5-0,1i	65,0+0,1j	65,9+0,3j	63,4+0,2j	67,9-0,1i	61,9+0,4i	69,9+0,1j

де і – остання цифра залікової книжки (або студентського квитка), j – передостання цифра.

Порядок роботи:

Ухвалюється рішення описувати цей процес за допомогою лінійної моделі

$$Y = B_o + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4.$$

Для планування експерименту використовуємо дробовий факторний експеримент.

Тоді приймаємо 2^{4-1}_{III} генеруючим співвідношенням $X_4 = X_1X_2X_3$.

Для перевірки однорідної дисперсії відгуку проводиться два паралельні опити. Матриця планування 2^{4-1}_{III} для чьотирифакторної залежності й результати випробувань наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Матриця планування

Nn дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_{1i}	Y_{2i}	Перевірка адекватності				
		a	b	c	d			Y_i дослід	S^2	Y_i розр.	Δ_i	Δ_i^2
1	+	-	-	+	+	61,5	59,5	60,5	2,0	60,5	0	0
2	+	+	-	-	+	69,5	71,5	70,5	2,0	70,5	0	0
3	+	-	+	-	+	63,8	65,0	64,4	0,72	63,5	1,1	1,21
4	+	+	+	+	+	67,5	65,9	66,7	1,38	76,7	1,0	1,0
5	+	-	-	-	-	60,8	63,4	62,1	3,38	63,3	1,2	1,44
6	+	+	-	+	-	69,3	67,9	68,6	0,98	67,7	0,9	0,81
7	+	-	+	+	-	59,3	61,9	60,6	3,28	60,5	0,1	0,01
8	+	+	+	-	-	71,4	69,9	70,6	1,28	70,5	0,1	0,04
								524	15,02		$SS_{ост}$	4,48

1. Перевірити однорідність дисперсій за критерієм Кохрена.

Визначимо критерій Кохрена за формулою

$$G_{p\,кохр} = \frac{S^2_{\max}}{\sum_{i=1}^{N} S^2}. \qquad G_{p\,кохр} = \frac{3{,}38}{15{,}02} = 0{,}22 \qquad (1.1)$$

Табличне значення критерію Кохрена $\alpha = 0{,}05$, кількість ступенів свободи $K_1 = 2-1 = 1$ і кількість рядків $N = 8$ дорівнює $G_{кохр} = 0{,}68$.

Оскільки $G_{m\,кохр} = 0{,}68 > G_{p\,кохр} = 0{,}22$, то можна вважати що дисперсії однорідні.

2. Визначити коефіцієнти моделі за середніми значеннями функції відгуку.

Обчислюються коефіцієнти моделі за середніми значеннями функції відгуку

$$B_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{0j}Y_j}{N}; \qquad B_0 = \frac{524}{8} = 65{,}5. \qquad (1.2)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{1j}Y_j}{N}; \qquad (1.3)$$

$$B_1 = \frac{-60{,}5 + 70{,}5 - 64{,}4 + 66{,}7 - 62{,}1 + 68{,}6 - 60{,}6 + 70{,}6}{8} = 3{,}6.$$

$$B_2 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{2j} Y_j}{N}; \qquad (1.4)$$

$$B_3 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{3j} Y_j}{N}; \qquad (1.5)$$

$$B_4 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{4j} Y_j}{N}. \qquad (1.6)$$

Таким чином, на першому етапі рівняння моделі має наступний вигляд:

$$Y = 65{,}5 + 3{,}6X_1 + 0{,}075X_2 - 1{,}4X_3 + 0{,}025X_4.$$

3. Оцінка статистичної значущості коефіцієнтів моделі.

Дисперсія відтворюваності всього експерименту, що дорівнює середньому значенню дисперсій, для цього завдання дорівнює:

$$\overline{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{2}(y_{ij} - \overline{y}_j)^2}{N(4-1)}; \qquad \overline{S}^2 = \frac{15{,}02}{8(2-1)} = 1{,}87 \qquad (1.7)$$

$$\delta_\kappa = \sqrt{S^2}; \qquad \delta_\kappa = \sqrt{1{,}87} = 1{,}36 \qquad (1.8)$$

Знаходимо t–критерий Стьюдента для х=0,05, числа ступенів свободи $K_2 = N_1 - 1 = 8 \cdot 1 - 1 = 15$ складають $t_p = 2{,}13$.

Статистичну оцінку значущості коефіцієнтів моделі проводимо в табличній формі (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Статистична оцінка значущості коефіцієнтів моделі

Коефіцієнт моделі B	Чисельне значення B_j	$N_1 = N \cdot 4 = 8 \cdot 2$	Среднеквадр. відхилення коефіцієнт $\delta_k = \frac{S^2}{8 \cdot 2}$	Величина інтервалу розкиду коефіцієнту $\delta = \delta_k \cdot t_p$	Порівняння $\lvert B_j \rvert \lessgtr \delta$
B_0	65,5	16	0,342	0,342·2,13=0,728	65,5>0,728
B_1	3,6	16	0,342	0,728	3,6>0,728
B_2	0,075	16	0,342	0,728	<u>0,075<0,728</u>
B_3	-1,4	16	0,342	0,728	1,4>0,728
B_4	0,025	16	0,342	0,728	<u>0,025<0,728</u>

Із таблиці 1.3 видно, що коефіцієнти B_2 і B_4 незначущі і, отже, з моделі повинні бути виключені.

Отже, що після «відсіву» незначущих коефіцієнтів рівняння математичної моделі запишеться наступним чином:

$$Y = 65{,}51 + 3{,}6X_1 - 1{,}4X_3.$$

4. Перевірити адекватність моделі за критерієм Фішера.

$$F_{P_{\overline{s^2}}} = \frac{S_{HA}^2}{S_{воспр}^2} = \frac{\left[4 \cdot \sum_{i=1}^{N} (y_{iрасч} - y_{iопыт})^2\right] / N - d}{\left[\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{4} (y_{ij} - \overline{y_i})^2\right] / N(4-1)}; \qquad (1.9)$$

$$F_{P_{\overline{s^2}}} = \frac{2 \cdot 4{,}48/8 - 3}{1{,}87} = \frac{1{,}79}{1{,}87} = 0{,}95$$

Табличне значення критерію Фішера при α=0,05, число ступенів свободи $K_1 = N - d = 8 - 3 = 5$ *и* $K_2 = N \cdot 4 - 1 = 8 \cdot 2 - 1 = 15$. Складає $F_T = 2{,}9$

Оскільки $F_T = 2{,}9 > F_P = 0{,}95$, то одержана математична модель у початковій точці (точка A_1) адекватно описує поверхню функції відгуку, і вона може бути використана для крутого сходження по поверхні відгуку.

