

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ КОВША

Ю. В. Костецкий, И. В. Квасов, И. В. Дегтяренко (ДонНТУ, г. Донецк),  
Д. П. Кукуй (НПО «ДОНИКС», г. Донецк)

*Работа посвящена проблеме непрерывного мониторинга процесса внепечной обработки стали на основе анализа вибрационных характеристик ковша. В статье приведены методика и результаты лабораторных и промышленных испытаний данного варианта мониторинга. Основные выводы: энергия вибросигнала данной полосы частот зависит от величины расхода газа, а также от режима продувки (пузырьковый, струйный). Экспериментальный вариант данной системы опробован на реальном объекте.*

Одним из ключевых элементов технологии обработки стали на установках «ковш-печь», является продувка металла инертным газом. Вдувание газа в объем металла, как правило, осуществляют через продувочные пробки, установленные в днище сталеразливочного ковша. От эффективности этого процесса в значительной степени зависят многие показатели технологии. Для контроля и поддержания нужного расхода газа обычно используют приборы, измеряющие давление в аргонопроводе, обратное давление и расход. При этом по разным причинам расход газа в аргонопроводе и в самом объеме металла в ковше могут не всегда совпадать по величине (износ продувочных устройств, утечки в аргонопроводе и т.д.). Кроме того, вследствие неожиданного выхода из строя продувочных устройств могут возникнуть нештатные ситуации, ведущие к нарушению нормального хода технологического процесса.

Как свидетельствуют современные публикации [1, 2], одним из наиболее перспективных подходов к косвенной оценке технологических параметров механического и металлургического оборудования является анализ виброакустической активности его элементов.

В данной работе представлены результаты исследований по созданию алгоритма косвенного контроля процессов внепечной обработки металла по виброакустическим характеристикам кожуха ковша.

Основной характеристикой используемой в вибродиагностике для определения уровня сигнала является его среднеквадратическое значение

(СКЗ), поэтому главную задачу обработки и анализа вибросигналов можно сформулировать как отслеживание изменения СКЗ различных частотных диапазонов в ходе процесса плавки [3].

С целью оценки уровня корреляции между энергией вибросигналов и условиями продувки (расход газа, количество продувочных устройств, высота столба жидкости, поверхностное натяжение жидкости) на кафедре «Электрометаллургии» ДонНТУ была проведена серия лабораторных экспериментов на холодной модели. В качестве моделирующей жидкости использовалась вода, а для продувки – газ  $\text{CO}_2$ . На рисунке 1 изображена лабораторная установка холодного моделирования.



Рисунок 1 – Лабораторная установка «холодного» моделирования процесса продувки металла инертным газом

Опыты проводили по следующей методике. Стеклообразную колбу за-полняли определенным количеством воды (1000 мл, 2000 мл или 2400 мл). Интенсивность вибрации фиксировали с помощью двух вибродатчиков, установленных у основания колбы. Сигнал от вибродатчиков через усилители передавался на вход звуковой карты компьютера. В ходе опытов расход газа ступенчато изменяли в интервале 10–100 л/мин. Для изменения поверхностного натяжения моделирующей жидкости к 2000 мл воды добавляли 400 мл этилового спирта. Продувку вели через одну и через две односопловые донные фурмы с диаметром выходного отверстия 1 мм.

Предварительные лабораторные исследования показали, что наиболее информативной частью спектра является диапазон частот приблизительно от 0 до 200 Гц. Однако необходимо было уточнить рабочий частотный диапазон. Поэтому в процессе обработки результатов экспериментов определяли зависимости между средним значением уровня СКЗ вибросиг-

нала и расходом газа для 4-х частотных диапазонов: 0 – 40 Гц, 40 – 80 Гц, 80 – 120 Гц, 120 – 160 Гц и 160 – 200 Гц (рисунок 2).

В диапазоне 0–40 Гц наблюдается максимальная корреляция между средним значением СКЗ вибросигнала и расходом газа. Для остальных частотных диапазонов определенная корреляция наблюдается при расходах газа, превышающих 50 л/мин. Таким образом, частотный диапазон 0–40 Гц был определен как наиболее информативный для данных условий, и в дальнейших опытах анализировали данные, полученные для этого диапазона.

