

УДК 621.01

ТИГҮҮЧҮ МАШИНАНЫН ӨНДҮРҮМДҮҮЛҮГҮН ЖОГОРУЛАТУУ

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ

IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE SEWING MACHINE

З. М. Умарова

Z. M. Umarova

Макалада тигүүчү машинадагы регрессиялык теңдеменин талдоосу жана эксперименттердин натыйжалары берилген. Эксперименттин натыйжалары боюнча калыңдыгы 4,5 мм болгон калың материалдарды да тиккенде катуулугу $2,5 \cdot 10^3$ Н·м/рад серпилгич элементти орнотууда негизги ок толгоочтун ылдамдыгы 4500 мин⁻¹ болгон учурда жогорку өндүрүмдүүлүк алынган. Материалдарды жылдыруу механизми кинематикалык жуптарда минималдуу жүктөө иштөөнү камсыздайт, бул тигүүчү машинанын ишенимдүүлүгүн жогорулатат. Ошентип, тигүүчү машиналарда серпилгич энергияны сактоочу (торсиондук серпилгичтер менен) материалды жылдыруу механизмдин колдонуусу жогорку ылдамдыкта иштөөгө мүмкүндүк берет, бул тигүүчү машинанын өндүрүмдүүлүгүн жогорулатат.

В статье приведены результаты экспериментов и анализ уравнения регрессии в швейной машине. Результаты экспериментов показывают, что высокая производительность получена при скорости главного вала 4500 мин⁻¹ при установке упругого элемента с жесткостью $2,5 \cdot 10^3$ Н·м/рад при шитье даже толстых материалов толщиной 4,5 мм. Механизм перемещения материалов обеспечивает работу при минимальной нагрузке в кинематических парах, что повышает надежность швейной машины. Таким образом, применение механизма перемещения материала с упругими накопителями энергии (с пружинами кручения) в швейных машинах позволяет работать на высоких скоростных режимах, что обеспечивает повышение производительности швейной машины.

The article presents the results of experiments and analysis of the regression equation in a sewing machine. According to the results of the experiment, high productivity was obtained at a main shaft speed of 4500 min⁻¹ when installing an elastic element with stiffness $2,5 \cdot 10^3$ Н·м/рад when stitching even thick materials with a thickness of 4.5 mm. The mechanism for moving materials ensures operation at a minimum load in kinematic pairs, which increases the

reliability of the sewing machine. Thus, the use of a material movement mechanism with elastic energy storage (with torsion springs) in sewing machines allows you to work at high speeds, which increases the productivity of the sewing machine and improves the productivity of the sewing machine.

Түйүн сөздөр: *толгоо ийин күчтөр, динамика, тигүүчү машина, негизги ок толгооч, кинематикалык жуп, өндүрүмдүүлүк, элемент, материал, жүктөө.*

Ключевые слова: *крутящие моменты, динамика, швейная машина, главный вал, кинематическая пара, производительность, элемент, материал, нагрузка.*

Key words: *torques, dynamics, sewing machine, main shaft, kinematic pair, performance, element, material, load.*

Как известно, технологической нагрузкой в швейной машине являются силы сопротивления на иглу при прокалывании и перемещении материала и сопротивления при подаче нити.

Эксперименты проводились на швейной фабрике ООО «Нассочи Хучанди» г. Худжанда.

Общий вид зависимости числа опытов от числа уровней факторов можно представить в виде:

$$N = P^k, \quad (1)$$

где N – число опытов; P – число уровней; k – число факторов.

Для нашего случая $k = 3$, $P = 2$.

В матрице планирования при варьировании факторов на двух уровнях (+1; -1) указывали только знаки, т.е. кодированные значения факторов. В процессе кодирования факторов осуществляли линейное преобразование координат факторного пространства с переносом начала координат в нулевую точку и выбора масштаба по осям в единицах интервалов варьирования факторов. Используем эти соотношения[1]:

$$X_i = \frac{C_i - C_{oi}}{\varepsilon}, \quad (2)$$

где X_i – кодированные значения фактора (безразмерная величина); C_i , C_{oi} – натуральные значения фактора (соответственно его текущее

значение на нулевом уровне);

ε – натуральные значения интервала варьирования фактора.

Математическое описание объекта исследования рассматриваем как линейную модель, так как она используется при расчете движения в области оптимума методом крутого восхождения. Пригодность модели проверяем при статистическом анализе результатов эксперимента.

Неизвестную функцию отклика аппроксимируем пополам первой степени, коэффициенты которого оцениваем по результатам эксперимента [1]:

$$Y = \beta_0 + \sum_i^k \beta_i x_i + \sum_{i,j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j . \quad (3)$$

При построении линейной модели находим численные значения и линейные коэффициенты уравнения регрессии:

$$Y = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^n X_i X_j .$$

В соответствии с матрицей планирования проведено 8 опытов в трехкратной поверхности (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты проведенных опытов

№ опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	\bar{Y}_1
1	+	+	-	-	+	-	-	+	6,6333
2	+	-	-	-	-	+	-	-	7,6
3	+	+	+	-	-	-	+	-	5,8333
4	+	-	+	-	+	+	+	+	7,7667
5	+	+	-	+	+	+	+	-	5,9333
6	+	-	-	+	-	-	+	+	8,5667
7	+	+	+	+	-	+	-	+	7,0333
8	+	-	+	+	+	-	-	-	8,2

Проведение эксперимента зависит от точности контроля всех принятых входных и выходных параметров и их постоянства. Несоблюдение этих точностей может привести к большим ошибкам при моделировании. Поэтому проводились предварительные эксперименты, позволяющие определить изменения фиксированных уровней факторов, оценить точность и стабильность протекания процессов в опытах.