Здійснюємо круте сходження в напрямку вектора-градієнта.

$$\text{grad}(\hat{Y}) = 3{,}6\text{i} - 1{,}4\text{j},$$

де i, j – одиничні вектори (орти), направлені на коефіцієнти вісей.

При сходженні вектором-градієнтом незначущі чинники X_2 і X_4 можуть бути зафіксовані на будь-якому рівні: наприклад, хай X_2=20 і X_4=2.

Величина кроку може бути прийнята рівною певній частині $B_j l_j$, пропорційної складової градієнта, де l_i – інтервал варіювання.

Приймемо для цього завдання крок руху градієнтом, що дорівнює одній чверті вісі $B_j l_j$ (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Кроковий процес

Nn n/n	Етапи крокового процесу	Позначення	X_1	X_2	X_3	X_4	$У_i$
1	Основний рівень (точка A_1)	X_{j0}	30	10	60	4	65,5
2	Інтервал варіювання за чинниками	l_j	10	1,5	20	1,5	
3	Значення коефіцієнта	B_j	3,6		-1,4		
4	Добуток	$B_j l_j$	36		-28		
5	Величина кроку $= \frac{1}{4} B_j l_j$	h	9		-7		
6	Перший крок (точка A_2)	$X_{0j} + h$	39	20	53	2	71,5
7	Другий крок (точка A_3)	$X_{0j} + 2h$	48	20	46	2	-
8	Третій крок (точка A_4)	$X_{0j} + 3h$	57	20	39	2	80
9	Четвертий крок (точка A_5)	$X_{0j} + 4h$	66	20	32	2	-
10	П’ятий крок (точка A_6)	$X_{0j} + 5h$	75	20	25	2	75
11	Шостий шаг (точка A_5) рух у зворотній бік	$X_{0j} + 4h$	66	20	32	2	87

Аналізуючи таблицю 1.5, бачимо, що після п'ятого кроку (у точку A_6) вихідна величина погіршується. Тому необхідно повернуться в точку A_5, для якої провадиться уявний дослід. Потрібно одержати математичну модель для цієї точки, провести статистичну оцінку коефіцієнтів моделі, перевірити адекватність моделі. Це означає, що для точки A_5 необхідно реалізувати новий повний експеримент чинника для значущих чинників X_1 і X_3. Початкові дані для цього експерименту подані в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Вихідні дані для ПФЭ

Nn n/n	Параметри	Позначення	X_1	X_3
1	Основний рівень	X_{j0}	66	32
2	Інтервал варіювання	l_j	10	20
3	Верхній рівень	X_{jB}	76	52
4	Нижній рівень	X_{jH}	56	12

Проведемо кодування чинників X_1 і X_3

$$\tilde{X}_{1B} = \frac{X_{1B} - X_{10}}{l_1} = \frac{76-66}{10} = +1 \qquad \tilde{X}_{1H} = \frac{56-66}{10} = -1$$

$$\tilde{X}_{3B} = \frac{X_{3B} - X_{30}}{l_3} = \frac{52-32}{20} = +1 \qquad \tilde{X}_{3H} = \frac{12-32}{20} = -1$$

Припускаємо, точність відтворення дослідів не змінювалася, тобто що дисперсія експерименту залишилася рівною . Провадимо дослід в точці A_5 (табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Результати випробувань в точці A_5

Nn досліду	X_0	X_1	X_2	y_i опитне	$B_0 = 88{,}17$	$B_1 = 2{,}675$	$B_3 = -2{,}27$	Перевірка адекватності		
					B_0X_0	B_1X_1	B_3X_3	$y_{i\,расч}$	Δ_j	Δ_j^2
1	+	-	-	92,0	88,17	-2,675	+2,27	87,76	4,24	17,97
2	+	+	-	88,9	88,17	+2,675	+2,27	93,11	4,21	17,74
3	+	-	+	79,0	88,17	-2,675	-2,27	83,22	4,22	17,80
4	+	+	+	92,8	88,17	+2,675	-2,27	88,57	4,23	17,89

Залишкова сума квадратів дорівнює

$$SS_{ост} = \sum_{j=1}^{N}(y_{j\,опыт} - y_{j\,расч})^2; \qquad SS_{ост} = 71{,}4 \qquad (1.10)$$

Коефіцієнти моделі:

$$B_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{0j}Y_j}{N} = \frac{+92+88{,}9+79+92{,}8}{4} = 88{,}17, \qquad B_1 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{1j}Y_j}{N} = \frac{-92+88{,}9-79+92{,}8}{4} = 2{,}675\ ,$$

$$B_3 = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_{3j}Y_j}{N} = \frac{-92-88{,}9+79+92{,}8}{4} = -2{,}27.$$

Отже в точці A_5 модель має наступний вигляд:

$$Y = 88{,}17 + 2{,}675X_1 - 2{,}27X_3$$

Вважаючи, що точність дослідів не змінилася, проводимо статистичну оцінку значущості коефіцієнтів моделі (табл. 1.8).

Для цього визначаємо табличні значення t-критерію Стьюдента для $\alpha = 0{,}05$, число ступенів свободи $K_2 = N - 1 = 4 - 1 = 3$, $t_T = 3{,}18$.

Таблиця 1.8 – Статистична оцінка значущості коефіцієнта моделі у точці A_5 при $\alpha = 0{,}05$ і t =3,18

Коефіцієнт моделі, B_j	**Чисельне значення,** B_i	$\sum X_{ij}^2$	**Среднеквадр. відхилення коефіц.** $\delta_k = \sqrt{\frac{1{,}87}{4}}$	**Величина полуінтервалу розкиду коефіцієнта** $\delta = \delta_k \cdot t$	**Порівняння** $\lvert B_j \rvert >< \delta$
B_0	88,17	4	0,683	0,683·3,18=2,17	88,17>2,17
B_1	2,675	4	0,683	2,17	2,675>2,17
B_3	-2,27	4	0,683	2,17	2,27>2,17

Із таблиці 1.8 видно, що для точки A_5 всі коефіцієнти моделі статистично значущі.

