

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНТЕГРАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С MDC-СИСТЕМОЙ

© 2022 Калакова Е.С.¹, Хаймович А.И.¹, Мешкова Е.А.², Мешков А.А.¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

² Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Контроль качества изготовления деталей является одной из приоритетных задач на производстве. Автоматизация процессов контроля качества позволит минимизировать риски, увеличить эффективность и производительность, снизить затраты. В данной работе рассматривается мониторинг состояния технологического процесса в режиме реального времени. Целью исследования является разработка концепции интеграции отдельных статистических методов управления качеством и MDC-систем с использованием методов вибродиагностики.

Ключевые слова: механическая обработка, управление качеством, онлайн-мониторинг, контрольные карты, вибродиагностика.

Качество является основным показателем какого-либо изделия. Оно определяет основные технические и эксплуатационные характеристики, возможность работоспособности, безотказности, точности и стабильности работы. Достижение необходимой точности и качества поверхности деталей является приоритетной задачей механически обрабатывающего производства.

Четвертая промышленная революция и, как ее следствие, цифровая трансформация производства влечет за собой необходимость разработки также и новых моделей управления качеством. Возрастает потребность в использовании автоматизированных систем, способных к контролю качества

технологического процесса в режиме реального времени. Использование таких систем позволит предсказать появление брака, минимизирует риски, снизит затраты и повысит эффективность производства.

Таким образом, ставится задача о получении информации о состоянии технологической операции в режиме реального времени, а также о разработке методики контроля качества и своевременном принятии решений.

Традиционными методами управления качеством считаются статистические методы, среди которых можно выделить семь основных инструментов, которые представлены на рисунке 1.

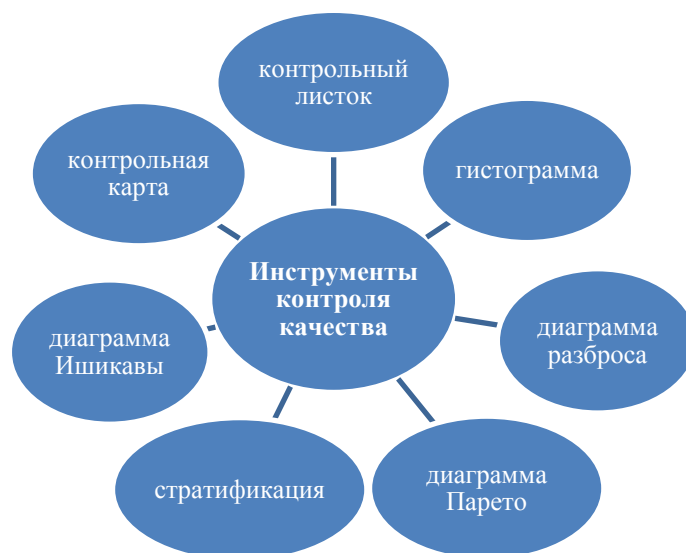


Рисунок 1 - Основные статистические методы управления качеством

Выделим среди них метод контрольных карт, как наиболее распространенный в машиностроении, а также отметим данный метод, как единственный из этих способов, позволяющий отслеживать процесс в режиме реального времени и воздействовать на него, что отмечено в исследовании [1].

Контрольная карта представляет собой графический способ изображения данных о состоянии процесса, который позволяет визуализировать изменчивость процесса [2, 9-11].

Применение контрольных карт показаны в исследовании [3], где Юдиным С.В. был предложен подход, основанный на использовании карт Шухарта с варьируемыми границами, позволяющий управлять процессом при перенастройке оборудования, в исследовании Косых А.П. [4] показана эффективность использования контрольных карт на примере изготовления детали из стали 45.

В условиях возрастающей конкуренции, непредсказуемости окружающей среды, методы управления качеством должны приобретать динамичный, непрерывно развивающийся характер, требующий постоянного совершенствования организационных условий и структур управления. Данным условиям удовлетворяет концепция «Качество 4.0».

Качество 4.0 определяет подход, который производители могут применять при внедрении новых технологий. Он включает в себя машинное обучение, предиктивную аналитику, Интернет вещей, Big Data

и облачные вычисления, для обеспечения непрерывного улучшения и повышения общей производительности.

Тенденция к оптимизации, уменьшению доли влияния человека на процесс обработки влечет за собой необходимость создания автоматизированной системы контроля качества.

