

## Федеральное агентство по образованию

УДК 620.179.1.05  
ГРНТИ 59.45.00  
Инв. № 2009-30К

<b>ПРИНЯТО:</b>	<b>УТВЕРЖДЕНО:</b>
Приемочная комиссия Государственного заказчика:	Государственный заказчик Федеральное агентство по образованию
От имени Приемочной комиссии _____/Малахов А.А./	От имени Государственного заказчика _____/Бутко Е.Я./

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 1 этапа Государственного контракта  
№ П2136 от 05 ноября 2009 г.

Исполнитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"	
Программа (мероприятие): Федеральная целевая программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.3.2 Проведение научных исследований целевыми аспирантами.	
Проект: Многофункциональное приборостроение для промышленных систем управления. Наименование проблемы исследования: Разработка прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах.	
Руководитель организации:	Колокольцев Валерий Михайлович М.П.
Руководитель проекта:	Мещеряков Александр Юрьевич

Согласовано:
Управление научных исследований и инновационных программ От имени Заказчика _____/Кошкин В.И./

Магнитогорск  
2009 г.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

по Государственному контракту № П2136 от 05 ноября 2009 г. на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд

Организация-Исполнитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"

Руководитель темы:

без ученой степени, без  
ученого звания \_\_\_\_\_ Мещеряков А. Ю.  
подпись, дата

Исполнители темы:

доктор технических наук,  
профессор \_\_\_\_\_ Лукьянов С. И.  
подпись, дата

кандидат технических  
наук, доцент \_\_\_\_\_ Швидченко Д. В.  
подпись, дата

кандидат технических  
наук, доцент \_\_\_\_\_ Суспицын Е. С.  
подпись, дата

без ученой степени, без  
ученого звания \_\_\_\_\_ Швидченко Н. В.  
подпись, дата

без ученой степени, без  
ученого звания \_\_\_\_\_ Аносов Р. А.  
подпись, дата

без ученой степени, без  
ученого звания \_\_\_\_\_ Евстегнеев А. А.  
подпись, дата

без ученой степени, без  
ученого звания \_\_\_\_\_ Федоров А. С.  
подпись, дата

## Реферат

Отчет 41 с., 4 ч., 5 рис., 2 табл., 28 источн., 0 прил.

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ВИБРАЦИЯ, НЕОДНОРОДНАЯ СРЕДА, КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР, ПРОДУВКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 1 этапу Государственного контракта № П2136 "Наименование исследований: Многофункциональное приборостроение для промышленных систем управления.

Наименование проблемы исследования: Разработка прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах." (шифр "НК-394П") от 5 ноября 2009 по направлению "Многофункциональное приборостроение для промышленных систем управления" в рамках мероприятия 1.3.2 "Проведение научных исследований целевыми аспирантами.", мероприятия 1.3 "Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах", направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Цель работы — разработка прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, обеспечивающего раннюю идентификацию тенденций к возникновению аномальных ситуаций.

Для составления аналитического обзора использовались методы теоретических исследований. Для анализа вибрационного сигнала применялся метод спектрального анализа. Для сбора и анализа данных по вибрации кислородного конвертера применялась система на основе платформы National Instruments PXI в составе контроллера PXI-8104, платы АЦП PXI-4072, модуля согласования SCXI-1530. В качестве датчика первичной информации применен акселерометр Н1С производства НПХ "Техноап".

Проведен аналитический обзор существующих приборов для диагностирования аномалий технологических процессов в неоднородных средах, исследованы области их применения, что позволило определить основные направления и тенденции развития в данной области. Исследованы физико-химические предпосылки для диагностирования аномалий в технологическом процессе продувки кислородного конвертера. Разработана структура аппаратной и программной компонентов прибора, выбрана платформа для построения системы сбора данных. Приведены методики экспериментальных исследований. Составлен план дальнейших экспериментальных и теоретических исследований, который обеспечит систематизированный подход к решению поставленных задач и обеспечит чёткое представление о конечной цели исследований и путях её достижения.