После эксперимента находятся численные значения линейных коэффициентов уравнения регрессии [1].

В качестве критерия оптимизации используются:

\bar{Y}_1 – производительность швейной машины (сшивание материала, м/мин).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3,$$

где b_0 – свободный член;

$b_1*b_2*b_3$ – линейные коэффициенты;

$b_{12}*b_{13}*b_{23}$ – коэффициенты двойного взаимодействия факторов;

b_{123} – коэффициенты тройного взаимодействия факторов;

$X_1*X_2*X_3$ – кодированные значения факторов.

Матрица планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ) и результаты опытов представлены в таблице 2.

Линейные коэффициенты рассчитываются по формуле:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_{iu} \bar{Y}_u, \quad (4)$$

где b_i – коэффициент регрессии;

X_{iu} – значение фактора в u – N опыте;

Y_u – среднее арифметическое значение опытов;

N – число опытов в матрице.

В результате эксперимента опытным путем найдено 8 значений критерия оптимизации (\bar{Y}_1), каждый из которых имел три поверхности, где \bar{Y}_1 – среднее арифметическое производительности швейной машины.

Расчетные значения коэффициентов регрессии для исследуемых параметров оптимизации сведены в таблице 3.

$$\bar{Y}'_1 = 7,19 - 0,82X_1 + 0,008X_2 + 0,248X_3 - 0,066X_1X_2 - 0,093X_1X_3 - 0,176 X_2X_3 + 0.298X_1 X_2 X_3. \quad (5)$$

Таблица 2 – Матрица планирования

ξ_i	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_1	S^2_y	Y_1	$(\bar{y}_i - y_{cp})$
1	-	-	-	6,6	7,1	6,2	6,6333	0,407	7,224	0,59
2	+	-	-	7,2	7,6	8	7,6	0,32	6,644	0,96
3	-	+	-	6,1	5,9	5,5	5,8333	0,187	6,66	0,83
4	+	+	-	7,7	8,1	7,5	7,7667	0,187	7,24	0,53
5	-	-	+	5,9	5,6	6,3	5,9333	0,247	7,14	1,21
6	+	-	+	8,8	8,5	8,4	8,5667	0,087	7,726	0,84
7	-	+	+	7,1	6,7	7,3	7,0333	0,187	7,736	0,7
8	+	+	+	8,3	8,4	7,9	8,2	0,14	7,156	1,04
9	Σ						57,567	1,76	57,526	0,04
	Ср. значение						7,1958	0,22	7,19075	0,01

Таблица 3 – Расчетные значения коэффициентов регрессии

b_i Y_u	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
\bar{Y}'_1	7,19	-0,82	0,008	0,248	-0,066	-0,093	-0,176	0,298

Выведенное уравнение не является окончательной математической моделью, ее следует проверить на адекватность моделей и значимость коэффициентов регрессии по критериям Стьюдента и Фишера.

Для оценки отклонений показателей параметров оптимизации от средних значений необходимо вычислить дисперсию воспроизводимости по формуле:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_1^N (Y_{uj} - \bar{Y}_u)^2}{N}, \quad (6)$$

где N – число опытов;
 Y_{uj} – результат отдельного наблюдения;
 \bar{Y}_u – среднее арифметическое значение критерия (результат опыта).

Значения $S_{\{y\}}^2$, вычисленные для всех точек плана матрицы, суммируются по текущим номерам точек. Находится значение максимальной дисперсии, затем осуществляется проверка однородности дисперсий при помощи критерия Кохрена, основанного на законе распределения отношения максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий, т.е.

$$G_P = \frac{S_{y \max}^2}{\sum_1^N S_y^2}, \quad (7)$$

где G_P – критерий Кохрена; $S_{y \max}$ – максимальная дисперсия в i -й точке;

$$\sum_1^N S_y^2 - \text{сумма всех дисперсий.}$$

Для этого следует задаться уровнем значимости $q = 5$, определить число степеней свободы $V_{1,в} = n-5$ и $V_{1,н} = N = 8$, затем сравнить табличное значение критерия Кохрена $G_{кр}$, подобранного при соответствующих степенях свободы, с расчетом, полученным по формуле (7). При $G_P < G_{кр}$ дисперсия считается однородной и процесс воспроизводимым[2].

Среднеквадратическое отклонение дисперсии коэффициента регрессии определяется по формуле:

$$S\{b_i\} = \sqrt{\frac{S^2\{Y\}}{N \cdot n}}, \quad (8)$$

где $S^2(Y)$ – дисперсия показателей параметров оптимизации;
 N – общее число различных точек в плане матрицы;
 n – число параллельных наблюдений в каждой точке.