Автоматического сбора данных о работе всех производственных объектов и оперативного обмена информацией позволяют достичь MDC-системы (Machine Data Collection).

В настоящее время в функционал современных MDC- систем (решения на базе платформы Winnum, АИС «Диспетчер» и др.) в своем составе содержат программно-аппаратные средства контроля состояния оборудования по вибросигналу для оперативной организации ТОИР. Однако до настоящего момента времени не разработано методического и программного обеспечения, интегрированного в MDC-систему, предназначенного для решения задачи управления качеством в такой постановке.

В рамках данного исследования предлагается концепция интеграции системы мониторинга оборудования и статистических методов управления качеством, в частности контрольных карт Шухарта.

С использованием методов виброакустической диагностики, данные может собирать система мониторинга оборудования, предполагается снятие сигнала в процессе обработки и построение контрольных карт

для определения отклонения процесса от статистически устойчивого в сравнении с эталонным значением в режиме реального времени.

Исследования [5-7], по применению метода вибродиагностики для анализа такого явления как износ инструмента указывают на возможность расширения и адаптации обозначенного подхода применительно к задаче управления качеством. В этом случае контрольные карты могут быть построены автоматически на основании косвенных данных, полученных с использованием методов акустической эмиссии, микрофона или датчиков мощности шпинделя

на примере исследования [7], в котором диагностируется только износ инструмента.

В качестве параметра идентифицирующего отклонения сигнала от эталонного значения в процессе обработки предлагается использовать периодограмму. В рамках исследования был проведен эксперимент, план проведения эксперимента для материала Сталь 45 представлен в таблице 1 представлена зависимость от номера эксперимента изменялись различные параметры: скорость резания, подача, глубина резания. Виброакустический сигнал снимался при помощи шумомера-виброметра ОКТА-ФОН-110

Таблица 1 – План эксперимента для материала Сталь 45

№ опыта	$V_{\text{резания}}$, мм/мин	S_z , мм/зуб	a_e , мм
1	100	0.05	0.1
2	100	0.05	0.3
3	100	0.05	0.5
4	100	0.1	0.1
5	100	0.1	0.3
6	100	0.1	0.5
7	100	0.2	0.1
8	100	0.2	0.3
9	100	0.2	0.5
10	150	0.05	0.1
11	150	0.05	0.3
12	150	0.05	0.5
13	150	0.1	0.1
14	150	0.1	0.3
15	150	0.1	0.5
16	150	0.2	0.1
17	150	0.2	0.3
18	150	0.2	0.5
19	200	0.05	0.1
20	200	0.05	0.3
21	200	0.05	0.5
22	200	0.1	0.1
23	200	0.1	0.3
24	200	0.1	0.5

25	200	0.2	0.1
26	200	0.2	0.3
27	200	0.2	0.5

Обработка полученных результатов осуществлялась в программной среде MatLab. Целью обработки сигнала является получение критерия-индикатора сигнала, с помощью которого возможно однозначное определение отклонения параметров сигнала механической обработки. Было выдвинуто предположение о том, что периодограмма отфильтрованного с помощью вейвлет-преобразования и далее центриро-

ванного сигнала акустической эмиссии (АЭ) является уникальным и применимым параметром.

Полученный в результате проведенного анализа график пиковых значений периодограммы для каждого эксперимента из таблицы 1 представлен на рисунке 2. На рисунке изображена поверхность из 9х3 пиков для скоростей резания 100, 150, 200 мм/мин соответственно.

