



Ключевые слова:
процесс прокатки,
дефекты поверх-
ности валков,
статистическая
обработка измери-
тельных сигналов,
оценка параметров
структуры поверх-
ности

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Виталий СКРИПКА, Луиза МИНЯЗЕВА

Предложено оценивать качество поверхности на основе статистической обработки результатов измерения отклонения формы поверхности валков, рассматриваемой как случайный пространственный процесс. В качестве оценки диагностического параметра используется значение корреляционной функции измерительных сигналов, соответствующих соседним участкам поверхности, что создает предпосылки для повышения достоверности контроля и диагностики прокатных станов.

Развитие машиностроения на сегодняшний день невозможно без создания современного оборудования, эффективность работы которого позволяет достичь максимально возможных показателей качества продукции и его достоверной оценки. Начало 21 века ознаменовало переход наиболее экономически развитых стран мира к 6-му технологическому укладу.

В современном производстве важной составляющей в принятии разнообразных решений является измерительная информация. Недостаточный уровень метрологического обеспечения производства приводит к ухудшению достоверности методик выполняемых измерений, что не соответствует требованиям производства и эксплуатации промышленных систем и элементов. Для многих элементов таких систем поверхностная топография является важной составляющей эффективности их работы (подшипники, валки прокатных станов и др.). Действующие методики оценки характеристик поверхности основаны на принципе выделения определенного участка измерения параметров поверхностной структуры и распространения полученных результатов на всю поверхность (ISO 1302:2002, ГОСТ 2798-73, ГОСТ 978-93, ГОСТ Р ИСО 4287-2014). Такое допущение в исследовании поверхности не позволяет идентифицировать неявно выраженные, но важные для практики дефекты, расположенные за пределами оцениваемого участка.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

подавляющее большинство первичных измерительных преобразователей (механические, оптические, токовых, магнитные и пр.), используемых для измерения и контроля отклонения поверхностной геометрии, во многом объективно исчерпали потенциальные возможности повышения точности и (или) проведения оценки качества поверхностей значительных площадей в производственных условиях. В этой связи одним из допустимых вариантов повышения достоверности результатов определения качества поверхностей относительно большой площади является оптимизирование алгоритмов обработки измерительной информации, полученной «сканированием» всей поверхности, с сопутствующей математической обработкой при помощи современных компьютерных технологий.

В силу того, что поверхностную топографию можно представить в виде случайного пространственного процесса, то для обработки результатов измерений параметров указанной топографии уместно использование статистических методов анализа случайных процессов. Целесообразность реализации такого подхода доказывается практическим обнаружением и разделением радиосигналов, представляющих собой временные случайные процессы [1, 2], что указывает на возможность его применения и для других целей.

Данная статья знакомит читателя с возможностью применения статистических методов для оценки параметров поверхностной структуры значительной площади на примере прокатных валков. Совокупные характеристики поверхности прокатных валков определяют не только качество и себестоимость проката, но и общую эффективность работы прокатных станков. Таким образом, очевидна актуальность задачи обеспечения точности диагностики качества валковых поверхностей на разных стадиях изготовления, монтажа, эксплуатации и ремонта.

Большое количество работ посвящено вопросам диагностики поверхностной геометрии прокатных валков [в том числе 3, 4, 5], в них исследованы методы оценки качества поверхности. Каждый из них (вибрационный, токовихревой, на основе измерения коэрцитивной силы, акустический и др.) имеет метрологические и эксплуатационные достоинства и недостатки, а также соответствующую достоверность выявления дефектов. При этом практические реализации этих методов приводят к выводу о том, что обнаружение дефектов зависит не только от точности применяемого метода, но и от устойчивости используемых средств измерений к помехам в условиях производства, а также от структурной неоднородности (вариабельности) контролируемой поверхности, поскольку системы диагностики, условно обеспечивающие соответствующую достоверность обнаружения дефектов, при эксплуатации чаще всего не подтверждают заявленные метрологические характеристики. Это связано с тем, что уникальность эксплуатационных условий часто является причиной возникновения дополнительных погрешностей.

Ввиду того, что потенциально возможные способы повышения точности и помехоустойчивости, на базе которых строится применение датчиков определения параметров поверхности, чаще всего недостаточно информативны, остается перспективным вопрос исследования прогрессивных методов обработки измерительной информации с целью обеспечения требуемых метрологических характеристик. Одним из них может стать взаимокорреляционная обработка измерительных сигналов [6].

