

УДК 658.511

А. И. Коршунов, кандидат технических наук, доцент;
Р. Л. Фоминых, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет (Воткинский филиал)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ

В статье описывается методика оценки трудоемкости изготовления машиностроительного изделия с учетом частных показателей организационно-технического уровня производственной системы.

Определение частных показателей организационно-технического уровня производственной системы

С целью численной оценки факторов организационно-технического уровня производственной системы предложены частные показатели организационно-технического уровня производственной системы, представленные в виде следующих коэффициентов [1; 2].

Показатель стабильности кадров представляет собой отношение общего количества работающих за вычетом вновь принятых на работу к общему количеству работающих:

$$K_{\text{ск}} = \frac{N - n_{\text{вн}}}{N}, \quad (1)$$

где $n_{\text{вн}}$ – количество работников, принятых на работу в течение последнего календарного года; N – общее количество работающих.

Показатель квалификации исполнителей показывает степень близости среднего разряда всех работающих к высшему шестому разряду:

$$K_{\text{кв}} = \frac{\sum_{i=1}^6 (ip_i)}{6N}, \quad (2)$$

где p_i – количество рабочих i -го разряда; N – общее количество работающих.

Показатель стандартизации и унификации определяется как отношение количества унифицированных деталей в изделии к количеству деталей в изделии и рассчитывается как среднее значение для случайно выбранных представителей номенклатуры:

$$K_{\text{униф}} = \frac{n_{\text{униф}}}{n_{\text{дет}}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{униф}}$ – количество унифицированных деталей в изделии; $n_{\text{дет}}$ – количество деталей в изделии.

Показатель уровня технической оснащенности есть отношение количества автоматизированного оборудования к общему количеству оборудования:

$$K_{\text{тех.осн}} = \frac{n_{\text{авт}}}{n}, \quad (4)$$

где n – общее количество оборудования, шт.; $n_{\text{авт}}$ – количество единиц автоматизированного оборудования, шт.

Показатель срока эксплуатации оборудования есть отношение количества оборудования со сроком эксплуатации менее десяти лет к общему количеству оборудования:

$$K_{\text{эксп.обор}} = \frac{n_{10}}{n}, \quad (5)$$

где n_{10} – количество единиц оборудования со сроком эксплуатации менее десяти лет, шт.

Рассматриваемые коэффициенты составляют множество частных показателей организационно технического уровня $K_{\text{ОТУ}} = \{K_i | i = 1, 2, \dots, 5\}$, где принимаем: $K_1 = K_{\text{ск}}$; $K_2 = K_{\text{кв}}$; $K_3 = K_{\text{униф}}$; $K_4 = K_{\text{тех.осн}}$; $K_5 = K_{\text{эксп.обор}}$. Значения частных коэффициентов ОТУ варьируются в пределах $[0,1]$, увеличение коэффициента предполагает улучшение описываемых ими характеристик производственной системы.

Анализ организационно-технического уровня инструментальных производств 9 предприятий Удмуртской Республики и России сопровождался построением регрессионных зависимостей трудоемкости изготовления изделия от его конструктивно-технологической сложности вида [3]

$$T = a + bC, \quad (6)$$

где a, b – коэффициенты уравнения регрессии.

Результаты анализа представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Численные значения частных показателей организационно-технического уровня

Частные показатели организационно-технического уровня	Производственная система								
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9
Стабильность кадров	0,977	1,000	0,968	0,840	0,833	0,833	0,892	0,814	0,866
Квалификация исполнителей	0,759	0,814	0,880	0,786	0,750	0,703	0,660	0,652	0,652
Стандартизация и унификация	0,702	0,776	0,729	0,715	0,707	0,680	0,710	0,700	0,700
Техническая оснащенность	0,079	0,122	0,163	0,115	0,100	0,058	0,107	0,078	0,083
Срок эксплуатации оборудования	0,047	0,122	0,183	0,076	0,050	0,001	0,071	0,078	0,055

По результатам исследований был проведен анализ, позволивший на качественном уровне определить влияние частных показателей организационно-технического уровня производственной системы на коэффициенты зависимости

между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления изделия в конкретной производственной системе.

