

УДК 658.562

***АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПРОЦЕССА
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТ
КУМУЛЯТИВНЫХ СУММ***

Беликова Е.В.

инженер-технолог-программист 2 категории,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Кравцов Д.С.

ведущий инженер-технолог-программист,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Пучков М.Д.

ведущий инженер-технолог-программист,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Тагиев А.А.

ведущий инженер-технолог-программист,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Аннотация

Статья посвящена применению метода cusum-карт для мониторинга производственных процессов, в частности, при изготовлении диаметра поверхности под зубчатое колесо детали «вал-шестерня». Cusum-карта позволяет отслеживать изменения ключевых параметров процесса, предоставляя возможность автоматической обработки данных и оперативного уведомления менеджера о возможных отклонениях. Описаны этапы построения cusum-карты, включая выбор опорного значения, суммирование результатов и построение

графика. Особое внимание уделено методу интерпретации данных с использованием усеченной V-маски, которая помогает определить наличие значимых сдвигов в процессе. Приведен пример применения метода к реальным данным производства, демонстрирующий эффективность данного подхода в обеспечении качества продукции.

Ключевые слова: cusum-карты, статистическая управляемость, управление качеством, токарная обработка.

ANALYZER OF STATISTICAL CONTROLLABILITY OF THE TURNING PROCESS USING CUMULATIVE SUM CARDS

Belikova E.V.

engineer-technologist-programmer of the 2nd category,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Kravcov D.S.

lead engineer-technologist-programmer,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Puchkov M.D.

lead engineer-technologist-programmer,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Tagiev A.A.

lead engineer-technologist-programmer,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Annotation

The article is devoted to the application of the cusum cards method for monitoring

production processes, in particular, in the manufacture of the surface diameter for the gear wheel of the shaft-gear part. The cusum card allows you to track changes in key process parameters, providing the ability to automatically process data and promptly notify the manager of possible deviations. The stages of constructing a cusum card are described, including selecting a reference value, summing up the results, and creating a graph. Special attention is paid to the method of data interpretation using a truncated V-mask, which helps to determine the presence of significant shifts in the process. An example of applying the method to real production data is given, demonstrating the effectiveness of this approach in ensuring product quality.

Keywords: cusum cards, quality management, quality factors, evaluation criteria.

Карты кумулятивных сумм представляют собой универсальный и мощный графический способ анализа данных, упорядоченных в определенной последовательности.

В данном контексте они используются для оценки выполнения конкретной технологической операции: токарной обработки диаметра поверхности под зубчатое колесо детали «вал-шестерня».

Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 7870-4-2013 «Статистические методы. Контрольные карты. Часть 4. Карты кумулятивных сумм» этот подход также известен как метод кумулятивных сумм («cusum-методом»). Он основан на вычитании определенного значения (например, целевого, или опорного) из исходных данных и последующем суммировании этих разностей. Графическое представление таких сумм называется cusum-картой. Этот простой математический процесс обеспечивает наглядную визуализацию данных [1].

Преимущество метода заключается в том, что он позволяет выявлять изменения примерно в три раза быстрее, чем карты Шухарта. Cusum-карты могут использоваться вместе с картами Шухарта для более полного анализа.

Кумулятивные суммы отображаются как отклонения от установленного опорного значения, а среднее значение любого набора последовательных данных

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

можно представить через угол наклона графика. Основные характеристики cusum-карты заключаются в следующем.

а) Cusum-карта чувствительна к выявлению изменений среднего значения.

б) Любые отклонения от среднего и их величина визуально отображаются через изменение угла наклона графика данных:

1) горизонтальная линия показывает, что среднее значение процесса соответствует целевому или опорному уровню;

2) наклон графика вниз говорит о том, что среднее значение процесса ниже опорного или целевого уровня (чем круче наклон, тем больше разница);

3) подъем графика данных вверх свидетельствует о превышении средним значением процесса опорного или целевого уровня (снова, чем больше угол наклона, тем больше отклонение) [2].

с) Cusum-карта также полезна для ретроспективного анализа и прогнозирования поведения процесса в ближайшее время.

Cusum-карта помогает выявить моменты произошедших изменений, отмечая точки, где меняется градиент cusum-графика. Преимущество cusum-карты заключается в возможности быстрого и точного определения момента, когда необходимо предпринять корректирующие меры.

Функция cusum-карт заключается в возможности их обработки без использования графиков - они могут быть представлены в виде таблиц. Это особенно удобно при мониторинге процессов с большим количеством параметров и характеристик продукции. Данные о состоянии процесса могут собираться автоматически и передаваться в специализированное ПО для проведения автоматического cusum-анализа. Таким образом, менеджер процесса получает уведомления об изменениях сразу по нескольким параметрам [5].

В данном примере, анализируя процесс изготовления диаметра поверхности под зубчатое колесо детали «вал-шестерня» методом токарной обработки, решено построить cusum-карту для каждого отдельного значения этого параметра.

Для построения *cusum*-карты необходимо выполнить несколько этапов:

Этап 1. Выбор опорного, целевого, контрольного или предпочтительного значения.

Согласно ГОСТ Р ИСО 7870-4-2013 корректный выбор целевого значения играет ключевую роль при настройке *cusum*-схемы [1].

Простейший вариант выбора целевого значения - использование заданного или установленного значения. Обычно такое значение соответствует какому-либо нормативному показателю, например, номинальному значению или середине поля допуска.