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ

Взаимокорреляционная обработка реализуется при многоканальном подключении измерительных устройств, схематически приведенном на рис. 1, где X_0 – это измерительный сигнал, который создает функционально связанную составляющую в измерительных каналах, а Δx_m – погрешности (помехи) сигналов в каждом канале. Явные причины корреляции полезных составляющих сигналов измеряемых параметров и соответствующие погрешности могут быть различ-

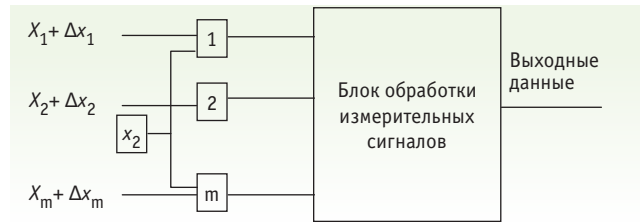


Рис. 1. Структура взаимокорреляционной обработки измерительных сигналов

ными. Но именно в конкретном случае корреляцию есть смысл рассматривать как функционально связанный с измеряемым параметром элемент. Практическая реализация анализа взаимосвязанных характеристик в совокупности измерительных сигналов, созданных на аппарате многомерной статистики, связана с определенными сложностями, обусловленными недостатком действительных значений статистических параметров. В связи с этим, приведем в качестве примера вариант применения парной взаимокорреляционной обработки для улучшения достоверности обнаружения дефектов поверхности валков.

Если на поверхности, полностью соответствующей заданным требованиям качества, выявляется неявный дефект, то статистические характеристики поверхности в области этого изъяна отличаются от аналогичных характеристик качественной поверхности. Таким образом, соответственно изменятся и сами статистические параметры измерительного сигнала. В таком случае значения корреляционной функции сигналов, получаемых при контроле ближайших участков поверхности, демонстрирующих одинаковые свойства, будут иметь максимально возможную величину, а с различными свойствами – значительно меньшую. Вследствие чего, сопоставляя последовательно парные корреляционные функции измерительных сигналов, соответствующих при контроле соседних участков поверхности, можно диагностировать степень ее однородности и появление дефектов. Схема реализации данной оценки представлена на рис. 2, где сама структура валковой поверхности характеризуется случайным пространственным процессом $S(x)$, параметры которого измеряются в зонах x_1 и x_2 датчиками A_1 и A_2 , имеющими соответствующие выходные сигналы $S_1(x)$ и $S_2(x)$, отстоящими друг от друга на фиксированное расстояние («шаг»).

При вращении валка с угловой скоростью ω , обеспечивающей время t , достаточное для обработки сигналов, находят с помощью коррелятора (алгоритма) «К» функцию:

$$R(l) = \frac{1}{l} \int_0^l S_1(x) S_2(x) dx, \quad (1)$$

где $l = r\phi$; r – радиус валка; ϕ – угол поворота валка за время t .

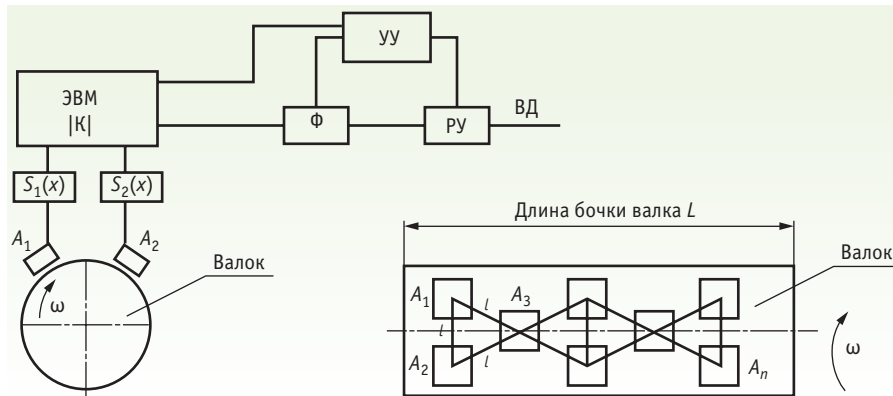


Рис. 2.

Схема расположения первичных измерительных преобразователей при парной взаимокорреляционной обработке сигналов: УУ – управляющее устройство; Ф – фильтр высоких частот; РУ – регулирующее устройство; ВД – выходные данные; |К| – коррелятор; А – первичный измерительный преобразователь (датчик); ω – частота вращения вала; L – длина бочки вала; l – расстояние между датчиками

Данная функция является «носителем» детальной информации, с одной стороны, о структурных свойствах поверхности, а с другой – о «частотных» характеристиках и нестабильных составляющих сигналов $S_1(x)$ и $S_2(x)$, а также соответствующих погрешностях. Учитывая, что каждый из этих сигналов представляет сумму полезной составляющей и шума (помехи), точность оценки параметров сигналов зависит от степени корреляции как полезных составляющих, так и корреляции шумов. «Полезная» составляющая в той или иной степени коррелирована. Высокочастотные шумы $\Delta_{вч}$, обусловленные естественной вариативностью структур в разных зонах поверхности, практически некоррелированы, а низкочастотные $\Delta_{нч}$, вызываемые, в основном, отклонениями форм и ориентации поверхности и (или) условиями проведения контроля (температура, запыленность, давление и т.п.), существенно коррелированы.