## Содержание

Введение .....	5
1 Аналитический обзор .....	8
1.1 Обзор существующих подходов к диагностированию аномалий процессов в неоднородных средах .....	8
1.2 Обзор подходов к обработке диагностических массивов данных .....	11
1.3 Анализ физико-химических процессов при продувке расплава кислородом ...	13
1.4 Патентные исследования .....	14
2 Выбор обоснованного варианта направления исследований .....	18
2.1 Анализ технологических требований, предъявляемых к прибору для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, применительно к кислородно-конвертерному процессу .....	18
2.2 Выбор метода диагностирования .....	19
3 План проведения экспериментальных и теоретических исследований .....	24
4 Результаты экспериментальных и теоретических исследований .....	27
4.1 Разработка структуры прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах .....	27
4.2 Выбор аппаратной платформы .....	29
4.3 Выбор программной платформы .....	34
4.4 Сбор диагностических массивов данных .....	36
4.5 Предварительный анализ полученных данных .....	36
Заключение .....	39
Список использованных источников .....	40

## **Введение**

Во многих отраслях металлургической и химической промышленности технология производства включает в себя комплекс сложных, взаимосвязанных физических и химических процессов в неоднородных средах. Одной из важнейших задач управления этими процессами является выявление и предотвращение различных аномальных ситуаций, могущих привести к авариям, ухудшению качества продукции, уменьшению производительности. В случае сложных, неоднозначных технологических процессов с недостаточным аналитическим описанием значительную роль в управлении играет человек - оператор. В результате, управляющие воздействия часто носят субъективный характер, а от оператора требуется наличие большого опыта, что усложняет обучение новых кадров. В этих условиях важнейшее значение имеет аппаратура диагностирования хода технологических процессов.

Протекание технологических процессов в неоднородных средах сопровождается генерацией акустических, вибрационных или электромагнитных сигналов. Эти сигналы могут служить в качестве исходных данных для системы косвенной диагностики. Перспективным путем разработки алгоритмов диагностирования для таких систем является применение методов машинного обучения. Применение подобных методов позволяет автоматизировать процесс настройки параметров алгоритмов идентификации аномалий указанных процессов, упрощает адаптацию систем диагностики для новых технологических объектов. Методы машинного обучения требуют наличия исходного массива данных, в котором набору значений измеряемых параметров процесса в каждый момент времени сопоставлена классифицируемая ситуация. Часто об истинном состоянии процесса можно судить лишь со значительной временной задержкой, в результате чего управляющие воздействия вносятся с опозданием, что не позволяет предотвратить возникновение различных аномальных ситуаций. Эта задержка может быть учтена в ходе накопления обучающего массива данных, что позволяет не только своевременно диагностировать аномальные ситуации в технологических процессах, но также и выявлять тенденции к их возникновению.

Таким образом, задача разработки прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, основанного на методах машинного обучения, является актуальной. Такое устройство востребовано на всех предприятиях, технологический процесс которых проходит в неоднородных средах. Типичным примером является кислородно-конвертерный процесс получения стали. Конструкция конвертера и особенности протекания в нем высокотемпературных процессов крайне затрудняют, а зачастую делают невозможным использование методов прямого контроля параметров конвертерной плавки [1]. Неудовлетворительное проведение продувки кислородного конвертера является причиной снижения качества выпускаемой продукции, возникновения аварийных ситуаций и увеличению издержек производства. Главным направлением дальнейшего развития кислородно-конвертерного процесса является увеличение производительности кислородного конвертера и повышение качества выплавляемого металла. Решение этой задачи связано с эффективным ведением динамики процессов, протекающих в конвертерной ванне, с целью получения заданного состава, температуры готовой стали и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с выбросами расплава. Из-за высокой скорости протекания процесса продувки и большого объема текущей информации управление кислородно-конвертерным процессом вручную весьма затруднительно не только физически, но и психологически. Для эффективного динамического контроля и управления конвертерной плавкой наиболее рациональным является применение косвенных методов диагностирования. Актуальной задачей является раннее диагностирование тенденций, приводящих к выбросам расплава из кислородного конвертера в ходе продувки. Эта задача может быть решена при помощи разрабатываемого прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах. В качестве сигнала обратной связи для прибора наиболее перспективным представляется сигнал виброперемещения корпуса конвертера. Установка вибродатчиков не требует значительных финансовых затрат, измерительные элементы могут быть размещены в благоприятных условиях, что обеспечивает высокую надёжность.