Перевіряється модель у точці A_5 на адекватність за критерієм Фішера

$$F_p = \frac{S^2\{y\}_{н.а}}{S^2\{y\}_{воспр}} = \frac{\left[\sum_{j=1}^{N}(y_{j\,опыт} - y_{j\,расч})^2\right]/(N-d)}{1{,}87} = \frac{71{,}4/(4-3)}{1{,}87} = 38 .$$

Табличне значення критерія Фішера для $\alpha = 0{,}05$, число ступенів свободи $K_1 = N - d = 4 - 3 = 1$ и $K_2 = N - 1 = 4 - 1 = 3$ складає $F_T = 10$.

Оскільки $F_p = 38 > F_T = 10$, то це свідчить про те, що в крапці A_5 лінійна модель неадекватна. Це означає, що в точці A_5 досягнута область екстремуму функції.

Контрольні питання

1. Для чого використовується методика пошуку області екстремуму за методом крутого сходження?
2. Який вид моделі використовується для опису процесу?
3. Який критерій визначає однорідність дисперсій?
4. Як проводиться оцінка статистичної значущості коефіцієнтів моделі?
5. Як проводиться оцінка адекватності моделі?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПАРАМЕТР ОПТИМІЗАЦІЇ

Мета заняття – ознайомитися з узагальненими параметрами оптимізації і способами їх визначенням

Вихідні дані.

Припустимо, що досліджується процес електричного нарощування металу при ремонті автомобільних двигунів. Чинниками служать: сила струму – X1 і температура електроліту – X2.

Як параметри оптимізації розглядаються: поверхнева твердість $\tilde{Y}_1$, питома ударна в'язкість $\tilde{Y}_2$ і зносостійкість $\tilde{Y}_3$.

Таблиця 2.1 – Результати натурних спостережень

	Nn дослідів	**1**	**2**	**3**	**4**
Позначення	$\tilde{Y}_1$	8+0,1i	10+0,3j	24-0,5i	36+0,2i
	$\tilde{Y}_2$	90+0,1j	80-0,1i	70+0,1j	60+0,3j
	$\tilde{Y}_3$	1,1	1,5	2,6	0,7

де i – остання цифра залікової книжки (або студентського квитка), j – передостання цифра.

Теоретичні відомості. Параметр (показник) оптимізації – це кількісний вираз ознаки, за допомогою процесу, що вивчається. Параметр оптимізації виражається числом.

Сама ознака – це критерії.

Розрізняють наступні критерії:

1) економічні (прибуток, собівартість, рентабельність);

2) техніко-економічні (продуктивність, надійність, довговічність, коефіцієнт корисної дії і т.д.);

3) технико-технологічні (вихід продукту, фізичні або механічні характеристики, економічні й т.д.);

4) соціальної адекватності (ергономічні, естетичні, екологічні й т.д.).

Для оцінки ефективності процесу за декількома критеріями застосовують узагальнений параметр, що є функціями кількох частних параметрів.

Для визначення узагальнених параметрів застосовуються наступні способи:

1. Як узагальнений параметр застосовують один, найбільш важливий, із погляду системи. Інші використовуються як обмеження.

2. Узагальнений параметр оптимізації утворюється у вигляді середнього геометричного з частних параметрів, значенням яких відповідає альтернативна умова «0» і «1» (годний або не годний).

3. Утворення узагальненого параметра оптимізації у вигляді аддитивної функції, що складається з частних параметрів, помножених на відповідні «ваги». Ваги визначають експертним методом.

4. Утворення узагальненого параметра у вигляді середнього геометричного з приватних параметрів, одержаних за допомогою шкали бажаності.

Порядок праці:

1. Розглянемо «другий спосіб» визначення узагальнених параметрів оптимізації.

Узагальнений параметр $\hat{\hat{Y}}$ як середнє геометричне з частних параметрів:

$$\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{\hat{Y}_I \, \hat{Y}_{II} \, \hat{Y}_{III}} \qquad (2.1)$$

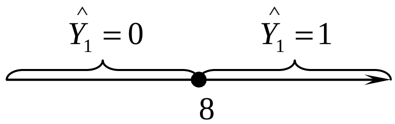
Розглянемо порядок розрахунку $\hat{\hat{Y}}$.

Припустимо, для визначення вказаних параметрів прийнята лінійна модель

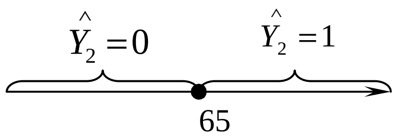
$$\hat{Y} = B_0 X_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 .$$

Виходячи з технічних і фізичних міркувань, на параметри оптимізації накладені наступні обмеження:

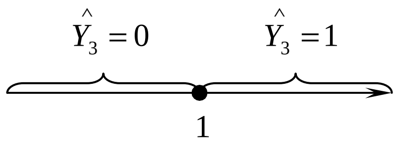
$$\hat{Y}_I = \begin{cases} 1, \textit{если } y_{1i} \geq 8 \\ 0, \textit{если } y_{1i} < 8 \end{cases}$$



$$\hat{Y}_{II} = \begin{cases} 1, \textit{если } y_{1i} \geq 65 \\ 0, \textit{если } y_{1i} < 65 \end{cases}$$



$$\hat{Y}_{II} = \begin{cases} 1, \textit{если } y_{1i} \geq 1 \\ 0, \textit{если } y_{1i} < 1 \end{cases}$$



Результати наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

№ досліду	X_0	X_1	X_2	$\hat{Y}_I$		$\hat{Y}_{II}$		$\hat{Y}_{III}$		Узагальн. парам. $\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{\hat{Y}_I \hat{Y}_{II} \hat{Y}_{III}}$
				Натур.	Умов.	Натур.	Умов.	Натур.	Умов.	
1	+	-	-	8	1	90	1	1,1	1	$\sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1} = 1$
2	+	+	-	10	1	80	1	1,5	1	$\sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1} = 1$
3	+	-	+	24	1	70	1	2,6	1	$\sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1} = 1$
4	+	+	+	36	1	60	0	0,7	0	$\sqrt{1 \cdot 0 \cdot 0} = 0$

Далі обчислюється коефіцієнти моделі

$$B_0 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{oj} Y_j}{N}; \qquad B_0 = \frac{8 + 10 + 24 + 36}{4} = 19{,}5 \qquad (2.2)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{1j} Y_j}{N}; \qquad B_1 = \frac{-8 + 10 - 24 + 36}{44} = 3{,}5 \qquad (2.3)$$

$$B_2 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{2j} Y_j}{N}; \qquad B_2 = \frac{-8 - 10 + 24 + 36}{4} = 10{,}5 \qquad (2.4)$$

