

УДК 677.057

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МАШИНОЙ МОЩНОСТЬ МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

Т.П. Туцкая, Ю.Г. Фомин, А.В. Крылов

Выполнены исследования влияния факторов на потребную валковым модулем мощность с использованием методов дисперсионного анализа и наименьших квадратов.

*Ключевые слова:* мощность; факторы; дисперсионный анализ; отделочная машина.

## INFLUENCE FACTORS ON THE MACHINE POWER CONSUMPTION BY ANALYSIS OF VARIANCE

Т.П. Tutskaya, Y.G. Fomin, A.V. Krylov

The studies of influence factors on the needs of a roller module power using the methods of analysis of variance and least squares are executed.

*Keywords:* power; factors; analysis of variance; a finishing machine.

Эксперимент, позволяющий исследовать влияние технологических и конструктивных параметров на затраты мощности, является многофакторным. Были проведены электротехнические испытания отделочных машин на текстильном предприятии. Планирование эксперимента выполнено по греко-латинским квадратам [1, 2]. При исследовании были выбраны четыре фактора: диаметр и линейная скорость приводного вала, интенсивность распределенной нагрузки в жале валов и твердость их эластичного покрытия. При этом проведен четырехфакторный дисперсионный анализ с повторными опытами и одинаковым числом уровней, равным трем.

Использованы:

А – диаметр приводного вала:  $a_1 = 320$  мм,  $a_2 = 265$  мм,  $a_3 = 210$  мм;

В – линейная скорость приводного вала:  $b_1 = 80$  м/мин,  $b_2 = 100$  м/мин,  $b_3 = 120$  м/мин;

С – интенсивность распределенной нагрузки в жале валов:  $a = 30$  кН/м,  $b = 40$  кН/м,  $c = 50$  кН/м;

Д – твердость эластичного покрытия вала в зависимости от материала:  $\alpha = 70$  ед. по Шору А (резина марки 2-606-7),  $\beta = 92$  ед. по Шору А (полиуретан марки ГУП-5К),  $\gamma = 97$  ед. по Шору А (набор из нетканого материала);

$Y_1, Y_2$  – потребляемая мощность, кВт.

Исходные данные и результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные  
и результаты эксперимента

№ п/п	A	B	C	D	$Y_1$	$Y_2$
1	320	80	30	70	4.5	4.6
2	320	100	40	92	5.3	5.2
3	320	120	50	97	7.1	7.2
4	265	80	40	97	3.2	3.4
5	265	100	50	70	6.5	6.7
6	265	120	30	92	4.7	4.8
7	210	80	50	92	7.1	7.3
8	210	100	30	97	4.3	4.5
9	210	120	40	70	9.4	9.8

В соответствии с методикой [1] получен греко-латинский квадрат (таблица 2).

Таблица 2 – Таблица греко-латинского квадрата

	$b_1$	$b_2$	$b_3$		$b_1$	$b_2$	$b_3$
$a_1$	$a\alpha$	$b\beta$	$c\gamma$	$a_1$	4,5 (4,6)	5,3 (5,5)	7,1 (7,2)
$a_2$	$b\gamma$	$c\alpha$	$a\beta$	$a_2$	3,2 (3,4)	6,5 (6,7)	4,7 (4,8)
$a_3$	$c\beta$	$a\gamma$	$b\alpha$	$a_3$	7,4 (7,3)	4,3 (4,5)	9,4 (9,8)

Для проведения дисперсионного анализа по результатам эксперимента определялись следую-

Таблица 3 – Дисперсионная таблица

Источник дисперсии	Число степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат (дисперсия)	Критерий Фишера
A	n-1	SS <sub>a</sub> =16,89	$MS_a = \frac{SS_a}{n-1} = \frac{16,89}{2} = 8,445$	$F_1 = MS_a / MS_{ош}$ $F_1 = 8,445 / 0,02 = 422,05$
B	n-1	SS <sub>b</sub> =1,25	$MS_b = \frac{SS_b}{n-1} = \frac{1,25}{2} = 0,625$	$F_2 = MS_b / MS_{ош}$ $F_2 = 0,625 / 0,02 = 31,25$
C	n-1	SS <sub>c</sub> =13,76	$MS_c = \frac{SS_c}{n-1} = \frac{13,76}{2} = 6,88$	$F_3 = MS_c / MS_{ош}$ $F_3 = 6,88 / 0,02 = 344$
D	n-1	SS <sub>d</sub> =11,69	$MS_d = \frac{SS_d}{n-1} = \frac{11,69}{2} = 5,845$	$F_4 = MS_d / MS_{ош}$ $F_4 = 5,845 / 0,02 = 292,25$
Остаток	(n-1)(n-2)	SS <sub>ост</sub> =14,8	$MS_{ост} = \frac{SS_{ост}}{(n-1)(n-2)} = \frac{14,08}{2} = 7,04$	$F_5 = MS_{ост} / MS_{ош}$ $F_5 = 7,04 / 0,021 = 352$
Ошибка внутри ячейки	n <sup>2</sup> (m-1)=9	SS <sub>ош</sub> =0,19	$MS_{ош} = \frac{SS_{ош}}{n^2(n-1)} = \frac{0,19}{9} = 0,021$	
Итого	mn <sup>2</sup> -1=17	SS <sub>общ</sub> =57,86		