Разработка прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах применительно к кислородно-конвертерному производству позволит снизить

простой, связанные с выбросами расплава из горловины, увеличить выход годной стали.

В работе планируется решить следующие задачи:

1) разработать методику построения моделей для раннего диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, ориентированных на применение в системах автоматизированного управления технологическим оборудованием;

2) исследовать косвенные признаки возникновения выбросов расплава из кислородного конвертера;

3) разработать структуру прибора диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, позволяющего достоверно прогнозировать выбросы расплава из кислородного конвертера;

4) апробировать и внедрить прибор диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах в технологических условиях кислородно-конвертерного агрегата.

## **1 Аналитический обзор**

### **1.1 Обзор существующих подходов к диагностированию аномалий процессов в неоднородных средах**

Косвенное диагностирование качественных характеристик технологических процессов – одно из важнейших направлений диагностики. Значительное ускорение прогресса в этой области связано с интенсивной компьютеризацией, широким использованием встроенных процессоров, персональных и мини-ЭВМ, разработкой большого ряда программ, алгоритмов тестового и функционального диагностирования. За последние десятилетия во всем мире было разработано множество специализированных приборов для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах. Наиболее актуально применение подобных приборов в металлургии, так как протекающие в расплавах реакции характеризуются высокой скоростью, а нарушения в ходе технологического процесса часто приводят к аварийным ситуациям [2].

Обзор литературных источников показал, что диагностирование возникновения аномалий технологических процессов в промышленных установках выполняется на основе анализа параметров изменения одного или нескольких сигналов косвенных измерений [3-11].

Компанией «Инженерно-технологический центр» разработан прибор для диагностирования нарушений в процессе электролиза алюминия. Измеряются технологические параметры, производится их усреднение, вычисляется для них номинальный интервал значений. Рассчитывается численная оценка тяжести технологического нарушения электролизера. Выбираются суточные значения технологических параметров, перед усреднением проверяется их достоверность, затем производится нормирование. Рассчитывается численное значение степени тяжести технологических расстройств посредством нечеткой логики [3].

В опытно-промышленном конструкторском бюро НПО "Черметавтоматика" разработана аппаратура АКШ-7603 для непрерывного контроля процессов наведения, вспенивания и сворачивания шлака на основе использования акустического и вибрационного сигналов. Аппаратура АШ-7603 эксплуатируется на конвертерах Ка-



рагандинского (КарМК), Западно-Сибирского (ЗСМК) и Череповецкого (ЧерМК) металлургических комбинатов [4].

На заводе канадской фирмы "Stelco'e Hilton Works" разработана система автоматического контроля выбросов шлакометаллической эмульсии. Входными параметрами системы, помимо интенсивности шума, являются расход и скорость изменения расхода отходящих газов. Сигналы, пропорциональные фактическим значениям этих параметров, поступают в микропроцессор типа "Honeywell TDC-2000". Если фактические значения превышают заданные, т.е. возникает опасность выброса металла из конвертера, микропроцессор выдает управляющие сигналы на изменение положения фурмы и расхода инертного газа, подаваемого для перемешивания металла через дно конвертера. Внедрение системы позволило уменьшить длительность продувки металла кислородом на 1,3 мин и увеличить производительность конвертера на 1-2 % [5].

На Баошаньском металлургическом комбинате в КНР выполнен частотный анализ вибрации на 300-т конвертере в различные периоды продувки. Приведены временные характеристики формы и частотный спектр вибрационных волн. Частота крутящей вибрации составляет 0,3-2 Гц и зависит от характеристик движения жидкого металла в конвертере в процессе продувки [6].

Для оценки процессов в ходе конвертерной плавки полезной информацией является вибрация кислородной фурмы. Вибросигнал, снимаемый с фурмы, оказался достаточно информативным для контроля шлакообразования и прогнозирования выбросов шлакометаллической эмульсии [7-10].