Модель першого параметра оптимізації має вигляд

$$\hat{Y}_1 = 19{,}5 + 3{,}5X_1 + 10{,}5X_2$$

$$grad\,(\hat{Y}_1) = 3{,}5i + 10{,}5i$$

Для другого частного параметру

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^{4}(X_{oi}Y_i)}{N}; \qquad B_0 = \frac{90+80+70+60}{4} = 75 \qquad (2.5)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^{4}(X_{1i}Y_i)}{N}; \qquad B_1 = \frac{-90+80-70+60}{4} = -5 \qquad (2.6)$$

$$B_2 = \frac{\sum_{i=1}^{4}(X_{2i}Y_i)}{N}; \qquad B_2 = \frac{-90-80+70+60}{4} = -10 \qquad (2.7)$$

$$\hat{Y}_{//} = 75 - 5X_1 - 10X_2$$

$$grad(\hat{Y}_{//}) = -5i - 10i.$$

Для третього частного параметра

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^{4}X_{oi}Y_i}{N}; \qquad B_0 = \frac{1{,}1+1{,}5+2{,}6+0{,}7}{4} = 1{,}475 \qquad (2.8)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^{4}X_{1i}Y_i}{N}; \qquad B_1 = \frac{-1{,}1+1{,}5-2{,}6+0{,}7}{4} = -0{,}375. \qquad (2.9)$$

$$B_3 = \frac{\sum_{i=1}^{4}X_{3i}Y_i}{N}; \qquad B_3 = \frac{-1{,}1-1{,}5+2{,}6+0{,}7}{4} = 0{,}175. \qquad (2.10)$$

Тоді

$$\hat{Y}_{///} = 1{,}475 - 0{,}375X_1 + 0{,}175X_2$$

$$grad(\hat{Y}_{///}) = -0{,}375i + 0{,}175i.$$

Для узагальненого параметра оптимізації, що дорівнює середньому геометричному, коефіцієнт моделі складають

$$B_0 = \frac{\sum_{j=1}^{4}X_{oj}Y_j}{N}; \qquad B_0 = \frac{1+1+1+0}{4} = 0{,}75. \qquad (2.11)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{j=1}^{4}X_{1j}Y_j}{N}; \qquad B_1 = \frac{-1+1-1+0}{4} = -0{,}25. \qquad (2.12)$$

$$B_2 = \frac{\sum_{j=1}^{4}X_{2j}Y_j}{N}; \qquad B_2 = \frac{-1-1+1+0}{4} = -0{,}25 \qquad (2.13)$$

Тому

$$\hat{\hat{Y}} = 0{,}75 - 0{,}25X_1 - 0{,}25X_2$$

2. Розглянемо «третій спосіб» визначення узагальнених параметрів оптимізації.

Вагові коефіцієнти визначаються експертами.

Узагальнений параметр визначаються за формулою:

$$\hat{\hat{Y}} = \sum \alpha_j \left(\frac{y_i - y_{iальт}}{y_{iальт}}\right)^2 = \alpha_1\left(\frac{y_1 - y_{1альт}}{y_{1альт}}\right)^2 + \alpha_2\left(\frac{y_2 - y_{2альт}}{y_{2альт}}\right)^2 + \alpha_3\left(\frac{y_3 - y_{3альт}}{y_{3альт}}\right)^2; \qquad (2.14)$$

де α_j – вагові коефіцієнти;

$y_{iальт}$ – альтернативні обмеження за кожним з частних параметрів.

Припустимо, що внаслідок експертних оцінок одержано:

$$\alpha_1 = 2, \alpha_2 = 5, \alpha_3 = 10,$$

для першого рядка матриці планування (таблиця 1) одержимо.

$$\hat{\hat{Y}} = 2\left(\frac{8-8}{2}\right)^2 + 5\left(\frac{90-65}{65}\right)^2 + 10\left(\frac{1{,}1-1}{1}\right)^2 = 0{,}83$$

Аналогічно розрахунок ведеться для рядків, що досліджуються

$$\hat{\hat{Y}}_1 = 2\left(\frac{10-8}{2}\right)^2 + 5\left(\frac{80-65}{65}\right)^2 + 10\left(\frac{1{,}5-1}{1}\right)^2 = 2{,}89 \qquad \hat{\hat{Y}}_2 = 2\left(\frac{24-8}{2}\right)^2 + 5\left(\frac{70-65}{65}\right)^2 + 10\left(\frac{2{,}6-1}{1}\right)^2 = 33{,}62$$

$$\hat{\hat{Y}}_3 = 2\left(\frac{36-8}{2}\right)^2 + 5\left(\frac{60-65}{65}\right)^2 + 10\left(\frac{0{,}7-1}{1}\right)^2 = 29{,}42.$$

Коефіцієнти моделі для узагальненого параметра.

$$B_0 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{oj} Y_j}{N} = \frac{0{,}83 + 2{,}89 + 33{,}62 + 29{,}42}{4} = 16{,}69 \qquad B_1 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{1j} Y_j}{N} = \frac{-0{,}83 + 2{,}89 - 33{,}62 + 29{,}42}{4} = -0{,}53$$

$$B_3 = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{3j} Y_j}{N} = \frac{-0{,}83 - 2{,}89 + 33{,}62 + 29{,}42}{4} = 14{,}83.$$

