

работки предложений по мотивации персонала предприятия к выполнению норм затрат.

Для повышения эффективности управления затратами необходима разработка внутрифирменного стандарта по определению показателей себестоимости с использованием системы «Стандарт-

кост». Это позволит применять нормативную базу и учетные данные в качестве основы хозяйственного расчета, будет способствовать совершенствованию и самоуправляемости системы в целом и ее составных частей.

УДК 621.771.237.019:519.234

Л. Д. Девятченко, А. В. Горбунов

СТАТИСТИКА ПРЕЕМСТВЕННОСТИ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ И ФОРМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ РУЛОННОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ХОЛОДНОКАТАНОГО МЕТАЛЛА

Появление дефектов поверхности и формы листа и дефектов формы рулона в процессе холодной прокатки на широкополосном непрерывном стане 2500 ММК и последующей дрессировки полос приводит к снижению выхода годного металла, увеличению объема продукции, несоответствующей заказу или вовсе бракованной. В табл. 1 приведены данные по качеству проката за последние 3 года.

При достаточно высоком уровне выхода годной продукции (по заказу) и относительно невысоком уровне брака обращает на себя внимание стабильность производства, что проявляется в стабильности показателей качества (из табл. 1 следует, что уровень брака от всего объема производства за исследуемый период из года в год практически сохраняется). Однако данные табл. 1 также показывают, что уровень несоответствующей заказу продукции остается стабильно высоким и превышает уровень забракованной продукции более чем в 4 раза. Следовательно, представляет интерес рассмотреть те основания, по которым определяется качество широкополосных холоднокатаных листов и рулонов, т.е. основные дефекты поверхности и формы листов и рулонов согласно ГОСТ 21014-88.

В условиях отлаженной технологии производства из всех дефектов поверхности и формы, представленных в ГОСТ 21014-88 (описано 64 дефекта поверхности листа и 12 дефектов формы листа и рулона), специфика холодной прокатки широких полос выявляет класс присущих ей дефектов. Данные табл. 2 содержат названия тех дефектов, которые выявлены в процессе производственного контроля качества продукции.

Оценка взвешенного среднегодового уровня каждого дефекта за исследуемые годы, была получена в результате вычисления суммарного ве-

са (т) несоответствующего заказу и забракованного металла, содержащего данный дефект в исследуемый период, отнесенного ко всему объему производства (т) за исследуемый период, и эта доля затем выражалась в процентах. Аналогично находились оценки средних уровней дефектов по годам и затем вычислялись оценки (%) стандартных отклонений годовых объемов металла, содержащих данный дефект, от взвешенного среднегодового объема металла с этим же дефектом, с учетом имеющихся степеней свободы.

Естественным продолжением исследования после первичной обработки данных, представленных в табл. 2, должно быть выявление степени преемственности («живучести», повторяемости, способности к сохранению из года в год) некоторых дефектов, от которых в значительной мере зависит качество производимой продукции. При этом заметим, что с помощью числовых характеристик (оценок математического ожидания и стандартного отклонения) данные табл. 2 уже позволяют отнести к наиболее существенным такие дефекты, как неровный торец, излом, недотрав, царапины, линии скольжения и др.

Таблица 1

Динамика качества продукции, изготовленной на непрерывном широкополосном и дрессировочном станах холодной прокатки 2500 ММК

Год выпуска продукции	Произведено продукции			Брак от всего объема производства, т / %
	Годной по заказу, %	2-го сорта, т / %	Несортная, несоответствующая заказу, т / %	
2002	97,90	11842 / 0,86	17194 / 1,24	5893 / 0,41
2003	95,67	38477 / 2,75	22148 / 1,58	5753 / 0,40
2004	97,83	274 / 0,02	27126 / 2,15	7257 / 0,56