Кислородная фурма находится в непосредственном контакте с верхними слоями шлака и воспринимает динамические нагрузки последней в зависимости от состояния шлака и его уровня в конвертере. Колебания фурмы в ходе продувки непрерывно сравнивают со стандартной волной и по результатам оценивают процессы образования шлака. Преобразованный сигнал фиксируется на мониторе [7].

В другом случае изменение колебаний фурмы в ходе продувки непрерывно сравнивают с эталонной формой, полученной на основе опыта предыдущих плавков. Изменяя высоту фурмы, расход кислорода, количество присаживаемых флюсов и

др., добиваются максимального приближения текущей формы кривой изменения амплитуды вибрации к эталонной. Такая система позволила устранить влияние внешних факторов на точность оценки процессов шлакообразования [8].

В Японии провели следующие исследования: к верхней части фурмы прикрепляют кварцевый резонатор, настроенный на частоту вынужденных колебаний фурмы (1-2 Гц) и не реагирующий на собственные колебания фурмы и шлангов для подвода кислорода и охлаждающей воды (0,3 Гц). Средние показания резонатора за каждые 20 с (5 с в случае опасности выбросов) индицируются на пульте управления. Если величина сигнала выходит за допустимые пределы, корректируют режим шлакообразования, изменяя подачу кислорода или глубину погружения фурмы. Использование системы на 250-т конвертере позволило уменьшить число выбросов [9].

На этом принципе основан контроль уровня шлака в конвертере, который выполняют, анализируя изменение вибросмещения кислородной фурмы на частоте 40-250 Гц, а амплитуды акустического сигнала - на частоте 60-200 Гц [10]. Система такого типа освоена в конвертерном цехе ООО «ЧерМК» [11].

Независимо от применяемого способа контроля в качестве управляющего воздействия на уровень шлакометаллической эмульсии с целью наведения шлака или подавления выбросов регулируют положение верхней кислородной фурмы, загрузку извести, плавикового шпата и других шлакообразующих или пеноподавляющих материалов. В конвертерах комбинированной подачи дутья изменяют расход инертного газа, подаваемого через днище конвертера.

#### Выводы

1. Для диагностирования процессов в кислородно-конвертерном производстве широко применяются акустические и вибрационные методы контроля.
2. Наиболее целесообразным можно считать диагностирование аномалий процессов в конвертере с использованием комплексного параметра при выделении и совместном анализе акустического и вибрационного сигналов.
3. Точность и надежность виброакустических систем диагностирования выбросов повышаются при дополнительном использовании других косвенных характеристик кислородно-конвертерной плавки.

## 1.2 Обзор подходов к обработке диагностических массивов данных

Основной тенденцией в развитии современных средств диагностирования является применение высокопроизводительных вычислительных систем и усложнение диагностических алгоритмов [2].

Достаточно перспективным подходом к обработке входных данных для задачи диагностирования является следующий. Датчик технологического параметра процесса содержит элемент, чувствительный к этому параметру. Информация с датчика поступает в аналого-цифровой преобразователь, выдающий информацию, представляющую аналоговые данные от чувствительного элемента. Микропроцессорная система соединена с аналого-цифровым преобразователем и выполнена с возможностью расчета спектральной плотности мощности цифровых данных и генерирования в ответ диагностической информации [12].

В патенте [13] предложен метод диагностирования на основе анализа главных компонент входных сигналов. В режиме нормального протекания процесса собирается информация для построения математической модели. Анализ главных компонент применяется для уменьшения размерности пространства входных сигналов. Поступающие данные сравниваются с сигналами, рассчитанными при помощи модели, результат сравнения обрабатывается при помощи сети нечеткой логики, выход которой идентифицирует состояние процесса как нормальное или отклонение.

В патенте [14] предложена система диагностирования на основе искусственных нейронных сетей (ИНН). Для каждого типа нарушения в диагностируемом объекте формируется ИНН, настраивается в ходе сессии обучения на основе временных рядов сигналов вибрации и информации о соответствующем состоянии объекта. В ходе диагностирования ИНН по измеряемым сигналам вибрации выдает диагностируемое состояние объекта.