Исходя из этого, выберем целевое значение, равным середине поля допуска на рассматриваемый размер:

$$T = \frac{20 + 19,948}{2} = 19,974 \text{ мм.}$$

Этап 2. Результаты зонсят в таблицу в логической последовательности (например, временной). Из каждого результата вычитают опорное значение.

Этап 3. Полученные на предыдущем шаге значения последовательно суммируются. Это последовательные суммы отображаются на *cusum*-карте.

Этап 4. Чтобы улучшить визуализацию данных, рекомендуется установить масштаб по горизонтальной оси так, чтобы расстояние между точками составляло не более 2,5 мм.

Этап 5. Для обеспечения оптимальной дискриминации без чрезмерной чувствительности следует выбирать удобный интервал между точками на горизонтальной оси и устанавливать интервал на вертикальной оси равным $2a$ (или 2σ для *cusum*-карты средних значений), округляя в соответствии с установленными правилами [3].

Один из наиболее простых методов интерпретации *cusum*-карты - использование усеченной V-маски.

Усеченная V-маска общего назначения показана на рисунке 1.

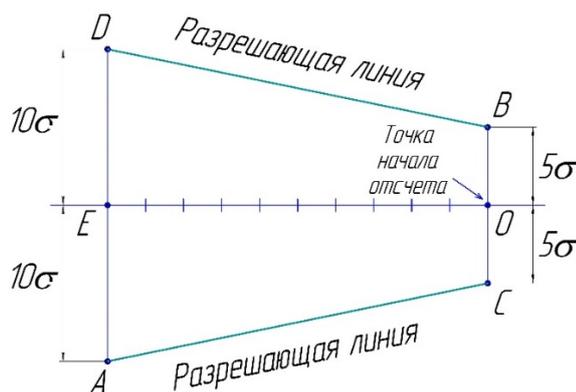


Рис. 1. Усеченная V-маска

Усеченная V-маска включает начальную точку O . От нее отходят два вертикальных отрезка OB и OC длиной 5σ (где σ - стандартное отклонение) по обе стороны от точки O . Эти отрезки называют интервалами решений. Наклонные отрезки BA и CD , называемые разрешающими линиями, ограничивают cusum -график. Расстояние EO составляет десять интервалов наблюдений, а вертикальные отрезки EA и ED равны 10σ [4].

Для применения маски, на горизонтальной линии начала отсчета cusum -карты отмечают точку O . При непрерывном управлении эта точка будет самой последней.

Если cusum -график остается внутри разрешающих линий маски (или их продолжения), значит, существенных сдвигов среднего значения на графике нет, и процесс считается статистически управляемым относительно целевого значения. Если же график выходит за пределы разрешающих линий маски, это свидетельствует о значительном отклонении от целевого значения, и процесс становится неуправляемым [6].

Приведено построение cusum -карты для результатов измерений диаметра поверхности под зубчатое колесо детали «вал-шестерня». Взяты данные измерений первых изготовленных десяти деталей. Данные для построения cusum -карты занесены в таблицу 1.

Таблица 1 - Данные для построения cusum -карты

№ п/п	Значение размера, мм	Отклонение от опорного	Кумулятивная сумма
-------	----------------------	------------------------	--------------------

		значения 19,974	отклонений
1	19,975	0,001	0,001
2	19,965	-0,009	-0,008
3	19,978	0,004	-0,004
4	19,974	0,000	-0,004
5	19,973	-0,001	-0,005
6	19,977	0,003	-0,002
7	19,963	-0,011	-0,013
8	19,975	0,001	-0,012
9	19,973	-0,001	-0,013
10	19,963	-0,011	-0,024

Cusum-карта отклонений размеров от целевого уровня $T = 19,974$ мм (соответствует середине поля допуска) приведена на рисунке 2. Для анализа контрольной карты построена усеченная V-маска. Стандартное отклонение для рассматриваемых данных и для построения шаблона V-маски составила $\sigma = 0,0057$ мм.



Рис.2. Cusum-карта и наложенный на нее усеченная V-маска. (авторская разработка)

Анализируя полученную cusum-карту, получается следующее: когда шаблон V-маски совмещается с любой точкой графика кумулятивных сумм, видно, что кривая остается внутри разрешающих линий. Это говорит о том, что отклонения в процессе изготовления детали по данному размеру являются случайными и незначительными, а сам процесс остается близким к целевому значению, соответствующему середине поля допуска.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р ИСО 7870-4-2013 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 4. Карты кумулятивных сумм
2. Жулинский С.Ф. Статистические методы в современном менеджменте качества / С.Ф. Жулинский, Е.С. Новиков, В.Я. Поспелов. М.: Фонд «Новое тысячелетие». 2001. 208 с.
3. Мойзес, Б.Б. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие для вузов/ Б.Б. Мойзес, И.В. Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Плотникова, Л.А. Редько. 2-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2022 ; Томск : Томский политехнический университет. 118 с.

4. Рожков Н.Н. Статистические методы контроля и управления качеством продукции: учебное пособие для вузов / Н.Н. Рожков. 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2022. 154 с.

5. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества: Учеб. пособие. - М.: Изд-во стандартов, 1987. 320 с.

6. Юдин С. В., Калинин Н. В., Юдин А. С. Статистические методы управления качеством как часть управленческой культуры //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №. 5. – С. 18-28.

Оригинальность 78%