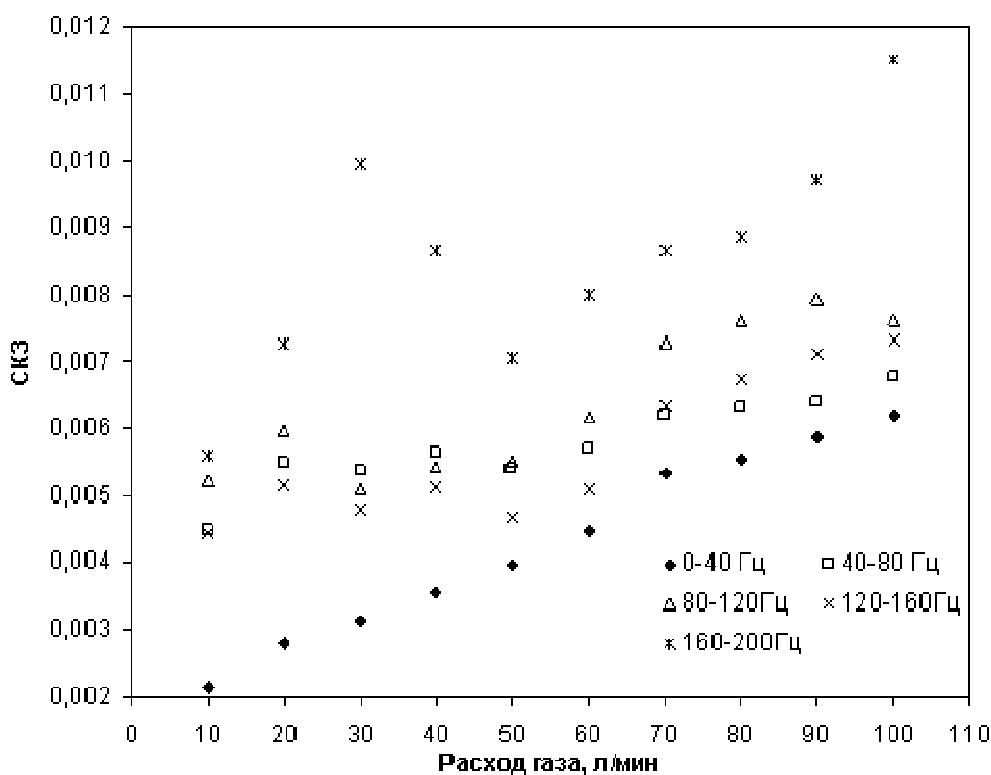


Рисунок 2 – Зависимость среднего значения СКЗ вибросигнала от величины расхода газа в различных частотных диапазонах. Количество воды в колбе – 1000 мл, задействована 1 фурма

В дальнейших опытах было установлено, что характер зависимости СКЗ вибросигнала в выбранном частотном диапазоне не зависят от количества используемых продувочных устройств, а наблюдаемый уровень СКЗ зависит от расхода газа через одну фурму.

Увеличение количества рабочей жидкости в сосуде приводит к возрастанию наблюдаемого уровня СКЗ вибросигнала. Снижение величины поверхностного натяжения модельной жидкости сопровождается снижением наблюдаемого уровня СКЗ. Так, например, при расходе газа 10 л/мин уменьшение поверхностного натяжения жидкости (за счет присадки спир-

та) на 33 % приводит к уменьшению уровня СКЗ вибросигнала в среднем на 20 %. Однако с увеличением расхода газа эта разница уменьшается и при расходе 40 л/мин составляет примерно 13 % (рисунок 3).

В результате обработки данных лабораторных опытов установлено, что зависимость между функцией СКЗ фиксируемого вибросигнала и расходом газа при продувке носит степенной характер.

$$V_{СКЗ} = k \cdot Q^{0,285} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, прямо пропорционально зависящий от высоты столба жидкости;  $Q$  – расход газа, л/мин.