В патенте [15] предложена система диагностирования объектов путем измерения вибрации. Система работает в одном из двух режимов – обучения или диагностирования. Обучение осуществляется при нормальном состоянии объекта и состоит в автоматическом выборе релевантных признаков входных сигналов на основе их ста-

статистических параметров, выборе частоты оцифровки входных сигналов, выборе нормальных диапазонов амплитуды сигналов. В режиме диагностирования вычисляются выбранные ранее признаки, при сравнении их с выбранными ранее диапазонами определяется состояние диагностируемого объекта.

Большинство рассмотренных многофункциональных приборов диагностирования характеризуются наличием в своем составе обучаемых блоков. В основе работы таких блоков лежит применение методов машинного обучения (ММО) из области искусственного интеллекта. Метод машинного обучения по прецедентам – это современный способ автоматизированного построения классификационных и регрессионных моделей. Обучение по прецедентам предполагает наличие обучающей выборки  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$  - совокупности прецедентов  $(x_i, y_i)$ ,  $i = (1, 2, \dots, N)$  где вектор  $x_i$  – признаки (атрибуты) объекта, в данном случае - вектор СПМ, вектор  $y_i$  – значение искомой функции  $f : y_i = f(x_i)$ . Величину ошибки обучения характеризует функция потерь  $L(y, f(x))$ . Применение подобных методов позволяет автоматизировать процесс настройки алгоритмов идентификации, упрощает адаптацию прикладных систем для новых технологических объектов, снижает требования к обслуживающему персоналу [16].

Рассмотренные выше подходы характеризуются применением лишь одного определенного метода машинного обучения, в ходе формирования пространства признаков не учитывается природа входных сигналов. Эти особенности приводят к снижению точности диагностирования состояния технологических процессов.

### Выводы

1. Развитие систем диагностирования характеризуется применением все более комплексных компьютерных технологий обработки сигналов.
2. Эффективным методом ускорения внедрения приборов диагностирования на конкретное производство является применение обучающихся систем.
3. Область применения приборов диагностирования процессов в неоднородных средах может быть расширена путем автоматического выбора методов машинного обучения и пространства диагностических признаков в процессе обучения.

### **1.3 Анализ физико-химических процессов при продувке расплава кислородом**

Продувка является основным режимом работы конвертера. Назначение продувки заключается в окислении углерода и примесей, содержащихся в металле. Поступление окислителя в конвертерную ванну обеспечивается преимущественно за счет дутья кислородом. Подача кислорода осуществляется через фурму, опускаемую в конвертер на высоту до 2 м от поверхности ванны. Поступающий в ванну кислород расходуется на окисление углерода, других примесей металла, образование первичных оксидов железа, на потери с отходящими газами. В процессе продувки может быть выделено несколько стадий [17].

В начальный период продувки преимущественно окисляются шлакообразующие элементы. При этом продукты реакции вместе с неиспользованной частью оксидов железа дают конденсированную фазу – шлак. Основными функциями шлака при продувке конвертера являются удаление вредных примесей, неметаллических включений, защита металла от поглощения газов, предотвращение выноса металла. Для регулирования физико-химических свойств шлака в процессе продувки периодически присаживаются шлакообразующие материалы. Протекание процесса выгорания углерода на границе раздела металл-шлак приводит к вспениванию последнего и продувке в режиме «заглубленной» струи. Данный режим является оптимальным [18]. Однако приближение шлакометаллической эмульсии к горловине конвертера может привести к образованию выбросов из-за взрывного характера выхода потока оксида углерода из реакционной зоны. Выбросы могут вызвать значительные потери металла (в некоторых случаях они достигают 2—3 % и более от массы жидкой стали). По ходу продувки наблюдаются два-три максимума интенсивности выбросов, совпадающих часто с наибольшими значениями скорости обезуглероживания. В результате выбросов металл забрасывается в камин конвертера, что обуславливает длительные остановки для очистки и ремонта [19].