Используя известные алгоритмы обработки стохастических сигналов [1, 2, 7], можно существенно (теоретически до нуля) уменьшить $\Delta_{нч}$ при сохранении или малозначимом увеличении $\Delta_{вч}$, или наоборот при уменьшении $\Delta_{вч}$ увеличить $\Delta_{нч}$. Соотношение степени уменьшения и увеличения указанных погрешностей определяется длительностью интегрирования, то есть будет зависеть от величины базового расстояния (шага) l между сравниваемыми зонами поверхности, что предопределяет оптимальное (с точки зрения минимизации) значение суммарной погрешности оценки параметров поверхности. Следует отметить, что общего решения нахождения указанного оптимального значения не существует. Поэтому для ограничения роста $\Delta_{вч}$, то есть сохранения ее без изменения, целесообразно использовать методы оптимальной фильтрации [8].

Результаты оценки параметров используют для обнаружения или (и) распознавания измерительных сигналов, несущих информацию о фактической структуре поверхности. То есть метод обработки полученных измерительных сигналов должен позволять наиболее рациональным способом обнаруживать наличие дефекта либо констатировать его отсут-

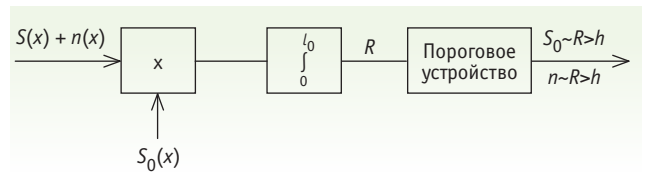


Рис. 3. Структура обнаружения известного сигнала $S_0(x)$ на фоне шума $n(x)$

ствие. Если считать, что измерительный сигнал для поверхности с требуемой степенью качества известен, то реализация правила обнаружения дефекта сведется к схеме (рис. 3) обнаружения известного сигнала $S_0(l)$ на фоне шума $n(l)$.

Согласно приведенной схеме решения, нужно измерительный сигнал $S(x)$ перемножить с сигналом $S_0(x)$, проинтегрировать произведение соответствующее «шагу» l_0 , где известна реализация, и результат сравнить с порогом h . Если этот пороговый уровень превышен, то принимается решение о соответствии качества поверхности заданным требованиям. В противном случае устанавливается решение о возникновении дефекта. Выбор величины порога h базируется на отношении правдоподобия [8].

$$h \approx \frac{\exp\left\{-\frac{1}{\Delta_\Sigma} \int_0^{l_0} [S(x) - S_0(x)]^2 dl\right\}}{\exp\left\{-\frac{1}{\Delta_\Sigma} \int_0^{l_0} S^2(x) dl\right\}},$$

где Δ_Σ – мощность «шума» (суммарная погрешность измерения), l – базовый шаг оценки поверхности.

Учитывая, что величина порога h зависит от сочетания Δ_Σ и l_0 , которые в свою очередь определяют как условиями измерения, так и свойствами сигналов $S(x)$, то значение h , как правило, выбирают исходя из сочетания допустимых при контроле ошибок первого и второго рода (вероятностей «ложной тревоги» и «пропуска цели») [8].

Большинство способов оценки характеристик микро топографии поверхности имеют или малую

разрешающую способность, или трудоемки для реализации. Поэтому был выбран фазохронометрический метод (ФХМ), который основан на преобразовании различных физических величин в измеряемые с высокой точностью (до 10^{-8} с) интервалы времени [9, 10, 11], что позволяет для циклически работающих машин и механизмов оценивать изменения линейных величин с высокой разрешающей способностью. Реализация данного метода для определения износа валков прокатных станов может осуществляться путем установки парных роликов, обкатывающих поверхность валка и оснащенных датчиками – угловыми энкодерами. Получаемые хронограммы от этих датчиков можно использовать в качестве информационных параметров изменения топографии поверхности валков. Износ валков прокатного стана изменяет длину пути проходимого роликом. Расчеты показывают, что изменение данного пути составляет единицы миллиметров за один оборот валка, а следовательно, позволяет оценить величину износа с необходимой точностью.

