

УДК 681.518:669

**И.В. Дегтяренко, Н.Д. Шилинговский**  
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра автоматики и телекоммуникаций  
E-mail: [ilya.degtyarenko@ukr.net](mailto:ilya.degtyarenko@ukr.net)

## **СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУВКОЙ МЕТАЛЛА В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ НА УСТАНОВКЕ КОВШ-ПЕЧЬ**

### **Аннотация**

*Дегтяренко И.В., Шилинговский Н.Д. Ситуационное управление продувкой металла в рамках технологического процесса внепечной обработки стали на установке ковш-печь. Описана концепция ситуационного управления процессом продувки металла на установке ковш-печь. Разработана структурная схема и алгоритм работы автоматизированной системы управления процессом продувки. В системе используется косвенный контроль технологических параметров плавки на основе анализа виброакустической активности сталеразливочного ковша.*

**Ключевые слова:** установка ковш-печь, ситуационное управление, автоматизированная система, алгоритм, виброакустический контроль

### **Общая постановка проблемы.**

Внепечная обработка стали позволяет существенно улучшить качество выплавляемого металла и повысить производительность сталеплавильного производства. При обработке расплава на установке ковш-печь (УКП) важной составляющей технологического процесса является продувка инертным газом (аргоном) [1]. Она обеспечивает перемешивание металла и усреднение его температуры и состава. Интенсивность перемешивания является важным технологическим параметром плавки, оказывающим существенное влияние на характеристики получаемого металла. Для каждого технологического этапа внепечной обработки стали существует свое оптимальное значение интенсивности перемешивания, а значит и расхода газа. Всплывающие пузырьки газа способствуют удалению неметаллических включений, серы и других примесей. Как недостаточный, так и чрезмерный расход газа приводит к снижению качества металла. При недостаточной интенсивности перемешивания может быть не обеспечено усвоение присадок и требуемая отчистка от примесей, а при превышении некоторой интенсивности частицы шлака затягиваются в глубину ковша и тем самым ухудшают качество конечного продукта. К тому же повышенный расход продувочного газа приводит к неоправданному увеличению себестоимости конечного продукта.

Процесс управления интенсивностью перемешивания металла на УКП автоматизирован в недостаточной степени. Наличие или отсутствие продувки контролируется визуально оператором установки, а расход газа устанавливается фиксированным для каждого этапа технологического процесса. Оператор УКП регулирует интенсивность продувки основываясь на показаниях датчика расхода газа и размере продувочного пятна на поверхности металла [2]. Реальная же интенсивность перемешивания расплава в объеме ковша не контролируется. При таком подходе не учитывается состояние газопровода и продувочных пробок (которое может существенно меняться за время одного цикла обработки), не обеспечивается оптимальная интенсивность перемешивания, требуемая в каждый конкретный момент времени. Также снижается скорость реакции на возникновение нештатных и аварийных ситуаций при отказе оборудования. Увеличивается риск возникновения ошибок оператора. Все это

может приводить к ухудшению качества получаемого продукта и увеличению его себестоимости.

Для построения автоматизированной системы управления процессом продувки металла на установке печь-ковш наиболее целесообразно использовать принципы ситуационного управления [3]. Это обусловлено тем, что в процессе внепечной обработки стали может возникнуть целый ряд неопределенностей, которые устраняются только с использованием дополнительной зачастую трудно формализуемой информацией. В частности, это связано с тем, что нет возможности непосредственного контроля целого ряда технологических параметров, таких как интенсивность перемешивания, состояние продувочных устройств и т.д.

**Целью данной работы** повышение качества внепечной обработки стали на УКП и снижение ее себестоимости за счет применения автоматизированной системы управления процессом продувки реализующей ситуационное управление с использованием методов косвенной оценки параметров плавки.

Для достижения цели необходимо решение следующих основных задач:

- выбрать способ косвенного контроля интенсивности перемешивания металла и технического состояния продувочных устройств;
- синтезировать структуру автоматизированной системы управления продувкой базирующуюся на принципах ситуационного управления;
- разработать алгоритм работы автоматизированной системы управления продувкой.