щие показатели: итоги по строкам, столбцам и факторам  $A_i, B_j, C_k$  и  $D_m$ .

Сумма всех значений 18-ти опытов:

$$G = \sum_{l=1}^n Y = \sum_{i=1}^n A_i = \sum_{j=1}^n B_j = \sum_{k=1}^n C_k = \sum_{m=1}^n D_m = 105,9. \quad (1)$$

Введем обозначение  $L = \frac{G^2}{mn^2} = 623,05, \quad (2)$

где  $m$  – число уровней;  $n$  – число повторов.

Сумма квадратов результатов всех наблюдений:

$$Z = \sum_{l=1}^{m^2} y_{ijkm}^2. \quad (3)$$

Сумма квадратов итогов по строкам, столбцам и факторам, деленная на произведение числа уровней и факторов:

$$Z_1 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n A_i^2, \quad Z_2 = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n B_j^2, \quad Z_3 = \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^n C_k^2, \quad Z_4 = \frac{1}{mn} \sum_{m=1}^n D_m^2, \quad (4)$$

$$Z_{\text{я}} = \frac{\sum_{l=1}^{n^2} (ABCD)^2}{m}, \quad (5)$$

где  $(ABCD)$  – сумма результатов наблюдений в каждой ячейке квадрата.

Сумма квадратов для каждого фактора ( $SS_i$ ), между ячейками ( $SS_{\text{мя}}$ ) и внутри ячейки ( $SS_{\text{я}}$ ):

$$SS_a = Z_1 - L, \quad SS_b = Z_2 - L, \quad SS_c = Z_3 - L, \quad SS_d = Z_4 - L, \quad (6)$$

$$SS_{\text{мя}} = Z_{\text{мя}} - L, \quad SS_{\text{я}} = Z - Z_{\text{я}}. \quad (7)$$

Остаточная дисперсия является суммарной величиной и складывается из дисперсий, обусловленных ошибкой опыта и взаимодействий, если таковые имеются

$$SS_{\text{ост}} = Z_{\text{я}} - Z_1 - Z_2 - Z_3 - Z_4 + Z_1(L), \quad (8)$$

Общая сумма квадратов:

$$SS_{\text{общ}} = Z - L. \quad (9)$$

Значимость влияния линейных эффектов проверялась по критерию Фишера.

Найдено  $F_{\text{табл.}} (\alpha = 0,05, f_1 = 2 \text{ и } f_2 = 9) = 4,3$ .

Если  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл.}}$ , то линейный эффект значим. Дисперсионное отношение для эффектов приведено в таблице 3.

Сравнение полученных дисперсионных отношений с табличным значением показало, что все линейные эффекты значимы. Следовательно, влияние всех четырёх факторов на потребную мощность существенно.

Для оценки различий в средних значениях параметра оптимизации ( $Y$ ) в зависимости от уровней факторов использован множественный ранговый критерий Дункана [1].

Сравнение различий между средними значениями (по фактору А):

$$\text{III-I} = a_3 - a_2 = 7,07 - 4,9 = 2,17,$$

$$\text{III-II} = a_3 - a_1 = 7,07 - 5,7 = 1,37,$$

$$\text{II-I} = a_1 - a_2 = 5,7 - 4,9 = 0,8$$

с наименьшими значимыми рангами 0,256 и 0,267 позволило сделать вывод о том, что различия между уровнями значимы. Аналогичный расчет произведен для остальных факторов.

Результаты исследования показали, что влияние факторов (диаметра и линейной скорости при-

водного вала модуля, интенсивности нагрузки в жале и твердости покрытий валов) на потребляемую мощность существенно; различие между уровнями факторов для средних значений параметра оптимизации (потребной валковым модулем мощности) по ранговому критерию Дункана значимы.

#### *Литература*

1. Ахназарова С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кадаров. М.: Высшая школа, 1987. 292 с.
2. Фомин Ю.Г. Оборудование отделочного производства. Энциклопедия. Машиностроение. Разд. IV. Т. 13. Гл. 14 / Ю.Г. Фомин. М.: Машиностроение, 1997. С. 174–199.