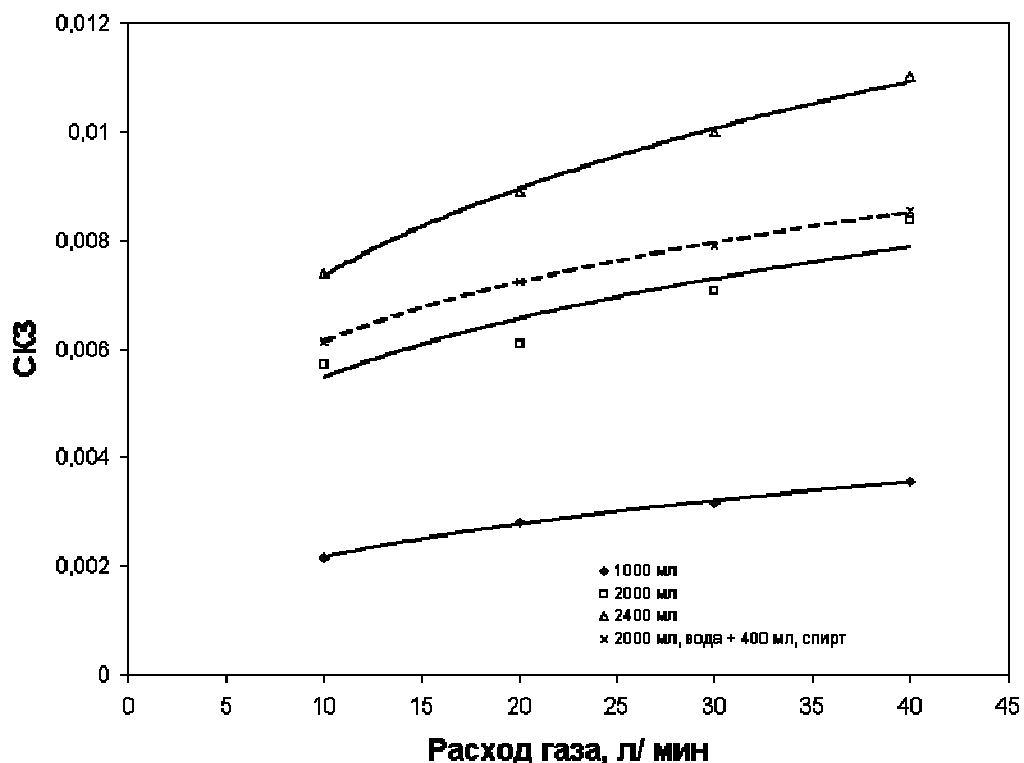


Рисунок 3 – Аппроксимирующие кривые для экспериментальных зависимостей СКЗ от расхода газа при различных условиях продувки

Изменение поверхностного натяжения приводят к существенным изменениям СКЗ вибросигнала, что позволяет судить о том, что данный метод мониторинга внепечной обработки можно использовать при раскислении и десульфурации металла.

Сотрудниками НПО «Доникс» и Донецкого национального технического университета совместно с ООО «Звукоулавливающая аппаратура» был разработан экспериментальный образец системы виброакустического мониторинга технологического процесса внепечной обработки стали на

установке «ковш-печь».

Алгоритм виброакустического контроля технологических параметров установки «ковш-печь».

Обобщенный алгоритм функционирования системы заключается в следующем. С помощью датчиков вибрации, входящих в состав измерительных каналов, регистрируется информация о виброактивности кожуха сталеразливочного ковша в ходе внепечной обработки стали. Датчики вибрации устанавливаются с помощью специальных креплений на кожухе сталеразливочного ковша. С помощью измерительных каналов сигналы вибрации передаются от датчиков к ЭВМ. Далее через оцифровывающую карту сигналы вибрации поступают в ЭВМ для хранения и анализа с помощью специализированного программного обеспечения. Программное обеспечение выполняет следующие функции:

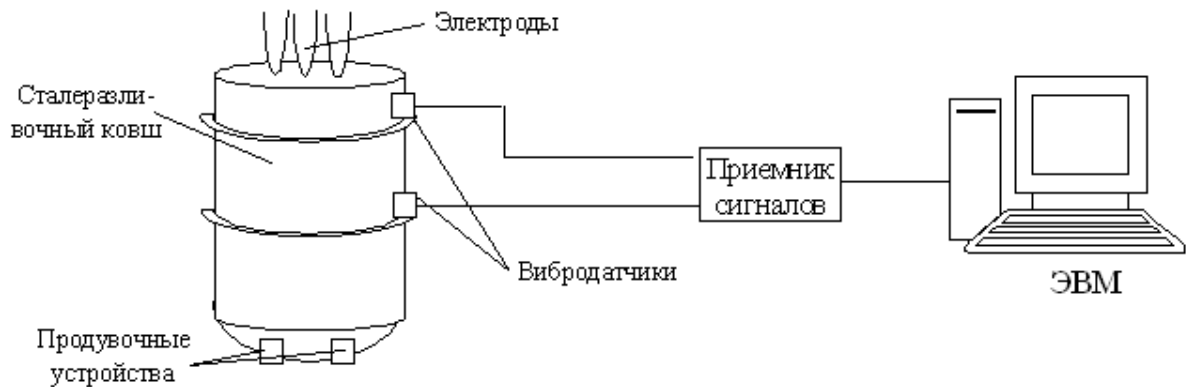


Рисунок 4 – Схема регистрации данных о виброактивности ковша в ходе экспериментальных исследований

- обработку и анализ сигналов вибрации с целью получения информации о параметрах работы продувочных устройств;
- визуализацию информации о работе электрических дуг и продувочных устройств;
- ведение архива сигналов вибрации.

Руководствуясь полученными сообщениями, а также показаниями других приборов и технологическим заданием оператор установки ковш-печь осуществляет управление процессом внепечной обработки стали.

В результате промышленных исследований на 150-тонной установке ковш-печь была установлена степень корреляции между СКЗ вибросигнала и расходом аргона при продувке [4].

Зависимость между уровнем СКЗ вибросигнала и величиной расхода аргона предположительно носит не прямопропорциональный характер, что было показано во время лабораторных опытов на холодной модели. Была

проведена статистическая обработка массива данных, полученных во время промышленных испытаний, в результате которой были исключены грубые ошибки измерений. Затем были найдены средние значения СКЗ виброускорения регистрируемого сигнала по всему диапазону значений для каждого уровня расхода газа (рисунок 5).

Уравнения зависимости СКЗ регистрируемого сигнала от расхода газа имеют следующий вид (величина достоверности аппроксимации 0,55):

$$V_{СКЗ} = 0,0012 \cdot Q^{0,3796} \quad (3)$$

На базе результатов лабораторных и промышленных исследований опробованной методики мониторинга была создана специализированная компьютерная система управления процессом продувки (далее СКСУПП) "Argo-N", предназначенная для автоматизированного управления расходом инертного газа в ходе внепечной обработки металла на установке ковш-печь. При этом управление процессом продувки осуществляется на основе анализа данных о виброактивности поверхности сталеразливочного ковша и данных, поступающих от автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ), обслуживающей УКП.