#### **Решение задач и результаты исследований.**

Теоретические и практические исследования показали, что косвенно оценить интенсивность перемешивания металла и состояние продувочных устройств на УКП можно по данным виброакустической активности [4]. Спектральный анализ вибрационной активности кожуха сталеразливочного ковша позволяет установить текущие параметры продувки (пузырьковый или струйный режим, интенсивность формирования пузырьков газа или мощность струи) [4]. Для получения информации о виброакустической активности сталеразливочного ковша в систему вводится два синхронных измерительных канала. Каждый из каналов фиксирует вибрацию в районе одного из продувочных устройств. Таким образом, появляется возможность не только оценивать интенсивность перемешивания металла, но и оценивать состояние каждого из продувочных устройств. Современные лазерные виброметры осуществляют съем информационного сигнала без непосредственного контакта датчика с поверхностью ковша, что устраняет влияние высоких температур на оборудование, облегчает и ускоряет их монтаж. Кроме того, в состав таких датчиков, как правило, входит АЦП, что позволяет передавать информацию в систему управления с помощью помехозащищенных цифровых интерфейсов.

Однако, как показали практические исследования [5], регистрируемый виброакустический сигнал сильно зависит от индивидуальных характеристик сталеплавильного ковша и плавки. Непостоянным также является реакция объекта управления на входное воздействие (расхода продувочного газа) из-за изменения параметров продувочных устройств (пробок) и газопровода. Таким образом, при построении системы автоматизированного управления процессом продувки на УКП необходимо учесть множество внешних, априори не известных факторов. Как было отмечено выше, решить данную проблему можно с использованием принципов ситуационного управления, как основы для построения самообучающейся системы.

Ситуационное управление позволяет создать гибкую систему управления, настройка параметров которой, в частности, может производиться в процессе наблюдения за действиями оператора [3]. Таким образом, упрощается процесс ее установки и наладки. Благодаря дополнительным информационным каналам не требуется производить исследования на каждом новом сталеразливочном ковше или плавке. Т.е. такая система может корректировать свои параметры в процессе работы, отслеживая изменения, происходящие с объектом.

Работу системы ситуационного управления можно разделить на несколько этапов. На начальном этапе производится обучение системы. Проводятся экспериментальные исследования вибросигналов зарегистрированных на сталеразливочном ковше с целью выделения наиболее информативных частотных диапазонов и удаления помех. Также при этом записываются состояния объекта управления (данные от датчиков SCADA-системы) и действия оператора. Таким образом, формируется список ситуаций, которые могут сложиться на объекте управления и варианты возможных воздействий. Также в системе формируется закон для прогнозирования реакции системы на то или иное воздействие. Обучение системы производится до тех пор, пока накопленной информации не будет достаточно для корректного формирования воздействия на объект, т.е. ошибки .

После обучения система выводится в рабочий режим. Осуществляется автоматическое управление процессом продувки на основе информации, полученной при обучении. При необходимости производится корректировка и дообучение (в случае обнаружение неточностей в работе системы и при значительных изменениях характеристик оборудования).

На рисунке 1 представлена структурная схема автоматизированной системы управления продувкой на УКП с интегрированной подсистемой ситуационного управления. Фактически система реализуется путем добавления промышленного компьютера с соответствующим программным обеспечением и двух измерительных каналов вибрации в существующую SCADA УКП. В соответствии с классическими принципами ситуационного управления [3] в системе выделяются следующие функциональные модули: анализатор, классификатор, коррелятор и экстраполятор. Ниже описан алгоритм работы данной системы (см. рис. 2) с пояснением функций каждого из модулей.