Тому

$$\hat{\hat{Y}} = 16{,}69 - 0{,}53 X_1 + 14{,}83 X_2$$

$$grad\,(\hat{\hat{Y}}) = -0{,}53i + 14{,}83i.$$

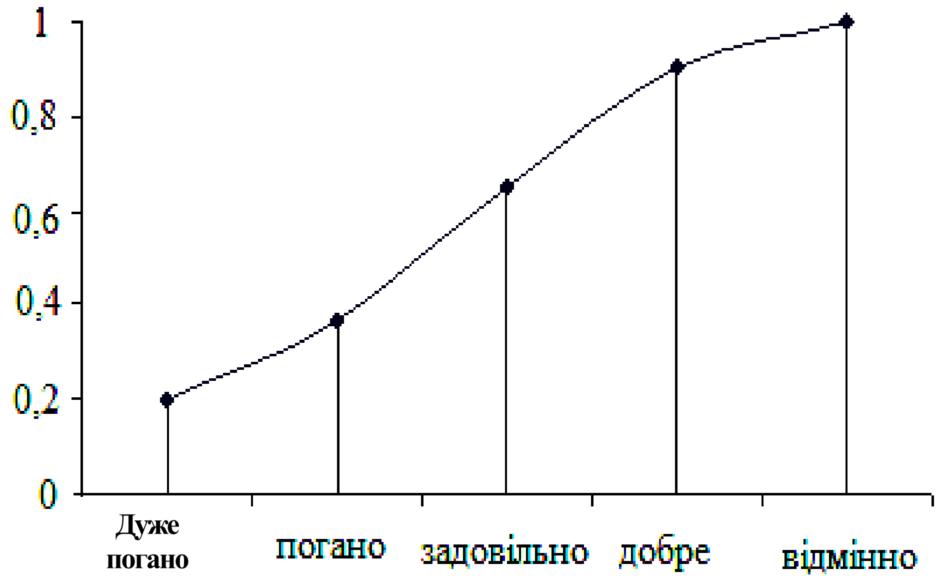
3. Розглянемо «четвертий спосіб» визначення узагальнених параметрів оптимізації при використанні «шкали бажаності».

Кожному з параметрів оптимізації відповідає шкала, що називається шкалою бажаності «градації».

Ця шкала встановлює залежність між вихідними значеннями приватного параметра оптимізації та якісною оцінкою цієї величини.

Шкала бажаності має безрозмірний вигляд:

Дуже добре (відмінно)	1,00 – 0,80
Добре	0,80 – 0,63
Задовільно	0,63 – 0,37
Погано	0,37 – 0,20
Дуже погано	0,20 – 0,00



Шкали бажаності обмежують зліва показником 0,37, а справа – 0,8.

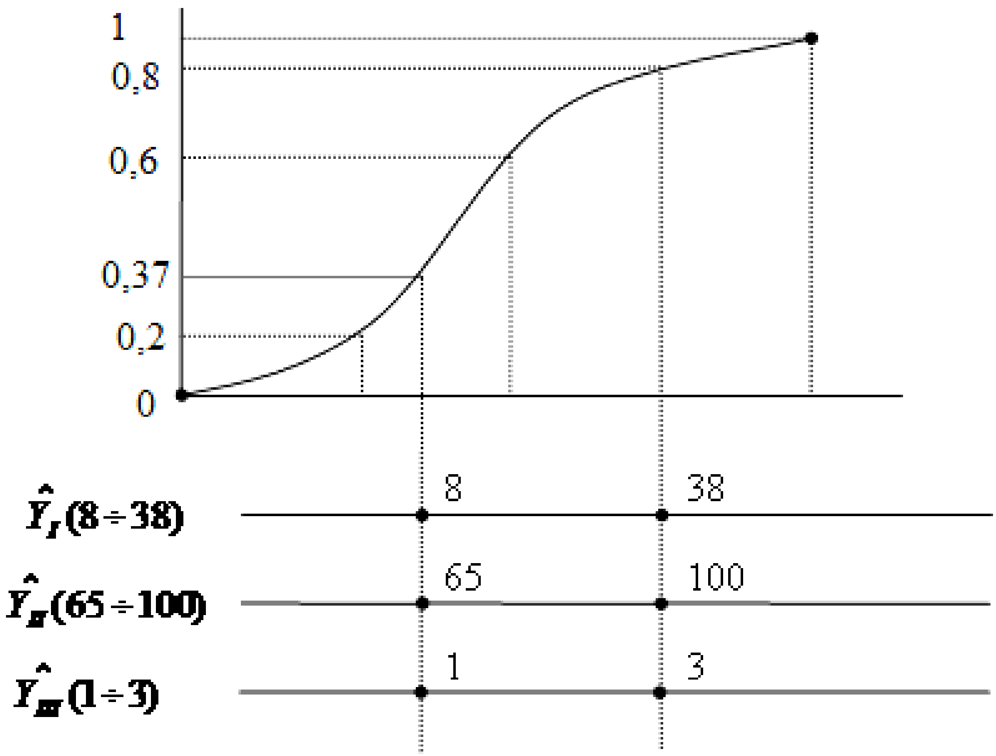
За початок звіту приймають точки, що відповідає шкалі градації 0,37.

Кінцем служить крапка 0,8 на шкалі.

Інтервал між 0,37 – 0,8 поділяють для кожного з приватних параметрів пропорційно фізичній сутності кожного із вказаних параметрів.

Визначення решти точок відповідно до шкали градації вимагає від експериментатора значення сутності цього явища й обережності.

Розглянемо порядок приведення крапок у відповідність з школою градації на прикладі таблиці 2.3.



Кожному значенню дослідної точки приписується значення показника на шкалі бажаності.

Таблиця 2.3

№ досліду	$\hat{Y}_I$		$\hat{Y}_{II}$		$\hat{Y}_{III}$		Узагальнений параметр
	Натур	**Умов.**	**Натур**	**Умов.**	**Натур**	**Умов.**	
1	8	0,37	90	0,78	1,1	0,39	$\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{0,37 \cdot 0,78 \cdot 0,39} = 0,48$
2	10	0,50	80	0,63	1,5	0,50	$\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{0,5 \cdot 0,63 \cdot 0,5} = 0,533$
3	24	0,64	70	0,50	2,6	0,78	$\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{0,64 \cdot 0,5 \cdot 0,78} = 0,63$
4	36	0,78	60	0,00	0,7	0,00	$\hat{\hat{Y}} = \sqrt[3]{0,78 \cdot 0 \cdot 0} = 0$

Визначаємо коефіцієнти моделі для узагальненого параметра оптимізації.

$$B_0 = \frac{0,48 + 0,533 + 0,63 + 0}{4} = 0,41 \qquad B_1 = \frac{-0,48 + 0,533 - 0,63 + 0}{4} = -0,144$$

$$B_2 = \frac{-0,48 - 0,533 + 0,63 + 0}{4} = -0,095 \qquad \hat{\hat{Y}} = 0,41 - 0,144 X_1 - 0,095 X_2$$

$$grad\,(\hat{\hat{Y}}) = -0,144 i - 0,095 i$$

Аналітично графік функції бажаності виражається за допомогою наступної залежності:

$$\hat{\hat{Y}} = e^{-e^{-x}}.$$

Коли x=0 отримуємо:

лівий кінець шкали бажано $\hat{\hat{Y}}_{лев} = e^{-e^{-0}} = e^{-1} = 0,37$;

правий кінець шкали бажано $\hat{\hat{Y}}_{прав} = 1 - 0,37 = 0,63$.