В результате анализа для коэффициентов уравнения регрессии a и b (6) определены на качественном уровне следующие зависимости относительно коэффициентов частных показателей ОТУ:

– свободный член уравнения регрессии – коэффициент a – прямо пропорционален коэффициентам частных показателей ОТУ $K_{кв}$, $K_{униф}$, $K_{тех.осн}$, $K_{эсп.обор}$ и обратно пропорционален $K_{ск}$;

– коэффициент b прямо пропорционален коэффициенту $K_{ск}$ и обратно пропорционален коэффициентам частных показателей ОТУ $K_{кв}$, $K_{униф}$, $K_{тех.осн}$, $K_{эсп.обор}$.

Таблица 2. Результаты исследования производственных систем

Производственная система	Уравнение регрессионной зависимости	Коэффициент корреляции	Средневзвешенная сложность детали, ед.сл.
ПС № 1	$T = 42,45 + 16,41C$	0,969	51,32
ПС № 2	$T = 174,38 + 8,92C$	0,955	175,96
ПС № 3	$T = 287,76 + 7,32C$	0,912	1115,36
ПС № 4	$T = 75,45 + 11,47C$	0,984	48,01
ПС № 5	$T = 48,33 + 16,89C$	0,971	38,55
ПС № 6	$T = 14,94 + 29,45C$	0,974	26,77
ПС № 7	$T = 78,52 + 21,93C$	0,986	29,31
ПС № 8	$T = 60,83 + 23,61C$	0,993	41,06
ПС № 9	$T = 42,78 + 22,27C$	0,966	46,29

Таким образом, регрессионные коэффициенты a и b в уравнении регрессии (6) имеют по своей природе взаимосвязь с организационно-техническим уровнем производственной системы [1; 2].

Использование частных показателей организационно-технического уровня производственной системы для оценки трудоемкости изготовления представителей производственной номенклатуры

Определение трудоемкости изготовления машиностроительного изделия в конкретной производственной системе производится с использованием регрессионной зависимости между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления машиностроительного изделия в соответствии с формулой (6), построенной применительно к конкретной производственной системе.

Результаты исследования зависимости между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления машиностроительного изделия в диапазоне изменения конструктивно-технологической сложности $0 < C \leq 1500$ единиц позволили заключить, что в этом диапазоне в исследованных производственных системах регрессионная зависимость действительно имеет линейный характер [3].

В общем случае можно рассматривать зависимость между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления машиностроительного изделия как зависимость вида

$$T = f(C, K_{\text{ОТУ}}) + \Delta T, \quad (7)$$

где C – конструктивно-технологическая сложность изделия; $K_{\text{ОТУ}} = \{K_i | i = 1, 2, \dots, 5\}$ – множество коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня; ΔT – неопределенность, вносимая влиянием неучтенных факторов и имеющая случайный характер. Влияние неучтенных факторов в конкретной производственной системе можно учесть путем построения регрессионной зависимости по известным статистическим данным с привлечением методов математической статистики в соответствии с формулой [3].

Однако затраты на исследование номенклатуры производственной системы с оценкой конструктивно-технологической сложности изделий для формирования представительной выборки в соответствии с описанной выше процедурой достаточно велики. Кроме того существуют задачи, для решения которых эти исследования провести достаточно затруднительно вследствие невозможности формирования представительной выборки номенклатуры.

Поскольку отмечено, что между коэффициентами уравнения регрессии (6) и частными показателями организационно-технического уровня существует определенная зависимость, формула (6) в общем случае может быть представлена в виде

$$T = f_1(K_{\text{ОТУ}}) + f_2(K_{\text{ОТУ}})C, \quad (8)$$

где $f_1(K_{\text{ОТУ}})$ и $f_2(K_{\text{ОТУ}})$ – коэффициенты, представляющие собой функции от множества коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня $K_{\text{ОТУ}}$.

Решение задачи восстановления указанных зависимостей в общем случае в настоящее время не представляется возможным, но с практической точки зрения это решение в определенной области вполне достижимо.

