

УДК 669.046:62-503.5

А.Е. Кошелев, Л.И. Криволапова, О.А. Кравцова

## Структурный анализ измерительных сигналов в АСУ внепечной обработкой стали

В статье рассмотрены предпосылки к модернизации системы диагностики технического состояния продувочных устройств на агрегате комплексной обработки стали. Предложена структура модернизированной системы технической диагностики, в основе которой имеется блок структурного анализа измерительных сигналов.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, структурный анализ, вейвлет-анализ, установка продувки стали инертным газом.

### 1. Актуальность темы

Для решения проблем повышения качества стали были разработаны новые способы обработки металла как в самом агрегате (конвертер, электропечь), так и вне его – с использованием установок внепечной обработки стали: вакууматор, агрегат комплексной обработки стали (АКОС), установка продувки стали инертным газом.

Достаточно часто встречается ситуация, когда на одном агрегате внепечной обработки стали используются два варианта продувки: донная и верхняя продувки. Использование различных вариантов обработки стали вызывает необходимость совершенствования действующих систем технической диагностики как отдельных элементов, так и объекта управления в целом. Эти системы диагностики в процессе продувки расплава инертным газом должны выявлять предаварийные ситуации, характерные для конкретного варианта продувки стали, например [1]:

- “заметалливание” продувочного устройства, то есть нарастание в ходе продувки своеобразной металлической диафрагмы на продувочном устройстве с постепенно уменьшающимся диаметром сопла;
- появление “свищей”, возникающих в результате разъедания швов между огнеупорными блоками расплавленным металлом;
- полное разрушение “заросшего” продувочного сопла фурмы.

Так как все процессы появления дефектов в продувочных устройствах развиваются по ходу продувки, обнаружить их в реальном времени без специализированных средств очень сложно. В результате этого качество полученного металла не соответствует заданным свойствам.

### 2. Описание действующей системы диагностики

Основу алгоритма действующей диагностирующей системы-прототипа составляет процедура определения противодавления перед продувочной фурмой для конкретной марки стали и сопоставление текущего противодавления теоретическому. Осуществляется это следующим образом: в начальный момент плавки продувочная фурма опускается в крайнее нижнее положение  $H = H_{\min}$ , в котором производится замер давления  $P_{\min}$  на текущий момент времени. Далее наносится пробное воздействие: фурма поднимается на величину  $\Delta H$  с регистрацией продолжительности подъема  $\Delta t$  и значения давления  $P_1$  на новом установленном уровне:  $H_1 = H_{\min} + \Delta H$ , и проводится расчет сравниваемых характеристик  $S$ ,  $S_p$ , вычисляемых по формулам:

$$S = (P_1 - P_{\min}) / \Delta t; \quad S_p = \Delta P_p / \Delta t,$$

где  $P_1$  – величина давления на уровне  $H_1$ ;

$P_{\min}$  – величина давления на уровне  $H_{\min}$ ;

$\Delta t$  – время подъема продувочной фурмы;

$\Delta P_p$  – теоретическое значение давления на уровне  $H_1$  с учетом плотности жидкого металла в ковше и ускорения свободного падения.

По результатам сравнения  $S$  и  $S_p$  принимается решение об исправности фурмы или об остановке процесса продувки и смене фурмы.

Основными недостатками данной системы диагностики состояния продувочного устройства являются: функциональная ограниченность (возможность диагностировать наличие дефектов только в верхнем продувочном устройстве); значительный объем дополнительных расчетов; отсутствие современного интерфейса, понятного технологическому персоналу.

### 3. Описание модернизированной системы диагностики

Анализ эффективности действующей системы технической диагностики продувочных устройств агрегатов внепечной обработки стали выявил ее неработоспособность при заметалливании нижнего продувочного устройства, через которое ведется обработка 80% от всего объема выплавляемого металла. Повышение эффективности действующей автоматизированной системы диагностики состояния продувочных устройств достигнуто в модернизированной АСУ АКОС, имеющей двухуровневую иерархическую структуру, в состав которой включен новый алгоритмический модуль. Задачей введенного модуля является обнаружение предаварийных ситуаций в реальном времени, используя для этого информацию совокупности контролируемых измерительных сигналов (давление и расход инертного газа, глубина погружения фурмы). Структура модернизированной системы технической диагностики состояния продувочных устройств на АКОС представлена на рисунке 1.

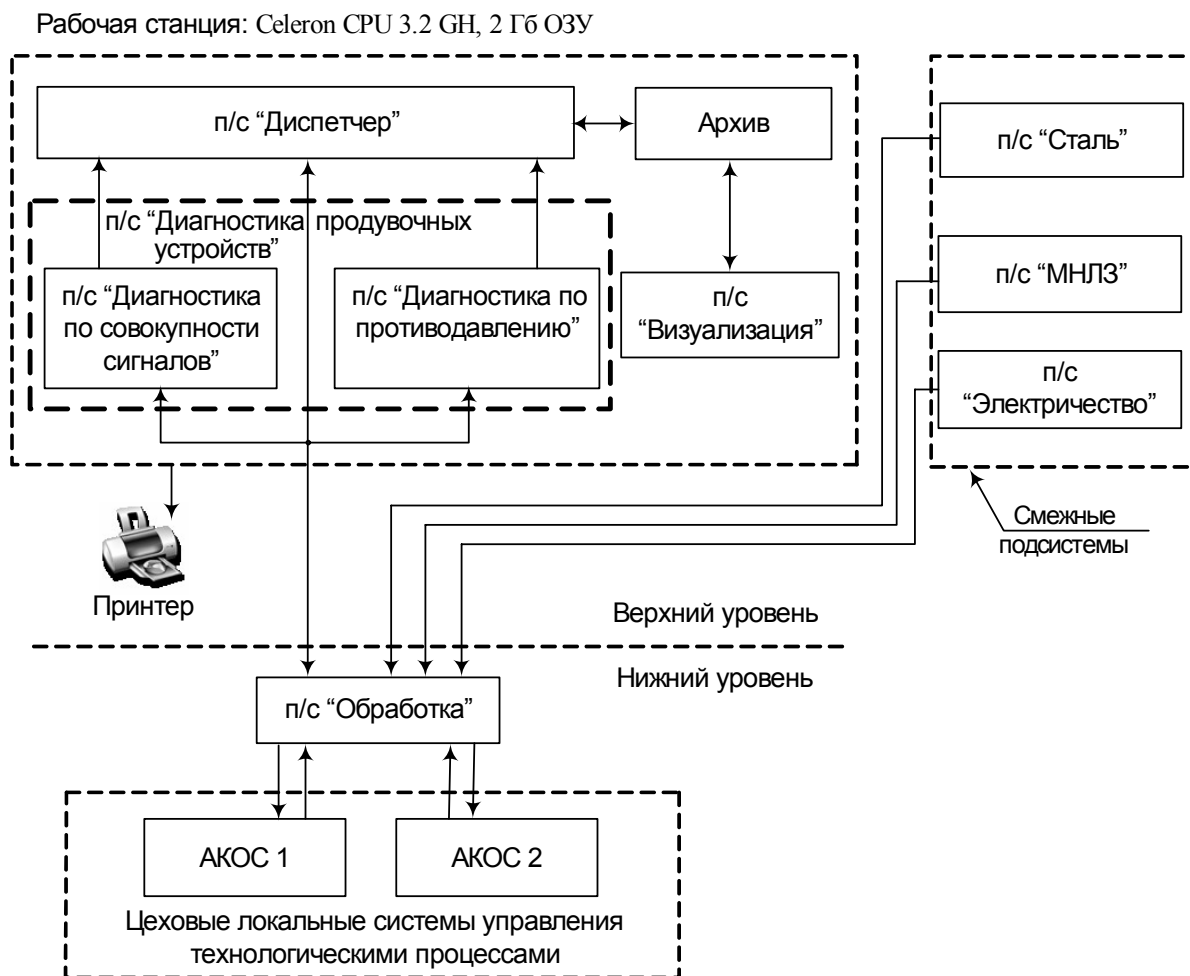


Рис. 1. Структура предлагаемой системы технической диагностики состояния продувочного устройства на агрегате комплексной обработки стали

В состав нижнего уровня иерархии входит подсистема «Обработка», реализованная на базе контроллера AllenBradley 5500 и предназначенная для сбора информации о ходе процесса обработки стали на АКОС: мгновенный расход газа на продувку, давление на фурме, состояние клапана подачи газа и контрольное положение фурмы, сигналы слива на печах, состояние весового оборудования (питатели, затворы) и текущий вес сыпучих материалов на весодозаторах, текущее положение фурмы, наличие признаков разлива и масса разлитых на машине непрерывного литья заготовок стали; предварительной обработки полученной информации и передачи ее на верхний уровень.

В состав верхнего уровня рассматриваемой системы АСУ АКОС входят подсистемы «Диспетчер», «Визуализация» и «Диагностика продувочных устройств», которые реализованы на базе рабочей станции (Celeron CPU 3.2 GHz, 2 Гб ОЗУ).

Подсистема «Диспетчер» обеспечивает прием информации от подсистемы «Параметры», прием информации с сенсорной клавиатуры на постах управления АКОС, формирование видеogramм и выдачу их на экран рабочей станции.

Подсистема «Визуализация» предназначена для выполнения следующих функций: выделение требуемой информации из базы данных; формирование документов (паспортов плавки, протоколов, графических протоколов, графиков изменения параметров для заданной обработки); формирование справок по расходу ферросплавов и инертного газа по АКОС за заданный промежуток времени. АСУ АКОС функционирует в информационно-советующем режиме с оперативным представлением текущей информации о состоянии диагностируемых элементов.

В подсистеме «Диагностика продувочных устройств» обработка информации осуществляется параллельно по двум каналам, один из которых осуществляет диагностику состояния продувочного устройства по противодействию. Второй канал диагностирует состояние продувочных устройств по структурным изменениям совокупности сигналов контролируемых переменных. Оперативное обнаружение локальных структурных изменений во всех контролируемых сигналах осуществляется с помощью вейвлет-анализа [2].

Основными блоками разработанного алгоритмического модуля являются:

- формирование исходных условий: тип и число уровней детализации измерительного сигнала, диапазон допустимых значений расчетных величин;
- проверка достоверности значений контролируемых величин, применяемая для оценивания надежности измерительной системы;
- нормирование исследуемых временных рядов данных, необходимое для возможности анализа разномасштабных графиков в одном диапазоне;
- одновременный структурный анализ всех анализируемых измерительных сигналов с помощью многоканальной структуры алгоритма вейвлет-анализа, расчет вейвлет-свертки осуществляется по рекуррентной формуле:

$$W(l, a, b) = W(l-1, a, b) + |a|^{-1/2} \sum_{\rho=l-Na+1}^{Na} b_{n,\rho} \Delta x(\rho)$$

для всех заданных  $(a, b)$  – параметров уровней детализации структуры исследуемых временных последовательностей: расход, давление газа и положение фурмы – в текущий  $l$ -й момент, где  $n_a = 1, 2, \dots, Na$  – число весовых коэффициентов вейвлет-базиса на выбранном уровне детализации сигнала;  $\Delta x(\rho)$  – значение приращения в соседние моменты времени анализируемого параметра [3]; полученные расчетные величины вейвлет-свертки, характеризующие локальные изменения структуры анализируемого сигнала, запоминаются на период, соответствующий требованиям технологической инструкции;

- анализ состояния диагностируемого элемента осуществляется по соответствию предаварийным состояниям совокупности полученных на текущий момент времени значений вейвлет-сверток учитываемых измерительных сигналов. Например:
  - 1) для нормального процесса продувки характерны конкретные диапазоны значений вейвлет-сверток по анализируемым сигналам:
    - для расхода газа –  $[W_{Q(\min)}; W_{Q(\max)}]$ ;

для давления газа –  $[W_{p(\min)}; W_{p(\max)}]$ ;

для глубины погружения фурмы –  $[W_{h(\min)}; W_{h(\max)}]$ ,

и соответствующие им величины диапазонов:

$$\Delta_Q = |W_{Q(\max)} - W_{Q(\min)}|; \Delta_p = |W_{p(\max)} - W_{p(\min)}|; \Delta_h = |W_{h(\max)} - W_{h(\min)}|,$$

где  $W_{***(\max)}, W_{***(\min)}$  – максимальное и минимальное значения величин вейвлет-сверток по исследуемым сигналам.