Контрольні питання

1. Для чого використовується узагальнений параметр оптимізації?
2. Як визначаються коефіцієнти моделі для узагальненого параметра?
3. Яким чином розбивається шкала бажаності?
4. Яким чином проводиться обмеження шкали бажаності?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. СИМПЛЕКС-ГРАТЧАСТЕ ПЛАНУВАННЯ (ПЛАНИ ШЕФЕ)

Мета заняття – дослідити залежність октанового числа (04) суміші, що складається з трьох сортів бензину: АІ-93, А-76 і А-66, за допомогою симплекс-решітчастого планування експерименту.

Вихідні дані.

бензин АИ-93 --- X_1

бензин А-76 ----- X_2

бензин А-66 ----- X_3

октанове число (04) – У

	№ досліду	Склад суміші			Паралельні досліди		Середнє значення октанового числа (опитне)	Дисперсія за рядком S_i
		X_1	X_2	X_3	$У_1$	$У_2$		
	1				100+0,1·i	100+0,1·j		
	2				85+0,3·j	85-0,1·i		
	3				90-0,5·i	85+0,1·j		
	4				88+0,2·i	89+0,3·j		
	5				90-0,1·j	90+0,2		
	6				85+0,2·i	85+0,2·j		
Додаткові точки	7				88+0,3·j	88-0,1·i		
	8				89-0,3·j	86+0,4·i		
	9				90-0,4·i	88+0,1·j		

де i – остання цифра залікової книжки (або студентського квитка), j – передостання цифра.

Модель зв'язку $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ подається у вигляді приведеного рівняння другого порядку.

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 .$$

Порядок виконання роботи:

1. Визначити число точок плану.

Симплекс-решітчасті плани є насиченими, тобто число дослідів для цих планів дорівнює числу коефіцієнтів моделі. При цьому, число дослідів визначають за формулою числа поєднань

$$N = G_{q+n-1}^{n} = \frac{(n+q-1)!}{n!(q-1)} , \qquad (3.1)$$

де q – число компонентів, що створюють суміш;

n – ступінь поліному математичної моделі.

Оскільки зв'язок $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ описано моделлю другого порядку, то q=3, n=2. Тому

$$N = G_{3+2-1}^{2} = G_4^2 = \frac{(2+3-1)!}{2!(3-1)!} = \frac{4!}{2!2!} = \frac{24}{4} = 6 .$$

2. Скласти матрицю симплекс-гратчастого планування другого порядку для три компонентної суміші трьох сортів бензину.

Таблиця 3.1 – Матриця симплекс-гратчастого планування

	№ досліду	Склад суміші (частка одиниці)			Паралельні досліди		Середнє значення октанового числа (опитне)	Дисперсія за рядком S_i
		X_1	X_2	X_3	$У_1$	$У_2$		
	1	1	0	0	100,8	100,9	$У_1$=100,85	0,005
	2	0	1	0	85,2	85,6	$У_2$=85,4	0,08
	3	0	0	1	86,0	85,0	$У_3$=85,5	0,5 max
	4	1/2	1/2	0	88,8	89,3	$У_{12}$=89,05	0,11
	5	1/2	0	1/2	90,3	90,7	$У_{13}$=90,5	0,08
	6	0	1/2	1/2	85,5	85,4	$У_{23}$=85,45	0,05
Додаткові точки	7	0,333	0,333	0,333	88,3	88,8	$У_{123}$=88,55	0,11
	8	0,15	0,595	0,255	86,6	86,8	$У_0$=86,7	0,02
	9	0,3	0,49	0,21	87,6	88,1	$У_0$=87,85	0,11

$$\sum_{i=1}^{9} S_i = 1{,}065$$

Дисперсія за рядком розраховується за формулою:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m} (y_{ji} - \overline{y_i})^2}{m-1}, \qquad (3.2)$$

де m – число паралельних дослідів у рядку.

3. Перевірити однорідність дисперсії виміру функції відгуку по критерію Кохрена.

Дослідне значення критерію Кохрена дорівнює

$$G_{дослід} = \frac{S^2_{i\max}}{\sum_{i=1}^{9} S_i^2}. \qquad G_{дослід} = \frac{0{,}5}{1{,}065} = 0{,}469 \qquad (3.3)$$

Вважається, що дисперсії однорідні, якщо дослідне значення критерію Кохрена не перевищує табличного.

Табличне значення критерію Кохрена визначають для рівня значущості P=0,05, числа ступенів свободи K=2-1=1 і N=9, $G_{табл} = 0{,}64$.

Оскільки

$$G_{дослід} = 0{,}469 < G_{табл} = 0{,}64,$$

то гіпотеза про однорідність дисперсії не відкидається.

4. Обчислити коефіцієнти моделі

$$\begin{aligned}
\bar{b}_{12} &= 4Y_{12} - 2Y_1 - 2Y_2; & \bar{b}_{12} &= 4*89{,}05 - 2*100{,}85 - 2*85{,}4 = -16{,}3;\\
\bar{b}_{13} &= 4Y_{13} - 2Y_1 - 2Y_3; & \bar{b}_{13} &= 4*90{,}5 - 2*100{,}85 - 2*85{,}5 = -10{,}5; \qquad (3.4)\\
\bar{b}_{23} &= 4Y_{23} - 2Y_2 - 2Y_3. & \bar{b}_{23} &= 4*85{,}45 - 2*100{,}85 - 2*85{,}5 = 0.
\end{aligned}$$

5. Визначити похибку досліду.

За формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{9} S_i^2}{9}; \qquad (3.5)$$

$$S_y^2 = \frac{1{,}065}{9} = 0{,}118333. \qquad S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{0{,}118333} = 0{,}3439.$$

6. Оцінити похибку коефіцієнтів моделі.

$$\sigma_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{9};. \qquad \sigma_{bi}^2 = \frac{0{,}118333}{9} = 0{,}013148. \qquad (3.6)$$

Отже, коефіцієнт $\bar{b}_{23}$ моделі є не значим.

7. Визначити математичну модель.

$$Y_{расч} = 100{,}85X_1 + 85{,}4X_2 - 16{,}3X_1X_2 - 10{,}7X_1X_3.$$

8. Оцінка коефіцієнтів моделі.

Оскільки симплекс-гратчасті плани є насиченими, то для оцінки коефіцієнтів моделі використовується критерій Стьюдента.

Для цього до основного плану додається декілька точок у центрі плану. Це точки 7,8 і 9. При цьому, якщо для крапок, поставлених у центрі плану, коефіцієнти моделі значимі (за критерієм Стьюдента), то вважають, що і для всього плану модель адекватна.