Таблица 2

Основные дефекты поверхности и формы широкополосного холоднокатаного металла

№ п/п	Условное обозначение дефекта продукции	Термины дефектов по определению ГОСТ 21014-88: Дефекты поверхности (№ дефекта в скобках) и дефекты формы (в скобках обозначено F – дефект формы)	Оценка взвешенного среднегодового уровня, %	Оценка стандартного отклонения среднегодового
1	Вдавлины	Раквина-вдав (38)	0,10806394	0,061144609
2	Волчок	Выступы от впадин на валке (б/н)	0,00265725	0,001682034
3	Вкатмет	Вкатанные метал. частицы (37)	0,03696529	0,036240464
4	Геометр	Геометрические размеры (б/н)	0,05210423	0,042899709
5	Гофра	Гармошка (11)	0,03120299	0,045530554
6	Дыры	Скворечник (17), разрывы (25)	0,00007873	0,000145482
7	Излом	Излом на дрессировочном стане (б/н)	0,42508118	0,487117561
8	Линскол	Линии скольжения (50)	0,12225808	0,194770384
9	Недотрав	Недотрав (55)	0,41556921	0,406749989
10	Некачсм	Распущенный рулон (11F)	0,00706754	0,004231507
11	Некачрез	Заусенец (47)	0,00677106	0,002966240
12	Неплоск	Скручивание листа, короб (8F)	0,12429038	0,040566888
13	Окончпро	Механические свойства (б/н)	0,05100442	0,068209588
14	Отмотки	Неровный торец, языки (5F)	1,11739802	0,173477842
15	Отпечгря	Отпечатки грязи, налет шлама (57)	0,01764118	0,013805835
16	Перегибы	Перегибы (52)	0,05430384	0,023275054
17	Перетрав	Перетрав, язвы на поверхности (56)	0,02673611	0,014259194
18	Плпромас	Плохое промасливание (б/н)	0,00147625	0,002727792
19	Порез	Порез: закатанная складка (20)	0,04320982	0,022414527
20	Пригар	Раскатанный пригар (9)	0,04778374	0,077833221
21	Протекто	Отпечатки, насечки (29)	0,01146554	0,014324228
22	Пятназаг	Пятна загрязнения (45)	0,00054129	0,001000190
23	Разнотол	Разнотолщинность (б/н)	0,00466248	0,001645226
24	Рванкром	Зазубрины, рваная кромка (48)	0,07232147	0,029598412
25	Рвансмят	Вмятины рваные, забоины (62)	0,00283439	0,000886623
26	Ржавчина	Пятна ржавчины (59)	0,15451413	0,041025168
27	Сажа	Пятнистое науглероживание (44)	0,04399716	0,044208987
28	Складка	Морщины, складки (21)	0,00694821	0,005569628
29	Телескоп	Телескопический рулон (12F)	0,00341505	0,003406730
30	Цараприс	Царапины (63), риски, бороздки (24)	0,28584131	0,021874075
31	Цветпобе	Цвета побежалости (53)	0,03633050	0,025811681
32	Эллипс	Смятый рулон, эллипс (10F)	0,00243335	0,002016923

Заметим также, что значительные вариации относятся к тем дефектам, которые имеют высокий уровень проявления. Опять же это излом, недотрав, линии скольжения и вместе с тем царапины, неровный торец, имеющие высокий уровень проявления, но при этом незначительный уровень вариации.

Оценить преюмственную связь дефектов от прошлого к настоящему с помощью обычного коэффициента корреляции Пирсона [4] не представляется возможным, т.к. последний предназначен для оценки парной линейной связи непрерывных нормально распределенных случайных величин. В нашем случае вектор наблюдаемых дефектов представляет собой фиксированный набор значений обособленных (альтернативных) признаков, определяющих качество проката.

При этом каждый дефект в отдельности – это случайная величина с присущим ей вероятностным распределением и числовыми характеристиками, изменяющимися с изменением технологии производства.

В этих условиях для оценки преюмственности дефектов поверхности и формы, их воспроизводимости в последующие годы были использованы методы ранговой корреляции Спирмена-Кендалла [1]. Для этого оценки средневзвешенных уровней (%) выявленных дефектов в исследуемом периоде были ранжированы (предварительно дефекты сортировались по убыванию % их проявления). Каждому дефекту обозначенного года были присвоены ранги из числовой последовательности 1, 2, ..., i , ..., 32. При этом максимальный ранг $r=32$ присваивался дефекту с максимальным процентом

проявления, и по мере снижения процента проявления дефекта снижался на единицу его ранг, а минимальный ранг $r=1$ соответствовал дефекту с минимальным процентом проявления в обозначенном году. Полученная таким образом порядковая статистика дефектов представлена в табл. 3.

Оценивая место каждого дефекта по годам, обозначенного периода времени, в баллах, мы сможем применить метод ранговой корреляции Спирмена для выявления преобладания дефектов подобно тому, как этим методом выясняют степень согласованности балльных оценок, проставляемых разными экспертами. Следовательно, мы предлагаем использовать для оценки степени тесноты связи одноименных дефектов в разные годы их проявления с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена, определяемого как:

$$\rho_s = 1 - \frac{6}{n \cdot (n^2 - 1)} \sum (r_{iu} - r_{iv})^2,$$

где n – число ранжируемых объектов (признаков), $n=32$; r_{iu} , r_{iv} – ранги в u - и v -ранжировках; $i = 1, 2, \dots, n$.

Для оценки достоверности вывода о наличии ранговой корреляции между двумя ранжировками использовалась t -статистика Стьюдента [2] с $n - 2$ степенями свободы:

$$t = \sqrt{\frac{(n-2) \cdot \rho_s^2}{(1-\rho_s^2)}}.$$

Согласно t -статистики, если $t < t_{\alpha}(n-2)$, то принимается гипотеза $H_0: \rho_s = 0$, в противном случае принимается альтернативная гипотеза о значимости ранговой корреляции между оценками двух ранжировок. Данные вычисленных значений ρ_s по трем парам ранжировок представлены ниже, где двумя индексами обозначены соответствующие годы, $\rho_{23} = 0,65$; $\rho_{24} = 0,60$; $\rho_{34} = 0,59$. На рисунке дана иллюстрация преобладания каждого дефекта за последующие два года 2002 и 2003 при $\rho_{23} = 0,65$, где отчетливо просматривается «живучесть» ряда дефектов как при низких рангах проявления (напр., дефекты № 2, 13, 29), так и при весьма высоких рангах (дефекты № 7, 9, 12, 14, 26, 30).

Оценка надежности полученных коэффициентов ранговой корреляции по t -критерию Стьюдента показывает, что на уровне значимости $\alpha = 0,05$ при числе степеней свободы $\nu = n - 2$, сравнивая табличное значение $t_{\alpha}(\nu) = 2,042$ с эмпирическими t -критериями для каждого вычисленного значения рангового коэффициента корреляции, соответственно 4,6848, 4,1079, 4,0024, видим, что они больше табличного значения. Следовательно, принимается гипотеза о значимости полученных результатов, о преобладании дефектов проката в обозначенный период наблюдения.

Используя методы порядковой статистики [1], в случае нескольких векторов наблюдений,

Таблица 3

Порядковая статистика дефектов, обозначенных в табл. 2, в разные годы наблюдаемого периода

№ п/п	Условное обозначение дефекта продукции	2002 г.		2003 г.		2004 г.	
		Уровень дефекта, %	Ранг	Уровень дефекта, %	Ранг	Уровень дефекта, %	Ранг
1	Вдавлины	0,051002624	21	0,105699824	24	0,173072668	29
2	Волчок	0,001440345	5	0,004552348	8	0,001889869	9
3	Вкатмет	0,076914435	23	0,024113217	14	0,007512231	16
4	Геометр	0,101040217	26	0,026033739	15	0,027458228	22
5	Гофра	0,082755035	24	0,008471635	11	0,000000000	1
6	Дыры	0,000000000	4	0,000000000	3	0,000251983	2
7	Излом	0,274457782	31	0,951789215	31	0,006685413	15
8	Линскол	0,000000000	3	0,342990949	29	0,011575450	17
9	Недотрав	0,103827285	27	0,870800104	30	0,252470807	30
10	Некачсм	0,005761381	15	0,003912174	7	0,011988859	18
11	Некачрез	0,005329277	14	0,010100522	12	0,004661678	12
12	Неплоск	0,090583311	25	0,168977457	27	0,111675535	26
13	Окончпро	0,005041208	13	0,023757565	13	0,131424670	28
14	Отмотки	0,941049551	32	1,138513715	32	1,286843595	32
15	Отпечгря	0,001944466	7	0,027242956	16	0,024174580	21
16	Перегибы	0,073133529	22	0,059642868	20	0,027804704	23
17	Перетрав	0,014453864	17	0,042279930	18	0,022957976	20
18	Плпромас	0,000000000	2	0,000000000	2	0,004724674	13
19	Порез	0,025105217	19	0,068064712	22	0,035490173	24
20	Пригар	0,001512362	6	0,135951597	26	0,000771697	4
21	Протекто	0,004104984	12	0,027598608	17	0,001653636	7
22	Пятназаг	0,000000000	1	0,000000000	1	0,001732380	8
23	Разнотол	0,003989756	11	0,003570748	6	0,006606669	14
24	Рванкром	0,106081426	28	0,053454521	19	0,056294486	25
25	Рвансмят	0,003838520	10	0,002389983	5	0,002228471	10
26	Ржавчина	0,201309850	29	0,129699232	25	0,130818337	27
27	Сажа	0,037096091	20	0,089297146	23	0,001393779	6
28	Складка	0,012170917	16	0,007120156	10	0,001047303	5
29	Телескоп	0,002513402	8	0,007049026	9	0,000377974	3
30	Цараприс	0,262668556	30	0,290731420	28	0,305765125	31
31	Цветлобе	0,023477627	18	0,065347529	21	0,018260863	19
32	Эллипс	0,002808673	9	0,000341426	4	0,004338825	11

например за несколько дней, недель и т.д., можно вычислить так называемый коэффициент конкордации Кендалла. В нашем случае можно сразу выяснить значимо ли отличаются уровни дефектов в нескольких векторах наблюдений, например в разные годы наблюдения, как дано в табл. 3.

Для оценки степени «схожести» нескольких (m) векторов, содержащих ранги (n), вычисляется коэффициент конкордации (ранговый коэффициент согласия Кендалла) по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)},$$

где S – сумма квадратов отклонений простой суммы оценок для i -объекта (Δ_i), выставленных по всем (m) векторам, от средней суммированной оценки ($\bar{\Delta}$). Общая сумма оценок (Δ), содержащаяся во всех векторах, равна сумме элементов (r_{ij}) таблицы размером $n \times m$, где r_{ij} – ранги, проставленные в j -векторе i -объекту. Используя принятые здесь условные обозначения, а также известные числовые характеристики для порядковой статистики (для всякого j -вектора, содержащего n натуральных чисел, среднее или медиана равна $\frac{1}{2}(n+1)$, а дисперсия соответственно $\frac{1}{12}(n^2 - 1)$), определим рабочие формулы для вычисления S :

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}, \quad \forall i = \overline{1, n};$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot n \cdot (n+1);$$

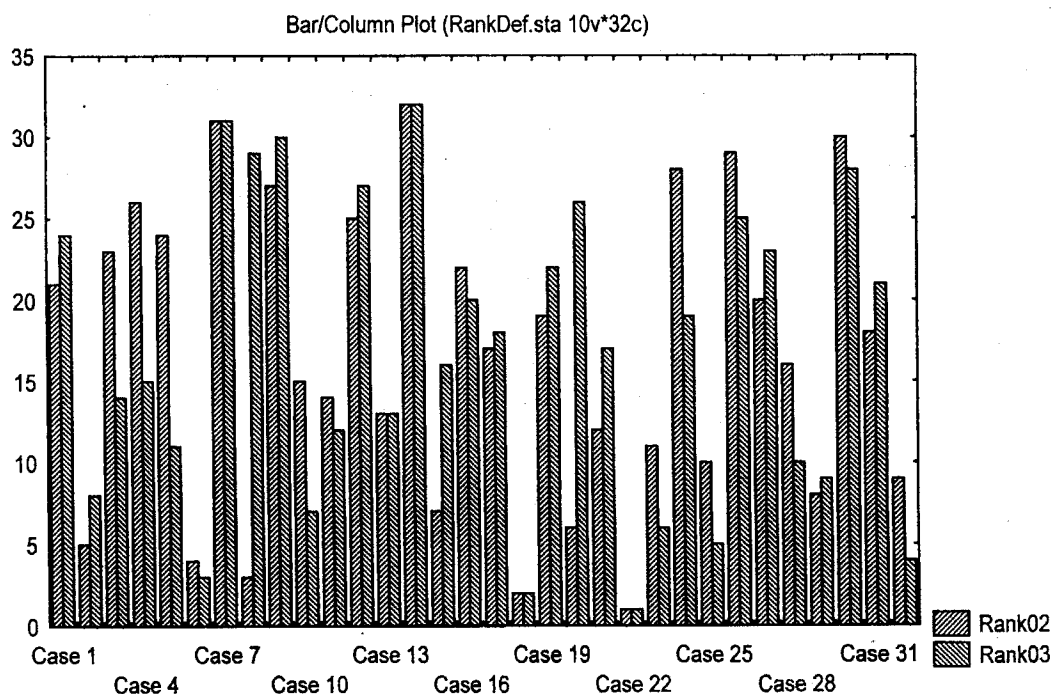
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (n+1) = \frac{\Delta}{n};$$