Был проведен вычислительный эксперимент на основе математической обработки хронограмм обкатываемого неизношенного валка одиночным роликом, где в качестве информативного признака была выбрана автокорреляционная функция (АКФ) (рис. 4).

В случае моделирования изношенной поверхности валка (изменение топографии поверхности) наблюдается качественно и количественно иной вид АКФ (рис. 5). Это подтверждает возможность использования предложенного подхода к оценке степени износа валков.

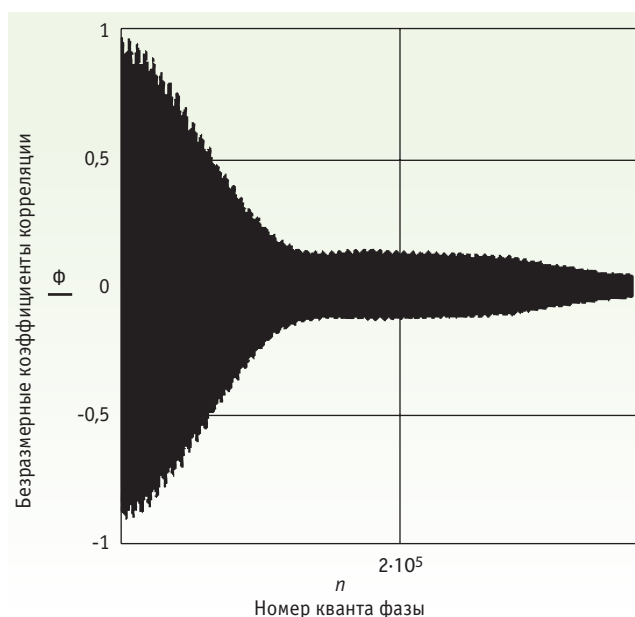


Рис. 4. АКФ неизношенной поверхности рабочего валка прокатного стана

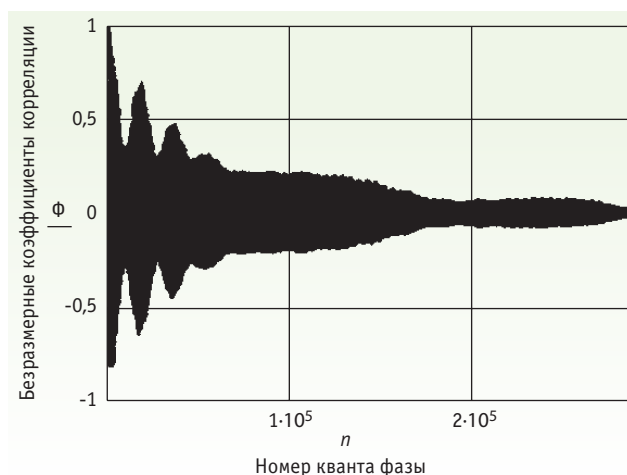


Рис. 5. АКФ изношенной поверхности рабочего валка прокатного стана

Корреляционная обработка создает также потенциальные предпосылки для дополнительного увеличения точности за счет:

- использования при обработке результатов корреляционных зависимостей сигналов не только от ближайших датчиков, но и располагающихся относительно друг друга на разных расстояниях;
- применения при парной корреляции сигналов от датчиков, созданных на различных физических принципах действия, что создает некоррелированность их «шумов», а значит, резко уменьшит дополнительные погрешности;
- отсутствия необходимости обработки результатов в режиме реального времени и создания возможности проведения многократных измерений (за несколько оборотов валка), что явно улучшает достоверность контроля;
- дополнительного выявления парных корреляций не только относящихся к контролируемой поверхности, но и к опорным сигнальным значениям, полученным при измерении структуры поверхности стандартных или контрольных образцов.

Таким образом, использование алгоритмов корреляционной обработки результатов измерительного контроля структуры поверхности прокатных валков создает предпосылки для повышения его достоверности, применяя уже существующие на сегодняшний день технические измерительные средства. К тому же, аналогичным образом есть возможность обнаруживать не только изъяны поверхности валков, но и при помощи неразрушающих методов контроля (ультразвуковых, магнитных и др.) подповерхностные дефекты, и установить их взаимосвязь с изменениями самой структуры поверхности. Наряду с этим, изложенный подход к вопросу о реализации контроля качества поверхности прокатных валков осуществим как на отдельном стенде (после изготовления или ремонта), так и в усло-