Дослідне значення критерію Стьюдента для кожної з точок, поставлених в центрі плану, обчислюються за формулою:

$$t_{опыт} = \frac{\Delta_{ijk}\sqrt{m}}{S_y\sqrt{1+\xi}}, \qquad (3.7)$$

де Δ_{ijk} – відхилення в центральній точці розрахункового значення функції відгуку від її досвідченого значення;

$$\Delta_{ijk} = Y_{iррас} - Y_{iдослід}, \qquad (3.8)$$

m – число паралельних дослідів;

ξ – частина дисперсій передбаченого значення функції відгуку, що є функцією тільки координат точок симплексу, для якої наперед обчислені значення проекцій ліній рівного рівня, тобто ізоляції.

Відхилення Δ_{ijk} дорівнюють:

для досліду №7 Δ_{ijk} =87,5-88,5=-0,97;

для досліду №8 Δ_{ijk} =85,88-86,7=-0,82;

для досліду №9 Δ_{ijk} =86,99-87,85=-0,86.

У центральній точці У=0,628. Тому $\xi = 0{,}628$.

Дослідне значення критерію Стьюдента дорівнює

$$t_{дослід} = \frac{0{,}97\sqrt{2}}{0{,}3439\sqrt{1+0{,}628}} = 3{,}16 .$$

Визначається табличне значення критерію Стьюдента для P=0,05 і числа ступенів свободи K_2=N-1=9-1=8

$$t_{табл} = 2{,}31 .$$

Оскільки

$$t_{дослід} = 3{,}16 > t_{табл} = 2{,}31 .$$

Аналогічні співвідношення можуть бути одержані для крапок №8 і №9.

Відповідно коефіцієнти моделі значимі.

Подальші дослідження показали, що для опису зв'язку $y = f(X_1, X_2, X_3)$ потрібно скористатися моделлю третього порядку.

$$\hat{Y} = 100{,}85X_1 + 85{,}4X_2 + 85{,}5X_3 - 16{,}3X_1X_2 - 10{,}7X_1X_3 + 26{,}1X_1X_2X_3 .$$

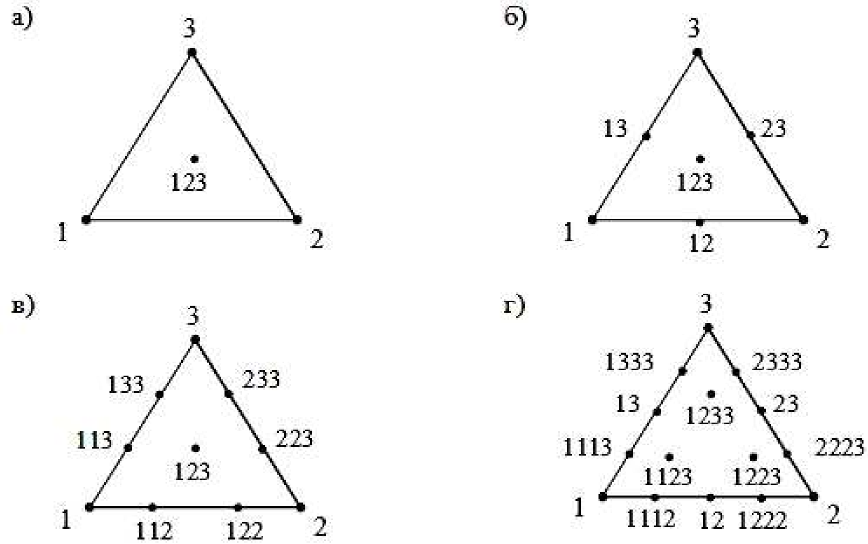


Рис. 3.1 - **Графічне зображення симплексно-гратчастих планів:**
а) лінійна модель; б) квадратна і спеціальна кубічна модель;
в) кубічна модель; г) модель четвертого ступеня

Контрольні питання

1. У яких випадках використовується симплекс-гратчасте планування?
2. Як перевірити адекватність одержаної моделі?
3. Як визначається дисперсія?
4. Яким чином обчислюються коефіцієнти моделі?
5. Як визначається число ступенів свободи?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ЯКІСНИМИ ФАКТОРАМИ

Мета заняття – ознайомитися з методами планування й аналізу експерименту з якісними чинниками.

Вихідні дані.

Досліджується тривалість технічного обслуговування автомобілів механіками з різним виробничим стажем. Рівні чинника складають: перший – 6 років, другий – 12 років, третій – 18 років.

Для кожного з рівнів проведено по чотири рандомізованих виміри тривалості технічного обслуговування (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Параметри	**Рівні фактора Х-стаж механіка**		
	Перший-6 років	**Другий-12 років**	**Третій-18 років**
Номер заміру	**Продуктивність технічного обслуговування, год.**		
1	8+2i	4+0,3j	3+0,1i
2	11+3i	5+0,2i	4-0,4i
3	14+1i	9+0,5i	6+0,5j
4	15+0,5i	10-0,5j	7-0,2i

Потрібно перевірити вплив стажу на продуктивність технічного обслуговування.

Порядок виконання роботи:

Для кожного з рівнів проведено по чотири рандомізованих виміри тривалості технічного обслуговування (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Параметри	**Рівні фактора Х-стаж механіка**		
	Перший-6 років	**Другий-12 років**	**Третій-18 років**
Номер заміру	**Продуктивність технічного обслуговування, год.**		
1	8	4	3
2	11	5	4
3	14	9	6
4	15	10	7
Число вимірів на кожному з рівнів	$m_1 = 4$	$m_2 = 4$	$m_3 = 4$
Середнє арифметичне тривалості обслуговування, год.	12	7	5
Дисперсія на кожному з рівнів чинників	10	8,66	3,33

1. Розрахувати середні арифметичні тривалості обслуговування (функції відгуку) на кожному з рівнів

$$\overline{y}_1 = \frac{8 + 11 + 14 + 15}{4} = 12,$$

$$\overline{y}_{11} = \frac{4 + 5 + 9 + 10}{4} = 7,$$

$$\overline{y}_{111} = \frac{3 + 4 + 6 + 7}{4} = 5.$$

2. Розрахувати загальне середнє арифметичне для всього експерименту

$$\overline{Y}_{общ} = \frac{12+7+5}{3} = 8.$$

3. Розрахувати дисперсію функції відгуку для кожного з рівнів чинників за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{4}(y_{ij} - \overline{y}_j)^2}{m-1}. \qquad (4.1)$$