Рассмотрим решение задачи применительно к рассмотренной выше группе предприятий инструментального производства. Таким образом, принимаем группу однородных по организационно-техническому уровню и производственной номенклатуре предприятий уже сформированной, частные показатели организационно-технического уровня определенными.

На следующем этапе формируется репрезентативная выборка номенклатуры, в которую в равных пропорциях входят представители номенклатуры выпускаемой продукции каждого предприятия. В данном случае выборка содержала 360 изделий (по 40 изделий от каждой производственной системы), для каждого из которых был определен кортеж параметров:

$$\langle C, T, n, K_{\text{ск}}, K_{\text{кв}}, K_{\text{униф}}, K_{\text{тех.осн}}, K_{\text{эксп.обор}} \rangle, \quad (9)$$

где C – конструктивно-технологическая сложность изделия; T – трудоемкость изготовления изделия в конкретной производственной системе; $K_{\text{ск}}, K_{\text{кв}}, K_{\text{униф}}, K_{\text{тех.осн}}, K_{\text{эксп.обор}}$ – значения коэффициентов частных показателей ОТУ в данной производственной системе.

Ранее было отмечено, что коэффициент $a = f_1(K_{OTY})$ функции (9) обратно пропорционален коэффициенту $K_{ск}$ и прямо пропорционален остальным коэффициентам $K_{кв}$, $K_{униф}$, $K_{тех.осн}$, $K_{эсп.обор}$; таким образом, будем его искать в виде

$$f_1(K) = \frac{a_0 + a_2 K_{кв} + a_3 K_{униф} + a_4 K_{тех.осн} + a_5 K_{эсп.обор}}{a_1 K_{ск}}, \quad (10)$$

где $a_0 \dots a_5$ – коэффициенты, определяющие веса коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня в выражении функции $f_1(K_{OTY})$;

$$f_2(K) = \frac{b_0 + b_1 K_{ск}}{b_2 K_{кв} + b_3 K_{униф} + b_4 K_{тех.осн} + b_5 K_{эсп.обор}}, \quad (11)$$

где $b_0 \dots b_5$ – коэффициенты, определяющие веса коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня в выражении функции $f_2(K_{OTY})$.

Далее составляем корреляционную матрицу с целью анализа корреляционных связей (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная матрица параметров регрессионной зависимости при уровне значимости $\alpha = 0,1$, критерий χ^2 *

	C	T	$K_{ск}$	$K_{кв}$	$K_{униф}$	$K_{тех.осн}$	$K_{эсп.обор}$
C	1,00	0,99	0,19	-0,05	-0,03	-0,11	-0,06
T	0,99	1,00	0,15	-0,09	-0,02	-0,14	-0,09
$K_{ск}$	0,19	0,15	1,00	0,57	-0,19	0,37	0,55
$K_{кв}$	-0,05	-0,09	0,57	1,00	-0,29	0,95	0,95
$K_{униф}$	-0,03	-0,02	-0,19	-0,29	1,00	-0,12	-0,03
$K_{тех.осн}$	-0,11	-0,14	0,37	0,95	-0,12	1,00	0,97
$K_{эсп.обор}$	-0,06	-0,09	0,55	0,95	-0,03	0,97	1,00

* – значимые коэффициенты выделены

Анализ корреляционной матрицы позволил отбросить коэффициент $K_{униф}$, поскольку его корреляционный коэффициент незначим при уровне значимости $\alpha = 0,1$.

В соответствии с этим формулы (10) и (11) принимают вид

$$f_1(K) = \frac{a_0 + a_2 K_{кв} + a_4 K_{тех.осн} + a_5 K_{эсп.обор}}{a_1 K_{ск}}; \quad (12)$$

$$f_2(K) = \frac{b_0 + b_1 K_{ск}}{b_2 K_{кв} + b_4 K_{тех.осн} + b_5 K_{эсп.обор}}. \quad (13)$$

В результате проведенного восстановления регрессионной зависимости с использованием статистического пакета Statistics 5.5 выражение для функции (8) получило следующий вид:

$$\bar{T} = \frac{3,395 - 5,972K_{\text{кв}} + 23,243K_{\text{тех.осн}} - 7,847K_{\text{эксп.обор}} + 0,01K_{\text{ск}}}{-0,087K_{\text{кв}} + 2,589K_{\text{тех.осн}} - 1,142K_{\text{эксп.обор}}} + \frac{-0,284 + 0,801K_{\text{ск}}}{C}. \quad (14)$$

Корреляционное отношение полученной регрессионной зависимости составило $R = 0,996$, что говорит о статистической значимости полученной регрессионной зависимости. Рассмотренные параметры уравнения регрессии определяют 99,2 % вариации переменной T .

Ниже приведена гистограмма распределения относительной ошибки (рис. 1), представляющей собой величину

$$\Delta = \frac{T - \bar{T}}{T}, \quad (15)$$

где T – производственная трудоемкость изготовления изделия, полученная фактически в производственных условиях; \bar{T} – прогнозируемая трудоемкость изготовления изделия, полученная с использованием зависимости (14).

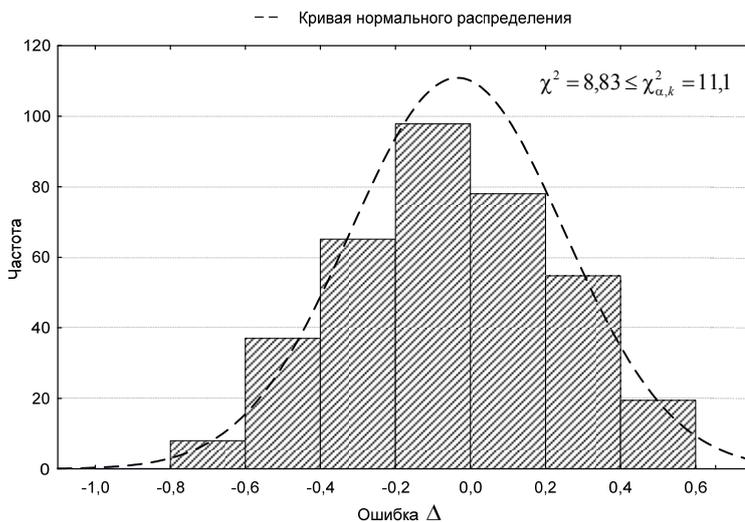


Рис. 1. Гистограмма распределения ошибок

Проверка гипотезы о нормальном распределении относительной ошибки прогнозирования значений трудоемкости изготовления изделий производилась с использованием критерия согласия Пирсона χ^2 [4]. Значение критерия Пирсона вычислялось на основе формулы

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^s \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i},$$

где n_i – теоретическая частота i -го интервала; n'_i – эмпирическая частота i -го интервала; s – число интервалов.

В соответствии с рекомендациями работы [5] выбрано число интервалов $s = 8$. Для исследуемого распределения получено значение $\chi^2 = 8,83 \leq \chi^2_{\alpha,k} = 11,1$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и $k = s - 3 = 5$, что не позволяет отклонить гипотезу о нормальном распределении относительной ошибки (см. рис. 1). Параметры распределения – математическое ожидание и дисперсия – позволили установить доверительный интервал для полученной оценки.

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ доверительный интервал при оценке ошибки прогнозирования трудоемкости изготовления изделий составил $-0,102 < \Delta < -0,05$, математическое ожидание $\Delta = -0,07$, максимальное и минимальное значения: $\Delta_{\min} = -0,723$ и $\Delta_{\max} = 0,589$.

Таким образом, ошибка подвержена нормальному распределению, что свидетельствует о случайном характере ее возникновения.