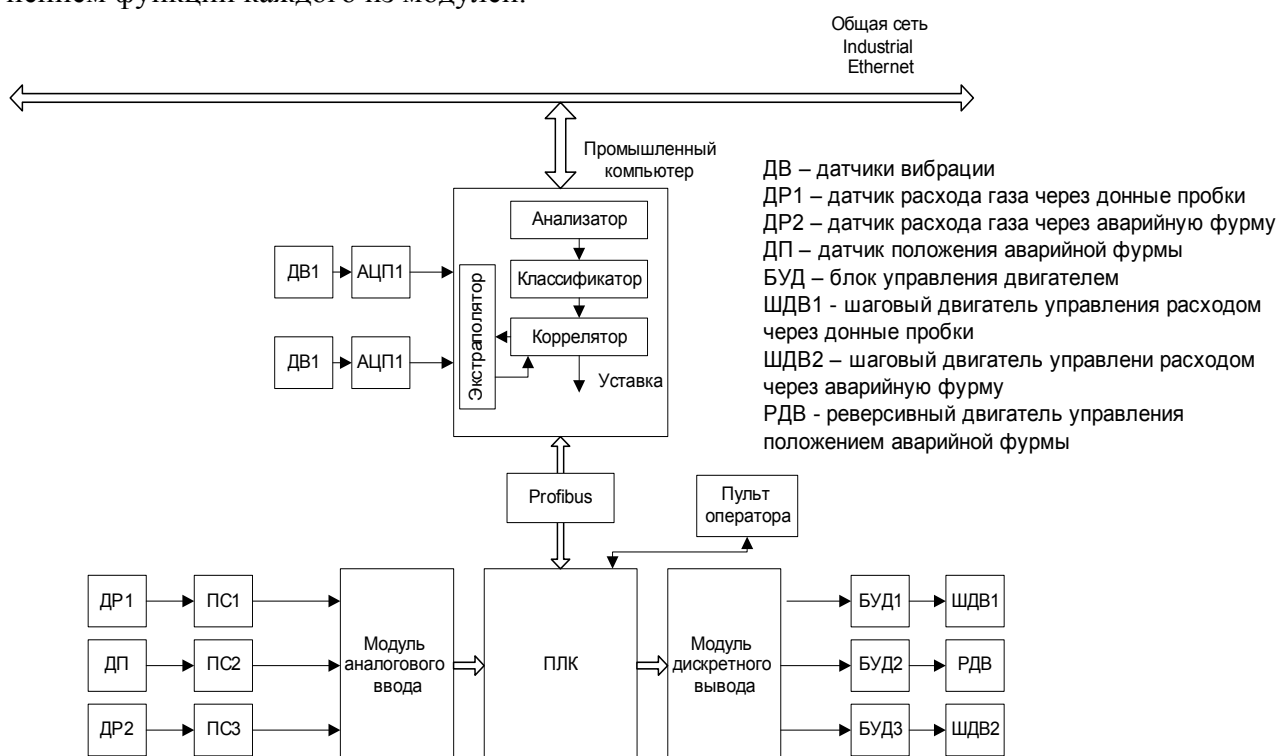


Рисунок 1 - Структурная схема автоматизированной системы управления продувкой на УКП

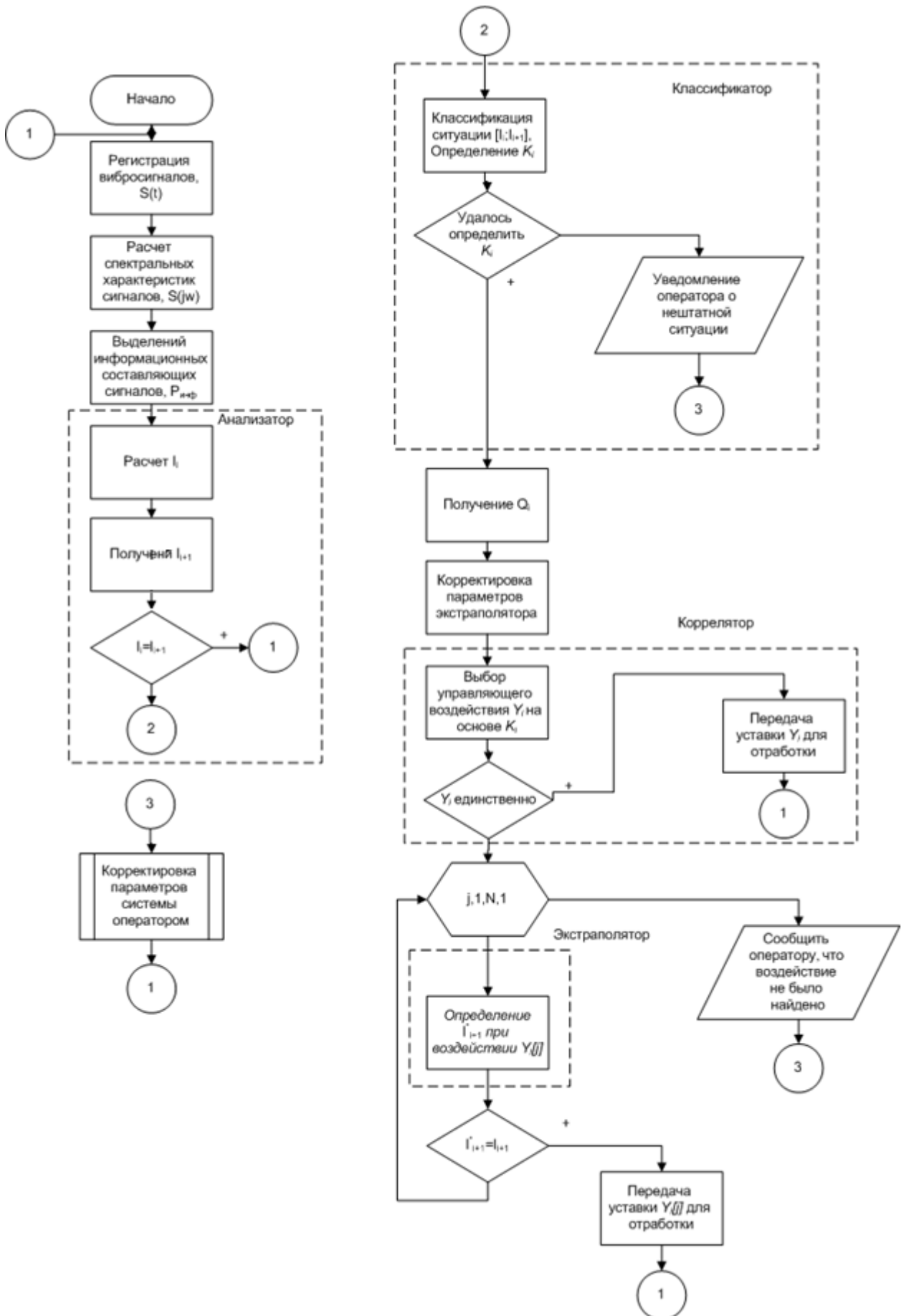


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма работы системы ситуационного управления процессом проудвки на УКП

На первом этапе работы система получает сигналы от двух вибродатчиков

$\mathcal{S}(t) = \begin{Bmatrix} \mathcal{S}_1(t) \\ \mathcal{S}_2(t) \end{Bmatrix}$ , расположенных у продувочных устройств. Далее производится выделение

информативных участков спектров этих сигналов с использованием линейки полосовых фильтров (ПФ):

$$\bar{\mathcal{S}}_{\text{инф}}(t, 1:N) = \begin{cases} \text{ПФ}_1(\bar{\mathcal{S}}(t)); \\ \dots \\ \text{ПФ}_N(\bar{\mathcal{S}}(t)). \end{cases}$$

Информативные области определяются на этапе обучения и наладки системы. Для оценки текущей интенсивности перемешивания производится расчет средней мощности сигнала в выделенных участках спектра:

$$\bar{P}_{\text{инф}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{T} \int_0^T \bar{\mathcal{S}}_{\text{инф}}^2(t, j) dt \right)$$

где  $N$  — количество информативных участков спектров;  $T$  — длительность сигнала

$\bar{\mathcal{S}}_{\text{инф}}$ .

Разница между элементами данного вектора может свидетельствовать о не симметричной работе продувочных устройств. Полученный вектор  $\bar{P}_{\text{инф}}$  передается в анализатор, который производит расчет текущей интенсивности перемешивания:

$$I_t = f(\bar{P}_{\text{инф}}).$$

Функция  $f(\bar{P}_{\text{инф}})$  зависит от характеристик конкретного технологического оборудования и определяется в процессе настройки и обучения системы. В частности, для описания  $f(\bar{P}_{\text{инф}})$  может быть использована полиномиальная функция с коэффициентами  $a_j$ , определяемыми с использованием методов параметрической идентификации:

$$I_t = \sum_j^L \bar{a}_j \cdot \bar{P}_{\text{инф}}^j.$$

Анализатор также получает от SCADA системы ряд контролируемых и задаваемых оператором технологических параметров. В частности, интенсивность перемешивания, которую необходимо получить на следующем шаге  $I_{t+1}$ .

Сравнивая значения  $I_t$  и  $I_{t+1}$  анализатор решает необходимо ли производить воздействие на объект управления и, если необходимо, передает данные классификатору.

Классификатор определяет, к какому классу относится ситуация, сложившаяся на объекте управления.

Классы ситуаций формируются в процессе обучения, но в общем случае можно выделить следующие типы ситуаций  $K_i$ :

- отклонение интенсивности перемешивания от желаемого (необходима корректировка расхода газа);
- перевод УПК в другой режим работы (необходимо установить новый режим продувки);

- отсутствие или сильное снижение интенсивности перемешивания — интенсивность перемешивания значительно не соответствует расходу газа (необходимо подорвать продувочные пробки в режиме байпас);
- невозможно подорвать пробки в режиме байпас (в зависимости от типа установки необходимо осуществлять продувку аварийной фурмой или уведомить оператора о возникновении аварийной ситуации).

Если для текущего класса  $K$  управляющее воздействие  $Y$  единственное, то оно выдается для отработки.

Если же существует семейство возможных управляющих воздействий, данные, полученные на предыдущих этапах, передаются экстраполятору.

Перед началом поиска управляющего воздействия в экстраполяторе производится корректировка его параметров. Экстраполятор должен иметь возможность прогнозировать результат отработки объектом управления некоторого множества воздействий  $Y(1:K)$ . Для этого экстраполятор рассчитывает предполагаемые интенсивности перемешивания  $I^*(1:K)$  при отработке возможных управляющих воздействий

$$I_k^* = g(Y_k).$$

Характер и параметры данной зависимости определяется в процессе обучения системы. При этом параметры зависимости могут изменяться в процессе работы (в результате зарастания продувочных пробок, изменения параметров оборудования).

Для компенсации этих изменений система получает от датчиков текущее состояние объекта управления  $\bar{Q}_i$  и с учетом  $I_i$  производит перерасчет коэффициентов зависимости  $g(Y_k)$ , которая может иметь полиномиальный вид или формироваться с использованием нейросетей.

После корректировки параметров экстраполятор выбирает такое воздействие из множества возможных, при котором предполагаемая реакция системы будет наиболее близка к желаемой. Полученное управляющее воздействие выдается для отработки.

Описанный алгоритм ситуационного управления процессом продувки металла на У КП является универсальным, и из-за этого довольно избыточным.

Он может быть существенно упрощен после исследований его функционирования на конкретном объекте.

В целом использование виброакустического контроля и концепции ситуационного управления позволяет в полной степени разрешить неопределенности, возникающие при управлении процессом продувки металла на У КП.

#### **Выводы.**

1. Использована концепция ситуационного управления при автоматизации процесса внепечной обработки стали на У КП, что позволяет построить полнофункциональную самообучающуюся систему.

2. Разработана структурная схема автоматизированной системы управления продувкой на У КП с интегрированной подсистемой ситуационного управления. Выделены и описаны функции всех элементов подсистемы ситуационного управления. Данная система является легко интегрируемой в существующие SCADA внепечной обработки стали.

3. Предложенная система способна принимать более обоснованные решения по управлению технологическим процессом благодаря использованию метода виброакустического контроля для косвенной оценки интенсивности перемешивания металла в ковше и технического состояние продувочных устройств.

4. Разработан алгоритм работы автоматизированной системы управления продувкой на У КП, который в терминах ситуационного управления описывает порядок работы программного обеспечения автоматизированной системы.

### Литература

1. Дюдкин Д. А., Бать С. Ю., Гринберг С. Е., Маринцес С. Н. Производство стали на агрегате ковш-печь. — Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2003. — 300 с.
2. Выплавка полупродукта в основных мартеневских печах и внепечная обработка на установке «печь-ковш». Технологическая инструкция ВТИ 234-Ст.М-15-2005.
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. — М.: Наука. 1986. — 288 с.
4. Дегтяренко И. В., Костецкий Ю. В., Омельченко А. А. Алгоритм виброакустического контроля технологических параметров плавки на установке «Ковш-печь» // Наукові праці ДонНТУ. Серія - Обчислювальна техніка та автоматизація. — Донецьк: ДонНТУ. - 2005. - Вип. 90. - С. 15–19.
5. Костецкий Ю.В., Дегтяренко И. В., Омельченко О.А., Ходячих В.С., Деглін Б.М., Мелкоян А.А. Аппаратно -программный комплекс виброакустического мониторинга технологического процесса внепечной обработки стали на установке «ковш-печь» // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. —Донецк,- №3. -2005. С. 4-10.

### Abstract

**Degtyarenko I., Shilingovsky M. Situational control of blowing the metal in the ladle treatment process for steel ladle furnace.** The concept of situational control of blowing on the ladle furnace is described. A structure and the algorithm of the automated process control system is developed. Indirect control of melting technological parameters on the basis of vibroacoustic activity analysis is used in the system.

**Keywords:** ladle furnace, situational control, automated control system, algorithm, vibroacoustic control

### Анотація

**Дегтяренко І.В., Шилинговский М.Д. Ситуаційне управління продувкою металу в рамках технологічного процесу позапічної обробки сталі на агрегаті ковш-піч.** Описана концепція ситуаційного управління процесом продувки металу на агрегаті ковш-піч. Розроблені структурна схема і алгоритм роботи автоматизованої системи управління процесом продувки. В системі використовується непрямий контроль технологічних параметрів плавки на основі аналізу віброакустичної активності сталерозливного ковша.

**Ключеві слова:** агрегат ковш-піч, ситуаційне управління, автоматизована система, алгоритм, віброакустичний контроль

Здано в редакцію:  
15.04.2010р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н, проф. Воронцов О. Г.