виях производства, в том числе он позволяет проводить мониторинг текущего фактического состояния валков в процессе прокатки. Таким образом, статистическая диагностика качества относительно большой поверхности не только возможна, но и целесообразна.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тихонов В.Н.** Статистическая радиотехника, М.: Советское радио, 1966. 678 с.
2. **Хохлов В.К.** Обнаружение, распознавание и пеленгация объектов в ближней локации. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 334 с.
3. **Муриков С., Артемьев И, Урцев В.И. др.** Роботизированный комплекс магнитной диагностики прокатных валков // Современные технологии автоматизации. 2010. № 3. С. 66–72.
4. **Мекел Дж.** Применение компьютеризованных систем наблюдения и диагностики на прокатных станках // Черные металлы. 1999. № 12. С. 53–60.
5. **Давыдов А.В.** Методика оценки качества прокатных валков при помощи установки ультразвуковой диагностики // Журнал публикаций аспирантов и докторантов. Курск. Вып. 1. С. 104–106.
6. **Скрипка В.Л., Загиева Н.Ю.** Многоканальное измерение расхода газа — метод повышения точности его учета // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2015. № 1. С. 42–45.
7. **Земельман М.А.** Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М.: Изд-во стандартов, 1972. С. 199.
8. **Шахтарин Б.И.** Случайные процессы в радиотехнике. М.: Радио и связь, 2002.
9. **Киселёв М.И., Пронякин В.И.** Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. № 9. С. 15–18.
10. **Пронякин В.И.** Проблемы диагностики циклических машин и механизмов // Измерительная техника. 2008. № 10. С. 9–13.
11. **Киселёв М.И., Пронякин В.И.** Проблема точности при метрологическом обеспечении производства и эксплуатации машин и механизмов // Проблемы машиноведения: точность, трение и износ, надежность, перспективные технологии / Под ред. В.П. Булатова. СПб: Наука, 2005. С. 7–24.

СКРИПКА Виталий Леонидович – кандидат технических наук, доцент Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

МИНЯЗЕВА Луиза Халисовна – старший преподаватель Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1090 руб.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ Кузнецов А. П.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. – 488 с.
ISBN 978-5-94836-477-3

В книге рассматриваются методы оценки теплового режима металлорежущих станков и их наиболее теплонапряженных деталей и узлов. Приведен механизм формирования и теплофизического анализа теплового режима деталей и узлов металлорежущих станков, дана их теплофизическая классификация и описываются типовые тепловые модели. Приводятся аналитические зависимости для оценки стационарного и нестационарного теплового режимов деталей и узлов станков.

Приведена классификация методов воздействия на тепловой режим станков, описаны способы снижения, коррекции, компенсации и управления тепловым режимом металлорежущих станков.

Предлагаемая монография может быть полезна студентам, аспирантам, а также инженерам и специалистам, занимающимся вопросами повышения точности при проектировании, производстве и эксплуатации металлорежущих станков.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosfera.ru, sales@technosfera.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГИ:



Лукашкин В.Г., Булатов М.Ф.

Эталоны и стандартные образцы в измерительной технике. Электрорадиоизмерения

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 402 с.
ISBN: 978-5-94836-512-1

Цена 840 руб.

Рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений. Даны методы воспроизведения единиц физических величин на основе современных научно-технических достижений с использованием квантовых эффектов и фундаментальных физических констант. Рассмотрены структурные схемы и техническая реализация современных первичных, вторичных и рабочих эталонов с описанием их метрологических характеристик. Приведены способы передачи размера единиц физических величин от первичных эталонов и структурные схемы поверочных установок на базе государственных и локальных поверочных схем. Даются оценки погрешности и неопределенности первичных и рабочих эталонов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.



Лукашкин В.Г., Булатов М.Ф.

Эталоны и стандартные образцы в измерениях неэлектрических величин. Справочное пособие

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 672 с.
ISBN: 978-5-94836-556-5

Цена 1300 руб.

В справочном пособии рассмотрены современные методы измерений и контроля широкого ряда неэлектрических величин, включая физико-химические преобразователи и аналитические приборы. С учетом переопределения основных величин через фундаментальные физические константы (ФФК) рассматривались только вторичные и рабочие эталоны, для которых приведены метрологические характеристики, расчетные соотношения и методы технической реализации. Даны нормативные документы и порядок разработки стандартных образцов. Проанализированы вопросы автоматизации измерений для систем удаленного сбора информации с интеллектуальных преобразователей с использованием AS-интерфейса и HART-протокола. Представлены автоматизированные поверочные установки и методы расчета погрешностей измерений.

Пособие будет интересно для специалистов, занимающихся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний, а также для студентов и аспирантов вузов метрологических и приборостроительных специальностей.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По телефону: (495) 234-01-10
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru