

УДК 519.237.5

***ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БРАКА ПРИ СЕРИЙНОМ  
ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ***

***Леваков В.В.***<sup>1</sup>

*студент*

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,  
Калуга, Россия*

**Аннотация:** в статье рассматривается методика перехода от пассивной статистики к управлению качеством на основе корреляционно-регрессионного анализа. Представлен подход к построению математической модели зависимости размера детали от времени резания, позволяющей с заданной доверительной вероятностью прогнозировать момент наступления предельного состояния инструмента и своевременно назначать его подналадку или замену.

**Ключевые слова:** регрессионный анализ, управление качеством, размерный износ, режущий инструмент, прогнозирование отказов, корреляция, предотвращение брака.

***APPLICATION OF CORRELATION AND REGRESSION ANALYSIS FOR  
PREDICTING THE SIZE OF CUTTING TOOL WEAR AND PREVENTING  
DEFECTS IN SERIAL PRODUCTION OF PARTS***

***Levakov V. V.***

*Student*

*BMSTU (National Research University) Kaluga Branch*

---

<sup>1</sup> *Научный руководитель: Иконникова И.В., к.э.н., доцент КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, Россия*

*Scientific Supervisor: I.V. Ikonnikova, PhD in Economics, Associate Professor at the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Kaluga, Russia*

*Kaluga, Russia*

**Annotation:** The article discusses the methodology of transition from passive statistics to quality management based on correlation and regression analysis. It presents an approach to building a mathematical model of the dependence of the part size on the cutting time, which allows for predicting the moment of the tool's critical condition with a given confidence level and timely adjusting or replacing the tool.

**Keywords:** regression analysis, quality management, dimensional wear, cutting tool, failure prediction, correlation, and defect prevention.

Современное машиностроительное производство характеризуется ужесточением требований к точности обработки, стабильности технологических процессов и снижению доли брака. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на точность механической обработки, является размерный износ режущего инструмента. В процессе резания происходит изменение геометрии рабочей части инструмента, что неизбежно ведет к изменению фактических размеров получаемых деталей.

Традиционно на производстве применяются две основные стратегии обеспечения размерной стойкости инструмента: либо замена через строго определенное количество деталей, либо по факту обнаружения брака. Первая стратегия часто приводит к недоиспользованию ресурса инструмента и неоправданным затратам. Вторая, несмотря на кажущуюся экономию, влечет за собой существенно большие потери: стоимость бракованной детали, время на внеплановую переналадку станка, нарушение ритмичности производства и риск пропуска дефектных изделий к потребителю. Оба подхода объединяет общий недостаток - они направлены на констатацию уже произошедшего события, а не на его предотвращение.

В связи с вышеизложенным, особую актуальность приобретает переход от философии контроля качества к философии управления качеством. Управление Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

качеством подразумевает активное воздействие на процесс на основе информации о его текущем состоянии и прогнозе его изменения. Инструментом для реализации данного подхода выступают методы математической статистики, в частности, корреляционно-регрессионный анализ. К задачам корреляционного анализа относится количественное определение тесноты связи между двумя признаками при парной связи или между результативным и несколькими факторными при множественной связи [5]. Регрессионный анализ заключается в определении аналитического выражения связи в виде уравнения регрессии [5]. Данный метод позволяет не просто зафиксировать наличие зависимости между наработкой инструмента и изменением размера детали, но и количественно описать зависимость в виде математической модели.

Процесс размерного износа инструмента, как правило, носит закономерный характер. Наиболее распространенной является кривая износа, имеющая три характерных участка: приработка, установившийся износ и катастрофический износ. Для целей прогнозирования наибольший интерес представляет участок установившегося износа, где зависимость размера детали (Y) от времени резания или количества обработанных деталей (X) может быть описана линейной функцией:

$$Y = a + bX + \varepsilon \quad (1)$$

где: Y - контролируемый размер детали;

X - фактор времени;

a - начальный размер;

b - коэффициент регрессии, характеризующий скорость размерного износа;

$\varepsilon$  - случайная ошибка.

Цель корреляционно-регрессионного анализа — определить тесноту связи между X и Y и рассчитать параметры уравнения регрессии. Наличие устойчивой корреляции подтверждает, что именно износ инструмента является доминирующим фактором изменения размеров.

Экспериментальная часть исследования проводилась на операции токарной обработки вала. Контролируемый параметр - диаметр шейки вала с полем допуска  $\varnothing 40h8$  (-0,039 мм). Инструмент - резец проходной с пластиной T5K10.

В процессе обработки партии деталей фиксировалась наработка инструмента. Через каждые 10 деталей производился замер фактического диаметра. Была собрана статистика до момента, когда размер приблизился к нижней границе допуска. В результате сформирована выборка объемом  $n = 15$  наблюдений (таблица 1).

Таблица 1 - Экспериментальные данные зависимости диаметра детали от наработки инструмента

№ наблюдения	Количество деталей, X, шт.	Диаметр детали, Y, мм
1	0	40,012
2	10	40,008
3	20	40,005
4	30	40,002
5	40	39,998
6	50	39,994
7	60	39,991
8	70	39,987
9	80	39,984
10	90	39,980
11	100	39,977
12	110	39,974
13	120	39,970
14	130	39,967
15	140	39,964

*Источник:* составлено автором по данным предприятия

Для подтверждения гипотезы о наличии линейной связи между наработкой (X) и размером (Y) рассчитаем коэффициент корреляции.