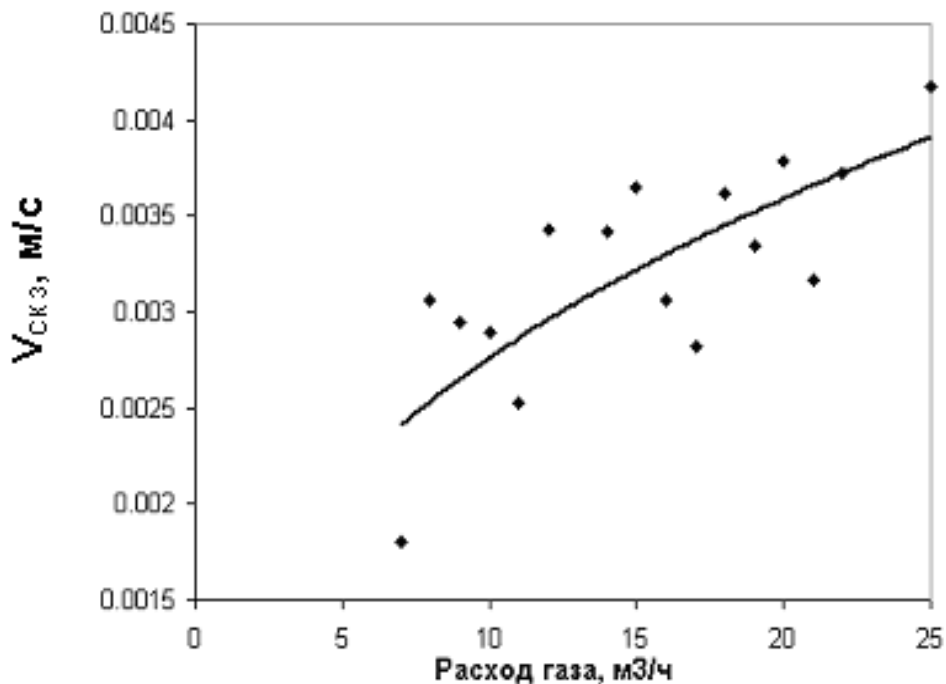


Рисунок 5 – Зависимость среднего значения СКЗ регистрируемого вибросигнала от величины расхода газа, полученная в результате обработки данных промышленных исследований на установке ковш-печь кислородно-конвертерного цеха Енакиевского металлургического завода

Целью предложенной системы мониторинга является повышение эффективности управления технологическим процессом внепечной обработки стали на установке «ковш–печь» за счет предоставления оператору установки дополнительных данных об интенсивности перемешивания металла в ковше и работе продувочных устройств. Учет этих данных позволит снизить затраты на электроэнергию, уменьшить расход огнеупорного материала, повысить качество выплавляемой стали, повысить срок службы продувочных устройств, проводить обслуживание продувочных устройств сталеразливочного ковша в соответствии с их реальным техническим состоянием и исключить внештатные ситуации на установке связанные с выходом из строя продувочных устройств.

Разработанная система не противоречит существующей концепции работы системы управления плавкой на УКП и позволяет оператору установки осуществлять управление расходом инертного газа, как в автоматическом, так и ручном режимах. Программное обеспечение СКСУПП "Argo-N" осуществляет сбор, хранение, обработку, анализ и визуализацию данных получаемых от каналов регистрации вибрации, а также данных, поступающих от АСДУ.

Программное обеспечение реализует четыре режима работы:

1. Режим индикатора (рисунок 6) – основной режим эксплуатации системы в промышленных условиях. В данном режиме на дисплей оператора установки ковш-печь выводятся конечные результаты контроля параметров работы продувочных устройств в режиме реального времени.