Принято: если условие  $\Delta_Q(l) \approx \Delta_Q; \Delta_p(l) \approx \Delta_p; \Delta_h(l) \approx \Delta_h$  выполняется (с заданной степенью точности), то отмечается отсутствие каких-либо дефектов в продувочном устройстве, где  $\Delta_Q(l); \Delta_p(l); \Delta_h(l)$  – величины диапазонов вейвлет-сверток в текущий  $l$ -й момент времени;

- 2) появление дефекта типа “свищ” сопровождается существенным изменением диапазона значений вейвлет-свертки по контролируемому давлению во время продувки, значения диапазонов вейвлет-сверток по остальным анализируемым сигналам соответствуют нормальным диапазонам:  $\Delta_Q(l) \approx \Delta_Q; \Delta_p(l) \ll \Delta_p; \Delta_h(l) \approx \Delta_h$ ;

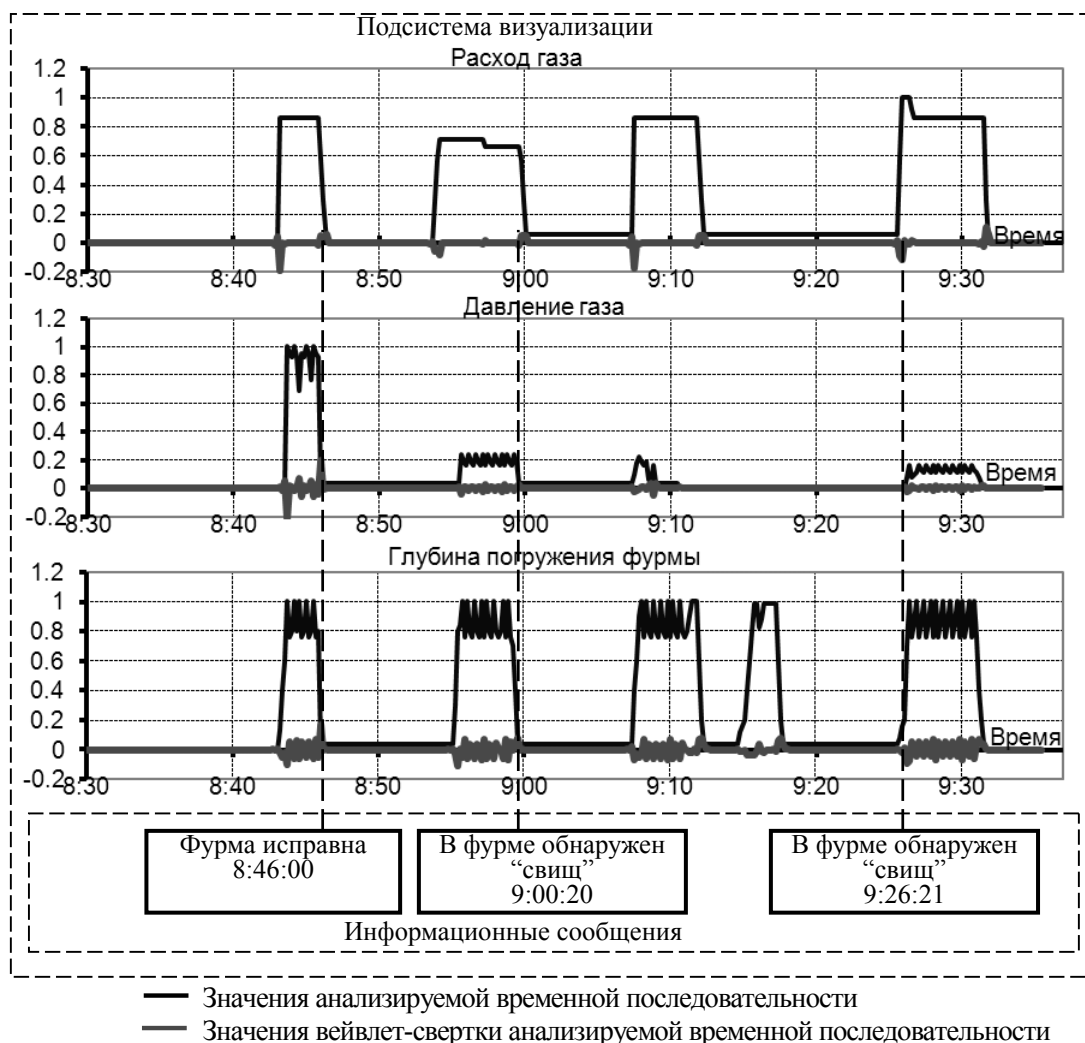


Рис. 2. Реализации фактических значений контролируемых величин процесса выплавки стали с возможным дефектом фурмы

3) для дефекта типа “заметалливание” характерна следующая ситуация:

$$\Delta_Q(l) < \Delta_Q; \Delta_p(l) \approx \Delta_p; \Delta_h(l) \approx \Delta_h;$$

– представление информации о результате диагностирования технологическому персоналу по ходу текущей внепечной обработки стали.

Для апробации разработанного алгоритма использовались натурные данные ОАО “Новокузнецкий металлургический комбинат”. Результаты диагностирования продувочного устройства представлены на рисунке 2. Так, например, в ситуации, когда наблюдается рост значений вейвлет-свертки анализируемых сигналов о расходе газа и положении фурмы, а значения вейвлет-свертки сигнала о давлении газа изменяются незначительно и не превышают установленный диапазон, можно говорить об образовании в продувочной фурме свища.

### Заключение

Разработанная подсистема технической диагностики содержит два диагностирующих канала, один из которых работоспособен только для одного варианта обработки стали, а другой диагностирующий канал, осуществляющий структурный анализ измерительных сигналов с целью обнаружения дефектов, работоспособен для любого варианта внепечной обработки стали. Такая структура диагностирующего модуля обеспечивает гибкость системы управления и повышает надежность системы в целом.