С целью проверки точности предложенной формулы (14) была сформирована репрезентативная выборка представителей производственной номенклатуры исследованных производственных систем, при формировании выборки от каждой ПС включено по 6 представителей. Таким образом, объем совокупности составил 54 единицы. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты контрольных расчетов

№ п/п	ПС	T , мин.	Сложность S , ед.	\bar{T} , мин.	$K_{ск}$	$K_{кв}$	$K_{униф}$	$K_{тех.осн}$	$K_{эсп.обор}$	Ошибка Δ
1	1	174,75	23,99	145,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	-0,205
2		271,67	40,48	275,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	0,012
3		594,42	95,39	580,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	-0,025
4		607,53	97,62	600,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	-0,013
5		667,60	107,84	805,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	0,171
6		6481,03	1096,89	6580,00	0,977	0,759	0,702	0,079	0,047	0,015
7	2	356,40	64,45	430,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	0,171
8		495,44	92,88	650,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	0,238
9		640,49	122,54	580,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	-0,104
10		1103,71	217,26	1010,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	-0,093
11		3075,89	620,53	3000,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	-0,025
12		3987,76	806,99	4020,00	1,000	0,814	0,776	0,122	0,122	0,008
13	3	81,03	8,38	60,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	-0,350
14		83,91	9,18	80,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	-0,049
15		90,50	11,01	69,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	-0,312
16		109,98	16,42	135,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	0,185
17		135,43	23,49	150,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	0,097
18		504,88	126,09	430,00	0,968	0,880	0,729	0,163	0,183	-0,174

Окончание табл. 4

№ п/п	ПС	T, мин.	Сложность C, ед.	\bar{T} , мин.	$K_{ск}$	$K_{кв}$	$K_{униф}$	$K_{тех.осн}$	$K_{эсп.обор}$	Ошибка Δ
19	4	141,11	17,80	173,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	0,184
20		144,49	19,03	130,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	-0,111
21		159,33	24,48	235,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	0,322
22		358,83	97,62	600,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	0,402
23		689,17	218,73	740,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	0,069
24		3070,68	1091,87	4389,00	0,840	0,786	0,715	0,115	0,076	0,300
25	5	113,28	4,09	81,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	-0,398
26		143,22	14,76	155,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	0,076
27		158,60	20,24	240,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	0,339
28		184,19	29,36	152,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	-0,212
29		312,56	75,10	455,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	0,313
30		572,54	167,73	650,00	0,833	0,750	0,707	0,100	0,050	0,119
31	6	77,69	3,03	58,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	-0,340
32		139,70	17,25	170,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	0,178
33		161,62	22,28	160,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	-0,010
34		295,16	52,89	350,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	0,157
35		614,45	126,09	630,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	0,025
36		4051,58	914,08	4980,00	0,833	0,703	0,680	0,058	0,001	0,186
37	7	183,80	10,57	170,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	-0,081
38		196,83	14,53	189,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	-0,041
39		239,46	27,45	270,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	0,113
40		279,83	39,69	270,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	-0,036
41		424,02	83,41	560,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	0,243
42		2261,46	640,53	2730,00	0,892	0,660	0,710	0,107	0,078	0,172
43	8	181,47	14,53	295,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	0,385
44		234,52	22,62	350,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	0,330
45		248,94	24,82	325,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	0,234
46		282,78	29,98	230,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	-0,229
47		465,08	57,79	320,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	-0,453
48		711,55	95,39	580,00	0,814	0,652	32,700	0,078	0,078	-0,227
49	9	146,95	7,36	125,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	-0,176
50		222,66	24,98	182,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	-0,223
51		289,25	40,48	275,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	-0,052
52		585,23	109,37	510,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	-0,148
53		837,24	168,03	1200,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	0,302
54		1742,09	378,64	2080,00	0,866	0,652	0,700	0,083	0,055	0,162

Ниже приведена гистограмма распределения относительной ошибки (рис. 2), представляющей собой величину (15).

Проверка гипотезы о нормальном распределении относительной ошибки прогнозирования значений трудоемкости изготовления изделий производилась с использованием критерия согласия Пирсона χ^2 . В соответствии с рекомендациями работы [5] выбрано число интервалов $s = 6$. Для исследуемого распределения получено значение $\chi^2 = 4,93 \leq \chi_{\alpha,k}^2 = 7,8$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$

и $k = s - 3 = 3$, что не позволяет отклонить гипотезу о нормальном распределении относительной ошибки.

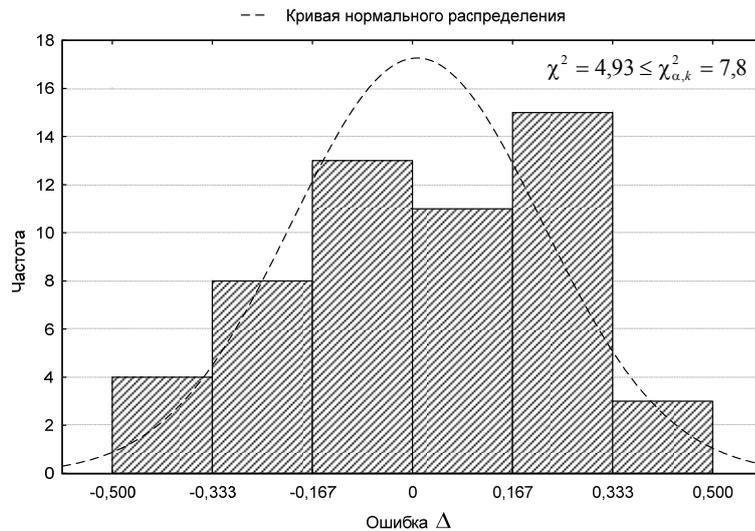


Рис. 2. Гистограмма распределения ошибок

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ доверительный интервал при оценке ошибки прогнозирования трудоемкости изготовления изделий составил $-0,032 < \Delta < 0,085$, математическое ожидание $\Delta = 0,026$, максимальное и минимальное значения: $\Delta_{\min} = -0,453$ и $\Delta_{\max} = 0,402$.

Таким образом, ошибка подвержена нормальному распределению, что свидетельствует о случайном характере ее возникновения. Полученная регрессионная зависимость может быть использована в практических целях для оценки трудоемкости изготовления машиностроительных изделий на начальных этапах их жизненного цикла в условиях предприятий инструментального производства и соответствующих подразделений предприятий машиностроительной отрасли.

Для ее успешного применения необходимо предварительно определить конструктивно-технологическую сложность изделия, трудоемкость которого требуется оценить, и значения коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня применительно к конкретной производственной системе, в которой планируется изготовление данного изделия.

Аудит производственных подразделений машиностроительных предприятий

Элементы теории сложности могут использоваться с целью проведения внутреннего аудита производственных подразделений предприятий машиностроения с целью анализа трудоемкости и затрат на изготовление изделий. Актуальность этой проблемы объясняется тем, что менеджеры высшего и среднего управленческого звена предприятий заинтересованы в выявлении и сокращении внутренних производственных издержек с целью повышения эффективности производства.

Одним из путей решения этой проблемы является комплексное обследование предприятия и его подразделений, которое включает исследование производственной номенклатуры и организационно-технического уровня производства.

Рассмотрим результаты исследования номенклатуры инструментального цеха № 6 ОАО «Завод «Автоприбор» (г. Владимир), оценки трудоемкости изготовления и нормативной трудоемкости изготовления ее представителей, заявленной в производстве (табл. 5).

Таблица 5. Результаты анализа трудоемкости изготовления представителей производственной номенклатуры с учетом организационно-технического уровня производственной системы

Изделие	Сложность C , ед.	Трудоемкость производственная T , мин.	Прогнозируемая трудоемкость \bar{T} , мин.	Ошибка $\Delta = \frac{ T - \bar{T} }{T}$
ШГБ-2673	840,12	12091,20	2335,49	4,177
ШВР-11275	375,13	2602,20	1101,83	1,362
ПКТ-6808	147,4	1112,00	497,64	1,235
ПКТ-6787	109,28	921,02	396,50	1,323
ПКТ-6800	37,884	376,92	207,08	0,820
ПКТ-6644	104,753	960,00	384,49	1,497
КШБ-15198	50,21	349,98	239,78	0,460
ШГБ-2678	1112,15	8382,00	3057,22	1,742

По данным расчетов построена регрессионная зависимость между производственной трудоемкостью и конструктивно-технологической сложностью, описываемая уравнением $\bar{T} = -83,50 + 9,89C$, которое характеризуется коэффициентом корреляции $R = 0,914$.