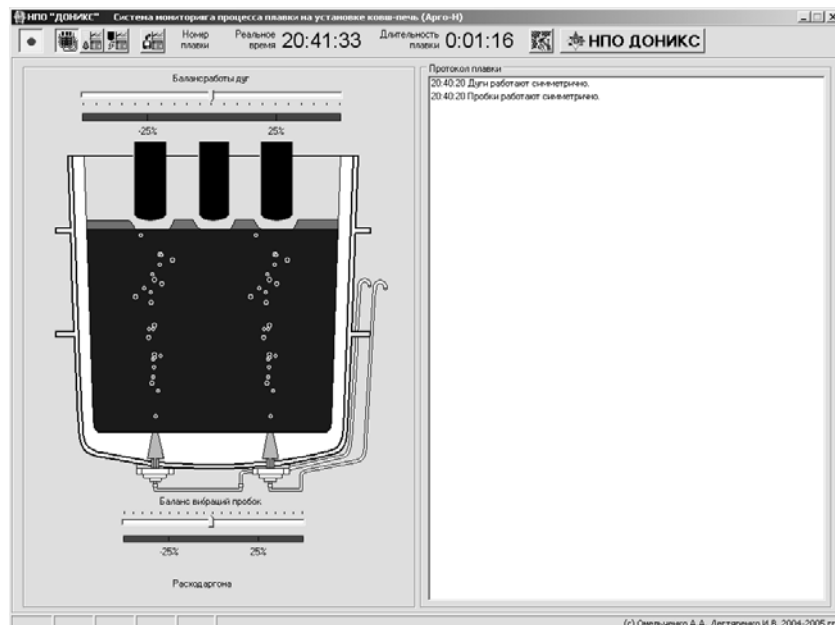


Рисунок 6 – Общий вид интерфейса программного обеспечения

2. Расширенный режим индикатора – используется для определения

значений настраиваемых параметров на этапе настройки системы, а также на этапе эксплуатации в случае необходимости детального анализа результатов определения параметров работы продувочных устройств за заданный промежуток времени (параметры выводятся в виде графиков).

В данном режиме на дисплей оператора установки ковш-печь выводятся конечные и промежуточные результаты контроля параметров работы продувочных устройств в режиме реального времени.

3. Режим постобработки – используется для определения значений настраиваемых параметров на этапе настройки системы. В данном режиме на дисплей оператора установки ковш-печь выводятся конечные и промежуточные результаты контроля параметров работы продувочных устройств из записанного ранее архива.

4. Режим настройки – предназначен для задания значений параметров при настройке системы (пороговые значения принятия решений, длительности регистрируемых сигналов вибрации, анализируемые частотные диапазоны, частота обновления информации на дисплее, параметры ОРС клиента, список тегов для событий, отслеживаемых системой и т.д.).

Реализованный в программном обеспечении комплекса ОРС-клиент позволяет интегрировать его в существующие на производстве АСУТП и обеспечивать синхронную работу системы с установкой «ковш-печь». Кроме того, ОРС-клиент позволяет системе получить доступ к технологическим параметрам, имеющимся в распоряжении АСУТП, и использовать их при выработке рекомендаций по управлению технологическим процессом внепечной обработки стали.

Таким образом, в результате обработки данных лабораторных и промышленных опытов были получены уравнения зависимости между СКЗ регистрируемого сигнала и расходом газа при продувке. Эти зависимости имеют степенной вид. Установлено так же, что СКЗ регистрируемого сигнала зависит от поверхностного натяжения рабочей жидкости, что теоретически позволяет использовать вышеизложенную методику мониторинга при таких операциях внепечной обработки металла как раскисление и десульфурация.

Экспериментальный образец системы виброакустического мониторинга был опробован на установке ковш-печь №1 конверторного цеха Енакиевского металлургического завода. Промышленные испытания системы показали ее работоспособность в условиях реального металлургического производства.



### **Литература**

1. Improved Ladle Stirring Using Vibration Technology at Stelco Hilton Works/ R.I.Minion, C.F.Leckie, K.J.Legeard, B.D.Richardson // Iron and Steelmaker. – Vol. 25. – No.7. – 1998. – P.25-31.
2. Process for Controlling the Stirring Energy Delivered by Gas Flowing Through a Liquid /F.L.Kemeny, D.I.Walker, J.A.Jones // U.S. Patent No. 6264716, Jul. 24, 2001.
3. Алгоритм вібраційного контролю технологічних параметрів плавки на установці ковш-печь / Костецкий Ю.В., Дегтяренко І.В., Омельченко А.А. //Наукові праці Донецького національного технічного університету: Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Випуск 90. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 15-19.
4. Мониторинг работы продувочных устройств на установке ковш-печь на основе анализа данных о виброактивности ковша / Костецкий Ю.В., Троянский А.А., Кукуй Д.П., Дегтяренко В.И. и др. // Металл и литье Украины. – № 3-4. – 2005. – С. 106-107.
5. Минаев Ю. А., Яковлев В. В. Физико-химия в металлургии (Термодинамика. Гидродинамика. Кинематика): Учебное пособие для вузов.– М.: МИСИС, 2001 – 320 с.

**© Костецкий Ю. В., Квасов И. В.,  
Дегтяренко И. В., Кукуй Д. П. 2007**