Дисперсия параметра оптимизации устанавливается по формуле:

$$S^2(Y) = \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (9)$$

где $\sum_{u=1}^N S_u^2$ – сумма всех дисперсий.

Затем проверяется гипотеза о значимости коэффициента. При этом задаются уравнением значимости $g = 5$ и определяется число степеней свободы:

$V_{3.H} = N(n - 1) = 8(3 - 1) = 16$. Затем критическое значение $t_{кр}$, найденное по таблице при соответствующих степенях свободы, сравнивается с расчетным показателем критерия Стьюдента.

Если $t_i > t_{кр}$, то коэффициент b_i признается значимым, в противном случае b_i – статистически незначимое, т.е. $b = 0$.

Оценка дисперсии адекватности модели определяется по формуле:

$$S_{ад}^2 = \frac{n}{N - M} \cdot \sum_{u=1}^N \left\{ \bar{Y}_u - Y_u \right\}^2, \quad (10)$$

где за исключением известных Y_u – математическое ожидание параметра оптимизации, подсчитанное по уравнению регрессии; M – число значимых коэффициентов.

По уравнениям регрессии определяется Y_u для каждой точки плана матрицы.

Эта разность $\left\{ \bar{Y}_u - Y_u \right\}$ возводится в квадрат для каждой точки плана, а результат суммируется.

Для проверки гипотезы адекватности моделей необходимо задаться уровнем значимости $g = 5 \%$, определить число степеней свободы $V_{1.ад} = N(n - 1)$ и $V_{2.ад} = N(n - 1)$, затем сравнить табличное значение критерия Фишера $F_{кр}$, подобранное при соответствующих степенях свободы, с расчетным F_p , полученным по формуле (11). При $F_p < F_{кр}$ гипотеза адекватности модели принимается.

Значение Y_1 , вычисленное для всех точек плана матрицы, и результаты проверки адекватности модели для изучаемых параметров оптимизаций сведены в таблице 3, а значение t_i , вычисленное для всех точек плана матрицы, и проверка значимости коэффициентов регрессии b_i , для исследуемых параметров оптимизаций – в таблице 4.

Таблица 4 – Оптимизация параметров исследований

t_i	$t_{(b_0)}$	$t_{(b_1)}$	$t_{(b_2)}$	$t_{(b_3)}$	$t_{(b_{1,2})}$	$t_{(b_{1,3})}$
Y_1	7,1958	0,826	0,0075	0,248	0,066	0,0937
$t_{(b_{2,3})}$	$t_{(1,2,3)}$	$S_{\{\bar{Y}\}}^2$	$S_{\{b_i\}}^2$	$S_{\{b_i\}}$	$t_{кр}$	Значимые коэффициенты
0,176	0,298	0,028	0,0012	0,034	3,84	$b_0 * b_2 * b_3 * b_1 b_2 b_3$

Точная оценка уравнения на адекватность проверяется с помощью критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{Y\}}^2} = \frac{0,028}{0,012} = 2,3, \quad (11)$$

где F_p – критерий Фишера; $S_{ад}^2$ – оценка дисперсий адекватности; $S_{\{Y\}}^2$ – дисперсия параметра оптимизации (табл. 5).

Таблица 5 – Таблица критерий Фишера

$S_{ад}^2$	$S_{\{Y\}}^2$	F_p	$F_{кр}$	$F_p - F_{кр}$	Результаты проверки
0,028	0,012	2,3	3,01	-0,71	Модель адекватна

По данным таблицы 5, расчетное значение критерия Фишера меньше табличного значения $F_p < F_{кр}$, поэтому гипотеза адекватности моделей принимается.

По результатам эксперимента высокая производительность получена при скорости главного вала 4500 мин^{-1} при установке упругого элемента с жесткостью $2,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ при сшивании даже толстых материалов толщиной 4,5 мм. При этом механизм перемещения материала с упругими накопителями энергии обеспечивает работу при минимальной динамической нагрузке в кинематических парах, что повышает надежность швейной машины.

Таким образом, применение механизма перемещения материала с упругими накопителями энергии (с пружинами кручения) в швейных машинах позволяет работать на высоких скоростных режимах, что повышает производительность швейной машины.

Литература

1. Румшинский Л. З., Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Румшинский Л. З. – М: Наука, 1971. –192 с.
2. Торговицкий А. Ф. Кулачковые импульсивные вариаторы хлопкоочистителей [Текст] / Торговицкий А. Ф – Ташкент: Изд-во. Фан, 1968. – 112 с.
3. Умарова З. М. Определение угловой скорости коромысла механизма перемещения материала в швейной машине [Текст] / Умарова З. М., Муродов О., Мансурова М. А. // Тезисы РНПК молодых ученых и студентов: Участие молодых ученых в решении проблемных задач по совершенствованию техники и технологии хлопкоочистительной, текстильной, лёгкой и полиграфической промышленности. – Ташкент, 2011. – С. 13.