Тоді для першого рівня

$$S_1^2 = \frac{(8-12)^2 + (11-12)^2 + (14-12)^2 + (15-12)^2}{4-1} = 10,$$

$$S_2^2 = \frac{(4-7)^2 + (5-7)^2 + (9-7)^2 + (10-7)^2}{4-1} = 8{,}66,$$

$$S_3^2 = \frac{(3-5)^2 + (4-5)^2 + (6-5)^2 + (7-5)^2}{4-1} = 3{,}33.$$

4. Перевірити однорідність дисперсії за допомогою критерію Кохрена.

$$G_{дослід}^{кохрена} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^{4} S_i^2} = \frac{10}{10 + 8{,}66 + 3{,}33} = \frac{10}{21{,}99} = 0{,}45.$$

За таблицями для P=0,05 N = m = 4 і числа ступенів свободи K=n-1=3-1=2 визначається табличне значення критерію Кохрена

$$G_{табл}^{кохр} = 0{,}7457,$$

Оцінюється однорідність дисперсії вимірів функції відгуку.

Виходячи з

$$G_{дослід}^{кохр} = 0{,}45 < G_{табл}^{кохр} = 0{,}7457,$$

то дисперсії однорідні.

5. Визначити загальну суму квадратів відхилень функції відгуку від загального середнього за формулою:

$$Д_{общ} = \sum_{j=1}^{3}\sum_{j=1}^{4}(y_{ij} - \overline{y}_{общ})^2; \qquad (4.2)$$

$$Д_{общ} = (8-8)^2 + (4-8)^2 * 2 + (3-8)^2 + (11-8)^2 + (5-8)^2 +$$
$$+ (14-8)^2 + (9-8)^2 + (6-8)^2 + (15-8)^2 + (10-8)^2 + (7-8)^2 = 170$$

Визначається сума чинника квадратів відхилення

$$Д_{факт} = \sum_{i=1}^{3}(\overline{y}_i - \overline{y}_{общ})^2, \qquad (4.3)$$

де $\overline{y}_i$ – середнє арифметичне функції відгуку на кожному з рівнів.

$$Д_{факт} = 4[(12-8)^2 + (7-8)^2 + (5-8)^2] = 104$$

Визначається залишкова сума квадратів

$$Д_{ост} = \sum_{j=1}^{3}\sum_{j=2}^{4}(y_{ij} - \overline{y}_i)^2; \qquad (4.4)$$

$$Д_{ост} = \sum_{j=1}^{3}\sum_{j=2}^{4}(y_{ij} - \overline{y}_i)^2 = [(8-12)^2 + (11-12)^2 + (14-12)^2 + (12-15)^2] + [(4-7)^2 + (5-7)^2 +$$
$$+ (9-7)^2 + (10-7)^2] + [(3-5)^2 + (4-5)^2 + (6-5)^2 + (7-5)^2] = 66.$$

Загальна сума квадратів відхилень дорівнює сумі залишкової та сум факторів (за теорію).

<u>170</u>=66+104=<u>170.</u>

Отже, розрахунки виконані правильно.

6. Визначити загальну незміщену дисперсію.

$$S_{общ}^2 = \frac{Д_{общ}}{K_1} = \frac{1}{m*n_1-1}\sum_{j=1}^{3}\sum_{s=1}^{4}(y_{ij} - \overline{y}_{общ})^2, \qquad S_{общ}^2 = \frac{170}{12-1} = 15{,}45 \qquad (4.5)$$

де K_1 – число ступенів свободи

$$K_1 = m*n_1 - 1 = N - 1, \qquad K_1 = 12 - 1 = 11 \qquad (4.6)$$

m – число замірів «у» для кожного рівня факторів;
n_1 – число рівнів факторів.

Визначається незміщена дисперсія чинника

$$S_{факт}^2 = \frac{Д_{факт}}{K_2}; \qquad S_{факт}^2 = \frac{104}{3-1} = 52, \qquad (4.7)$$

$$K_2 = n_1 - 1. \qquad K_2 = 3 - 1 = 2 \qquad (4.8)$$

Визначається незміщена залишкова дисперсія

$$S_{остат}^2 = \frac{Д_{ост}}{K_3}; \qquad S_{остат}^2 = \frac{66}{11-2} = 7{,}3 \qquad (4.9)$$

$$K_3 = K_1 - K_2. \qquad К_3 = 11 - 2 = 9. \qquad (4.10)$$

7. Визначається дослідне значення критерію Фішера

$$F_{дослід} = \frac{S_{факт}^2}{S_{ост}^2}. \qquad F_{дослід} = \frac{52}{7{,}3} = 7{,}12. \qquad (4.11)$$

Визначається табличне значення критерію Фішера для Р = 0,05, $K_2 = n_1 - 1 = 3 - 1 = 2$ *и* $K_3 = K_1 - K_2 = 11 - 2 = 9$, $F_{табл} = 4{,}3$.

Тоді $F_{дослід} = 7{,}12 > F_{табл} = 4{,}3$, то середні арифметичні обслуговування автомобілів механіками з різним стажем відрізняються одне від одного статистично значимо.

Контрольні питання

1. Для чого проводиться планування експерименту з якісними факторами?
3. Як визначається однорідність дисперсій?
4. Яким чином обчислюється залишкова сума квадратів?
5. Як визначається дослідне значення критерію Фішера?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн. / За заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2006. – Кн. II: Технологія наукових досліджень і технічної творчості / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін. – 341 с. – Бібліогр.: с. 331-336. – ISBN

2. Завадский Ю. В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта: Уч. пособие. – М., 1987. – 156 с.

3. Основы научных исследований / Под ред. В. И. Крутова. – М.: «Высшая школа», 1989. – 400 с.

4. Кринецкий И. И. Основы научных исследований. – Киев-Одесса: Вища школа, 1981. – 208 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять і самостійної роботи
з дисципліни

«Методи наукових досліджень»

(*для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання для спеціальностей 8.07010101 «Транспортні системи* (*за видами транспорту*)», *8.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті* (*за видами транспорту*)», *8.07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху»*)

Укладач **Доля** Віктор Костянтинович

Відповідальний за випуск *В. К. Доля*

Редактор *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 521 М

Підп. до друку 25.02.2011 р.	Формат 60×84/16
Друк на різографі.	Ум. друк. арк. 1,4
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.