### Литература

1. Коган А.Е. Внепечные и ковшевые процессы : учебное пособие / А.Е. Коган. – Новокузнецк : Изд-во Сибирского металлургического ин-та, 1990. – С. 99.
2. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике / В.П. Дьяконов. – М. : Солон-Р, 2002. – 448 с.: ил.
3. Кошелев А.Е. Построение вейвлет-спектрограммы с использованием параллельных вычислений / А.Е. Кошелев, Л.И. Криволапова, О.А. Кравцова // Технологическое образование в XXI веке : матер. 3-й Междунар. научно-практич. конф. В 4-х т. Т.2. – Новокузнецк : Изд-во КузГПА, 2006. – С. 74–78.

---

#### Кошелев Александр Евдокимович

Доктор техн. наук, профессор, декан технологического факультета  
ГОУ ВПО “Кузбасская государственная педагогическая академия” (КузГПА)  
Тел. (3843) 74-72-71  
Эл. почта: Koshelev@Kuzspa.ru

#### Криволапова Людмила Ивановна

Канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем  
ГОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет” (СибГИУ).  
Тел.: (3843) 74-88-06

#### Кравцова Ольга Александровна

Аспирант кафедры автоматизации производственных процессов  
ГОУ ВПО “Кузбасская государственная педагогическая академия” (КузГПА),  
преподаватель ГОУ СПО “Кузнецкий металлургический техникум” (КМТ)  
Эл. почта: Kravtsov@kuz.ru

A.E. Koshelev, L. I. Krivolapova, O. A. Kravtsova

#### The analysis of the measuring signals with complement ASU by the use of the steel's methods of treatment

In the present article some preconditions to the modernization of the systems for the diagnostic the equipment by the use of the all-round steel's methods of treatment are stated. The structure the modern technical diagnostic's systems is proposed. The base is the block for the analysis of the measuring signals.

**Keywords:** the technical diagnostic, the analysis of the measuring signals, wavelet-analyses, the installation of the blowing of the steel by means of the inert gases.