$$S = \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2.$$

Для оценки достоверности вывода о согласованности рангов в нескольких векторах (преимущества дефектов продукции от вектора к вектору) используют χ^2 -статистику, т.к. Кендаллом [1] было установлено, что случайная величина $m \cdot (n-1) \cdot W$ имеет χ^2 -распределение с $\nu = (n-1)$ степенями свободы, откуда

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot (n^2 + n)}.$$

Гипотеза $H_0: W = 0$ об отсутствии связи рангов принимается, если $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}(\nu)$, в противном случае принимается альтернативная гипотеза H_1 о согласованности ранговых оце-



Диаграмма, отражающая преимущество дефектов проката в период 2002–2003 годы при значении рангового коэффициента корреляции Спирмена $\rho_{23} = 0,65$

нок дефектов, зафиксированных в разных выборках (наличие преемственности).

Используя рабочие формулы, представленные выше, были вычислены значения коэффициента конкордации Кендалла $W = 0,741772$, а также критерий $\chi^2 = 68,985$. Принимая во внимание, что табличное значение $\chi_{0,05}^2(31) = 44,9853 < 68,985$, гипотезу H_0 отвергаем и принимаем альтернативную гипотезу H_1 о согласованности (конкордации) ранговых оценок дефектов продукции из разных анализируемых выборок. Следовательно, со степенью надежности $P \geq 0,95$ можно утверждать, что три исследуемые выборки по дефектам продукции за 2002–2004 годы различаются незначимо или имеет место преемственность дефектов, порождаемых существующим технологическим режимом, включая мелкие очаги нарушения этого режима. В противном случае мы получили бы значимое различие векторов наблюдений, т.е. отсутствие преемственности дефектов, что связано либо с появлением новых дефектов или «выбросами» существующих при заметных нарушениях технологических режимов, либо с радикальным устранением всегда преемственных дефектов, существенно снижающих качество продукции.

Отметим также, что коэффициент конкордации Кендалла, определяемый на основе нескольких выборок, дает более значимый результат согласованности по сравнению с коэффициентом ранговой корреляции Спирмена, предназначенный для оценки тесноты связи двух выборок. Более того, ранговый коэффициент конкордации Кендалла непосредственно связан с χ^2 -критерием Пирсона, широко известного в гипотезах проверки соответствия в качестве критерия согласия, что характерно также для гипотез, подтверждающих или от-

вергающих наличие преемственной связи дефектов продукции прокатного производства.

Использование ранговых коэффициентов Спирмена и Кендалла для оценок преемственности дефектов продукции листопрокатного производства оправдано еще тем, что исторически эти методы предназначались (и в настоящее время широко применяются) для оценки согласованности экспертов при ранжировании объектов экспертизы, а в нашем случае дефекты как раз и являются объектами, которым дают оценку эксперты-контролеры. Тем более, что ГОСТ 16523-97 на технические условия проката из низкоуглеродистой качественной тонколистовой стали для холодной штамповки непосредственно содержит норму (п. 6.3): «Качество поверхности проката проверяют внешним осмотром без применения увеличительных приборов, классификация дефектов поверхности по ГОСТ 21014».

Выводы

- Предлагается метод оценки преемственности дефектов поверхности и формы рулонного широкополосного холоднокатаного металла, основанный на ранговой корреляции Спирмена-Кендалла.
- Выполнен статистический анализ по качеству проката и установлено, что в период 2002–2004 гг. дефекты исследуемой продукции имеют высокий уровень преемственности: степень тесноты взаимосвязи одноименных дефектов из года в год составляет более 0,6 при степени согласованности их проявления более 0,7, т.е. детерминированная основа сохранения уровня наблюдаемых дефектов достаточно велика.
- Метод оценки преемственности дефектов продукции позволяет прогнозировать уровень качества и принять превентивные меры для его повышения.

Библиографический список

1. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
3. ГОСТ 21014-88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности.
4. Девятченко Л.Д. Линейная корреляция. Введение в канонический анализ. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 87 с.