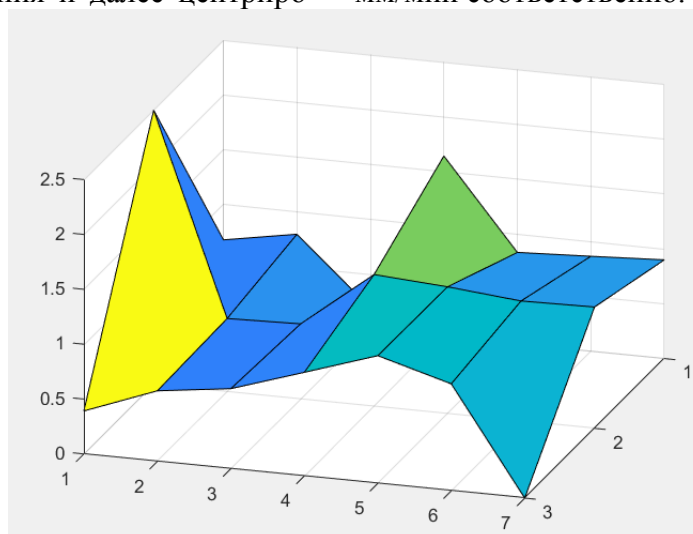


Рисунок 2 - Периодограмма полученного сигнала

Исходя из полученных результатов анализа, можно сделать вывод об уникальности выбранной характеристики сигнала. Периодограмма может быть использована в качестве идентифицирующего параметра. Следует также отметить, что зафиксированные пики в периодограммах АЭ содержат ряд нехарактерных выбросов (рис. 2), что свидетельствует об неустойчивом характере резания на этих режимах.

Интеграция с MDC-системой, например с АИС «Диспетчер», на базе которой уже заложен модуль вибродиагностики, позволит производить контроль качества в ре-

жиме реального времени при разработке электронного эталона технологической операции.

Модернизация методов контроля качества может привести к таким экономическим эффектам, как сокращение непроизводительных потерь, не входящих в плановую себестоимость изделия; снижение материальных затрат на производство; снижение потерь от рекламаций и т.д. Важным экономическим эффектом в результате обеспечения качества можно считать – предотвращенный убыток. Смета расходов представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Смета расходов

№	Материально-технические ресурсы	Стоимость (ед.), руб	Количество, ед.	Всего, руб.
1	Приобретение:	70 000	3	210 000

	• терминала-регистратора ТВВ10; • регистратора Р-02Д; • сканера штрих-кода; • монтажного комплекта АИС «Диспетчер»			
2	Приобретение набора программных продуктов и лицензии на подключение станка	40 000	3	120 000
3	Приобретение виброакустических датчиков	5000	3	15 000
4	Приобретение программного обеспечения для модуля управления качеством	15 000	1	15 000
5	Обработка экспериментальной партии для изготовления эталона	65 000	1	65 000
6	Проведение обучения для работников предприятия	25 000	1	25 000
	Всего			450 000

Основной целью предложенной в данной статье концепции является снижение процента выпускаемого брака. Для внедрения описанной методики на предприятие она должна быть эффективной с экономической точки зрения. Под эффективностью согласно [8] подразумевается «результативность» использования средств для достижения целей.

При оценке эффективности проекта применяют следующие показатели:

- Чистый дисконтированный доход (Net Present Value, NPV);
- внутренняя норма доходности (Internal Rate of Return, IRR);
- дисконтированный/ недисконтированный срок окупаемости (Pay-Back Period, PP);
- дисконтированный/ недисконтированный индекс доходности (PI).

Основным критерием эффективности проекта считается величина NPV. При положительном значении NPV проект считается эффективным.

Чистый дисконтированный доход — это показатель, отражающий изменение денежных потоков и показывает разность между дисконтированными денежными доходами и расходами. NPV можно представить в виде формулы 1.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{IC_t}{(1+d)^t} \quad (1)$$

где NPV — чистый дисконтированный доход, в руб.;

CF_t — денежные поступления по инвестиционному проекту, в руб.;

IC_t — затраты по инвестиционному проекту в t-ый период, в руб.;

t — период поступления денежных средств или осуществления затрат по инвестиционному проекту;

d — ставка дисконтирования, в долях единиц;

n — продолжительность инвестиционного проекта.

В данном исследовании рассмотрим задачу по определению эффективности проекта с учетом, что продолжительность инвестиционного проекта равна 3 года, а денежные поступления ежегодно составят 150 000 руб.

Воспользуемся кумулятивным методом оценки ставки дисконтирования и рассчитаем ставку дисконтирования, используя формулу 2:

$$d = E_{\min} + I + r, \quad (2)$$

где d — ставка дисконтирования (номинальная);

$E_{\min}$ — минимальная реальная ставка дисконтирования;

I — темп инфляции;

r — коэффициент, учитывающий уровень инвестиционного риска.

Свободную от риска минимальную норму прибыли берем равной ставке рефинансирования ЦБ РФ, которая на данный момент составляет 11%.

Компания «Альт-Инвест» (разработчик одноименного программного продукта) рекомендует использовать следующую методику определения премии за риск, представленную в таблице 3.