Таблица 2 - Расчетная таблица для определения коэффициента корреляции

№ наблюдения	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X·Y
1	0	40,012	0	1600,960144	0
2	10	40,008	100	1600,640064	400,08
3	20	40,005	400	1600,400025	800,1
4	30	40,002	900	1600,160004	1200,06
5	40	39,998	1600	1599,840004	1599,92

6	50	39,994	2500	1599,520036	1999,7
7	60	39,991	3600	1599,280081	2399,46
8	70	39,987	4900	1598,960169	2799,09
9	80	39,984	6400	1598,720256	3198,72
10	90	39,98	8100	1598,4004	3598,2
11	100	39,977	10000	1598,160529	3997,7
12	110	39,974	12100	1597,920676	4397,14
13	120	39,97	14400	1597,6009	4796,4
14	130	39,967	16900	1597,361089	5195,71
15	140	39,964	19600	1597,121296	5594,96
Σ	1050	599,813	101500	23985,04567	41977,24

Источник: составлено автором с использованием средств Microsoft Excel

Подставляем данные в формулу коэффициента корреляции Пирсона:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2)$$

$$r = \frac{15 \cdot 41977,24 - 1050 \cdot 599,813}{\sqrt{[15 \cdot 101500 - (1050)^2] \cdot [15 \cdot 23985,04567 - (599,813)^2]}} = -0,99968$$

Проверка гипотезы о наличии линейной связи подтвердила высокую корреляцию. Коэффициент корреляции между количеством обработанных деталей и размером составил  $r = -0,99968$ , что свидетельствует об очень сильной обратной зависимости: с увеличением количества обработанных деталей диаметр закономерно уменьшается

Для построения модели  $Y = a + bX$  рассчитаем параметры уравнения.

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (4)$$

где:  $\bar{Y}, \bar{X}$  – средние значения.

$$\bar{X} = \frac{1050}{15} = 70;$$

$$\bar{Y} = \frac{599,813}{15} = 39,9875 \text{ мм.}$$

Расчет коэффициента регрессии  $b$ :

$$b = \frac{15 \cdot 41977,24 - 1050 \cdot 599,813}{15 \cdot 101500 - (1050)^2} = -0,0003454 \text{ мм/деталь}$$

Расчет свободного члена  $a$ :

$$a = 39,9875 - (-0,0003354 \cdot 70) = 40,012 \text{ мм}$$

Полученное уравнение регрессии:

$$Y = 40,012 - 0,0003454 * X$$

где:

$a = 40,012$  мм - начальный размер настройки (при  $X=0$ );

$b = -0,0003454$  мм/дет. - интенсивность размерного износа инструмента.

Каждая последующая деталь приводит к уменьшению диаметра в среднем на 0,3454 мкм.

После того как уравнение регрессии получено, необходимо оценить, насколько точно оно описывает исходные данные. Для этого в регрессионном анализе используется ряд показателей, ключевым из которых является коэффициент детерминации  $R^2$ .

$$R^2 = r^2 \quad (5)$$

$$R^2 = (-0,99968)^2 = 0,99936.$$

Столь высокое значение  $R^2$  говорит об отличном качестве подгонки модели и её пригодности для практического использования. Для оценки статистической значимости уравнения в целом применяется  $F$ -критерий Фишера:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - 2}{1} \quad (6)$$

$$F = \frac{0,99936}{0,00064} \cdot 13 \approx 1561 \cdot 13 = 20293.$$

Табличное значение  $F(1; 13; \alpha = 0,05) = 4,67$  [1]. Поскольку  $F > F_{кр}$ , уравнение регрессии признаётся статистически значимым, что означает, что линейная модель адекватно описывает экспериментальные данные и может быть использована для прогнозирования.

Спрогнозируем момент выхода за допуск. Подставляем граничное значение  $Y_{\text{брак}} = 39,961$  мм в уравнение регрессии.

$$39,961 = 40,012 - 0,0003454 \cdot X$$

Находим  $X$ :

$$X = \frac{40,012 - 39,961}{0,0003454} \approx 148 \text{ деталей.}$$

Согласно регрессионной модели  $Y = 40,012 - 0,0003454X$ , критическое значение нижней границы допуска  $Y_{\text{брак}} = 39,961$  будет достигнуто после обработки 148 деталей.

Для гарантированного предотвращения брака, с учетом возможных случайных колебаний, предлагается установить норматив упреждающей замены инструмента при наработке 140 деталей. Это обеспечивает технологический запас прочности и полностью исключает риск выхода размера за пределы поля допуска.

В результате проведенного исследования подтверждена эффективность применения корреляционно-регрессионного анализа для прогнозирования размерного износа режущего инструмента. Полученная математическая модель позволяет с высокой точностью определить момент достижения предельного состояния и назначить упреждающую замену инструмента, исключая возникновение брака. Предложенный подход обеспечивает переход от реактивного контроля качества к активному управлению качеством в серийном производстве.

### Библиографический список:

1. Значения критерия Фишера. URL: <https://www.chem-astu.ru/science/reference/F-statistic.html> (Дата обращения 07.03.2026)
2. Кане, М. М. Предварительный анализ экспериментальных данных. Оценка правомерности применения корреляционно-регрессионного анализа в заданных условиях: пособие для студентов специальностей 1-36 80 02

- «Инновационные технологии в машиностроении» и 1-53 80 01  
«Автоматизация» / М. М. Кане. – Минск: БНТУ, 2020. – 49 с.
3. Малова, А. С. Основы эконометрики в среде GRETL: учебное пособие / А. С. Малова. – Москва: Литрес, 2024. – 120 с.
  4. Поттосина, С. А. Оценка качества модели множественной регрессии / С. А. Поттосина, В. А. Журавлев. – Минск: БГУИР, 2003. – 94 с.
  5. Сизова, Т. М. Статистика для бакалавров: учебное пособие / Т. М. Сизова. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, [б. г.]. — Часть I — 2016. — 48 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91332> (дата обращения: 06.03.2026)