Таким образом, изменение сложности объясняет, в данном случае, 83,5 % вариации производственной трудоемкости изготовления, коэффициент корреляции является значимым.

Проведем анализ величины трудоемкости изготовления изделий производственной номенклатуры с использованием полученной ранее формулы (14). Данная регрессионная зависимость получена на основе анализа частных показателей организационно-технического уровня ряда производственных систем инструментального производства, конструктивно-технологической сложности и трудоемкости изготовления изделий и может быть использована для оценки трудоемкости изготовления изделий в условиях конкретной производственной системы, относящейся к предприятиям и подразделениям инструментального производства. Для ее применения необходимо определить значения коэффициентов частных показателей организационно-технического уровня производственной системы (табл. 6):

$$\bar{T} = \frac{3,395 - 5,972K_{\text{КВ}} + 23,243K_{\text{Тех.осн}} - 7,847K_{\text{эксп.обор}}}{0,01K_{\text{СК}}} + \frac{-0,284 + 0,801K_{\text{СК}}}{-0,087K_{\text{КВ}} + 2,589K_{\text{Тех.осн}} - 1,142K_{\text{эксп.обор}}} \cdot C.$$

Использование данной формулы позволило обеспечить оценку трудоемкости изготовления изделий в соответствии с их конструктивно-технологической сложностью и частными показателями организационно-технического уровня производственной системы (табл. 6).

Таблица 6. Частные показатели организационно-технического уровня производственной системы

Частные показатели организационно-технического уровня	Значение показателя
Показатель стабильности кадров $K_{ск}$	0,87
Показатель квалификации исполнителей $K_{кв}$	0,78
Показатель стандартизации и унификации $K_{униф}$	0,65
Показатель технической оснащенности $K_{тех.осн}$	0,14
Показатель срока эксплуатации оборудования $K_{эксп.обор}$	0,08

Минимальное и максимальное значения ошибки составили, соответственно, $\Delta_{\min} = 0,46$ и $\Delta_{\max} = 4,177$. Математическое ожидание ошибки $\Delta_a = 1,577$, доверительный интервал $0,637 < \Delta < 2,517$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Таким образом, по сравнению с другими производственными системами, относящимися к инструментальному производству, трудоемкость изготовления изделий в данной производственной системе завышена в среднем на 158 %.

Анализ организационно-технического уровня цеха выявил искусственное завышение утвержденных норм времени на изготовление изделия, что вызвано организационной причиной – низким уровнем стоимости нормочаса. Хронометраж времени изготовления деталей в цехе позволил сделать вывод, что нормативная по цеху трудоемкость их изготовления в среднем в 1,5–2 раза выше, чем полученная в том же самом цехе методом хронометража.

Таким образом, предложенная методика позволяет производить оценку трудоемкости изготовления машиностроительного изделия с учетом показателей организационно-технического уровня производственной системы, обеспечивая достаточный уровень точности оценки на ранних стадиях его жизненного цикла и позволяя производить аудит норм времени на изготовление изделия в производственных условиях.

Список литературы

1. *Фоминых, Р. Л.* Определение организационно-технического уровня производственной системы при прогнозировании трудоемкости изготовления машиностроительного изделия / Р. Л. Фоминых, А. И. Коршунов, Б. А. Якимович // *Машиностроитель*. – 2004. – № 1. – С. 32–37.
2. *Фоминых, Р. Л.* Оценка трудоемкости машиностроительного изделия и организационно-технический уровень производства / Р. Л. Фоминых, Б. А. Якимович, А. И. Коршунов // *Экономика и производство*. – 2003. – № 4. – С. 43–46.
3. *Шарин, Ю. С.* Теория сложности / Ю. С. Шарин, Б. А. Якимович, В. Г. Толмачев, А. И. Коршунов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1999. – 132 с. + 3 вкл.
4. *Львовский, Е. Н.* Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.
5. *Бурдун, Г. Д.* Основы метрологии / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 120 с.