Таблица 3 – Методика определения премии за риск

Характеристика источника риска проекта	Премия за риск
Проект, поддерживающий производство:	0%
расширение производства:	3%
выход на новые рынки:	6%
смежные области бизнеса (новый продукт):	9%
новые отрасли:	12%

Спрогнозированный темп инфляции в 2022 году составит 17%, в 2023 г. – 7%, в 2024 г. – 4%. Таким образом, ставка дисконтирования для 1-го, 2-го, 3-го соответственно равны:

$$d_1 = 11 + 17 = 28 \%,$$

$$d_2 = 11 + 7 = 18\%,$$

$$d_3 = 11 + 4 = 15\%.$$

Таким образом:

$$NPV = 150\,000 + \frac{150\,000}{(1 + 0,28)^1} + \frac{150\,000}{(1 + 0,18)^2} + \frac{150\,000}{(1 + 0,15)^3} - 450\,000 = 23542,6.$$

Так как значение $NPV > 0$, то проект можно считать эффективным.

Подытоживая изложенное, следует отметить, что концептуально:

- вибродиагностику можно адаптировать для реализации классических статистических методов управления качеством;

- существующий функционал MDC – систем позволяет встраивать аппаратно-программные комплексы вибродиагностики для управления качеством металлообработки в режиме реального времени.

Каждый из этих аспектов для схожих задач был апробирован авторами независимо один от другого. Их совместная интеграция потребует дальнейших исследований в алгоритмической и программной реализации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Паневчик В.В. Статистическое регулирования технологических процессов с применением ЭВМ //III Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные технологии в образовании, науке и производстве», 20-21 ноября, 2015 г.
2. ГОСТ Р ИСО 7870-1-2011. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 1. Общие принципы. - М.: Стандартинформ, 2012. - 20 с.
3. Юдин С.В. , Протасьев В.Б. Использование контрольных карт Шухарта с переменными контрольными границами // Качество и жизнь . - 2018. - № 4. - С. 72-76.
4. Косых А.П., Курбонов Р.С. Б. Обеспечение качества и стабильности технологического процесса изготовления продукции//Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «3D технологии в решении научно-практических задач». 2021 г. – С. 74-78.
5. Khaimovich A.I., Prokhorov S.A., Stolbova A.A., Kondratyev A.I. A model of milling process based on morlet wavelets decomposition of vibroacoustic signals //CEUR Workshop Proceedings. – 2017. –V. 1904. – Pp. 135-140.

6. Pechenin V.A., Khaimovich A.I., Kondratiev A.I., Bolotov, M.A. Method of controlling cutting tool wear based on signal analysis of acoustic emission for milling// *Procedia Engineering*. – 2017. – V. 176 – Pp. 246-252.
7. Keith H. A multivariate control charts for autocorrelated tool wear processes. *Quality and reliability Engineering International* - Wiley Online Library, 2016.
8. Хейне П. Экономический образ мышления – М.: Новости, 1991 г. – 260 с.
9. Хаймович И.Н., Хаймович А.И. Процедурные правила разработки и согласования бизнес-процессов кузнечно-штамповочного производства // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. - 2008. - № 1 (14). - С. 248-252.
10. Хаймович И.Н., Гречников Ф.В. Разработка информационных систем управления конструкторско-технологической подготовкой производства как интегрированной базы информационных и функциональных структур// *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. - 2008. - № 3. - С. 34-41.
11. Хаймович И.Н., Хаймович А.И., Сурков О.С. Практика применения специализированных технологических шаблонов процесса пятиосевой механической обработки лопаточных венцов моноколес// *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. - 2016. - № 1. - С. 103-108.

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF INTEGRATION OF SEPARATE METHODS OF QUALITY CONTROL OF MECHANICAL WORKING WITH MDC-SYSTEM

© 2022 Elizaveta S. Kalakova¹, Alexander I. Khaimovich¹, Ekaterina A. Мешкова²,
Artem A. Мешков¹

¹ Samara National Research University, Samara, Russia

² Samara State Technical University, Samara, Russia

Quality control of parts manufacturing is one of the priority tasks in production. Automation of quality control processes will minimize risks, increase efficiency and productivity, and reduce costs. This paper deals with monitoring the state of the technological process in real time. The aim of the study is to develop a concept for the integration of individual statistical methods of quality management and MDC-systems using vibrodiagnostics methods.

Keywords: online monitoring, mechanical processing, quality management, control charts, vibration diagnostics.