По мере окисления примесей и повышения температуры ванны создаются благоприятные условия для горения углерода в объеме ванны конвертера. Это период

наиболее энергичного обезуглероживания, протекающий до так называемых «переходных» концентраций углерода (1,0%). На данной стадии уровень скорости обезуглероживания в основном определяется количеством поступающего кислорода в единицу времени на единицу площади.

При достижении «критических» концентраций углерода ( $0,15 \pm 0,20\%$ ) происходит энергичное накопление оксидов железа в шлаке, а скорость обезуглероживания резко падает. После этого момента оператор должен принимать решение об окончании продувки.

Постоянный контроль за ходом продувки осуществляется оператором с целью регулирования процессов рафинирования и образования шлака. Основным показателем протекающих процессов для оператора служит состав отходящих газов, определяемый при помощи газоанализаторов. Недостатком такого метода контроля является значительная задержка, возникающая вследствие инерционности газоанализаторов и их удаленностью от зоны протекания реакций. Это приводит к запаздыванию принятия оператором решений об изменении режима продувки или ее прекращению в конце процесса. Основным управляющим воздействием в кислородном конвертере является регулирование давления кислорода и высоты расположения фурмы над ванной с целью рационального перераспределения кислорода в реакции с металлом или шлаком. С понижением давления дутья и увеличением высоты фурмы над ванной окисление примесей в реакционной зоне ослабевает, но усиливается поступление оксидов железа в шлак, что способствует его формированию, а также образованию вспененной шлакометаллической эмульсии. Наличие информации о возникающих отклонениях в процессе продувки расплава позволило бы точнее регулировать давление дутья и высоту фурмы, предотвращать выбросы расплава, оптимизируя процесс конвертирования.

#### **1.4 Патентные исследования**

Патентный поиск проводился с целью определения патентоспособности планируемых результатов научно-исследовательской работы, выполняемой в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры иннова-

ционной России» на 2009-2013 годы» по государственному контракту № П2136 от 05 ноября 2009 г., заключенному между Федеральным агентством по образованию и Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г.И. Носова», для получения сведений об охранных и иных документах, которые могут препятствовать применению результатов данной НИР в Российской Федерации, и условиях использования таких документов.

Патентный поиск проводился в соответствии с ГОСТ Р.15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования». При этом проводился поиск как среди патентных документов, так и среди прочих источников. Это должно помочь в разработке прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, в которой будут учтены преимущества и недостатки уже существующих подходов в данной области.

Патентный поиск проводился в период с 18.10.2009 г. по 25.10.2009 г.

Поиск патентной информации проводился в патентных базах данных Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации (Роспатент, [www.fips.ru](http://www.fips.ru)), а также в патентных базах данных Европейского патентного ведомства ([ru.espacenet.com](http://ru.espacenet.com)).

Область поиска: запатентованные технические решения, относящиеся к разработке приборов диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах в целом и в металлургической отрасли в частности.

Исследуемый объект относится к разделу С – «Химия, металлургия», классу «С21» – «Металлургия железа» международной патентной классификации к категории вещества, при этом предметами проводимого поиска являются способы и устройства диагностирования сталеплавильных процессов.

Для решения задач при проведении исследований использовались следующие рубрики МПК 8-ой редакции: С21С 5/00, С21С 5/28, С21С 5/30.

Ретроспектива: ретроспектива поиска составляет 20 лет, это достаточная глубина для установления тенденций развития данного объекта изобретения.

Перечень документов, отобранных для представления области поиска, представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень патентных документов

№ п/п	Регистрационный номер документа	Дата публикации	Классификационный индекс
1	28.02.08	US2008047396	C21C 5/30
2	15.08.07	CN101016576	C21C 5/32
3	27.05.07	RU2299914	C21C 5/30
4	27.08.06	RU2282666	C21C 5/30
5	10.08.06	RU2281337	C21C 5/30
6	10.10.99	RU2139355	C21C 5/30
7	27.07.99	RU2133781	C21C 5/28
8	25.05.99	JP11140528	C21C 5/32
9	20.06.96	DE19547010	C21C 5/30
10	27.12.95	RU2051179	C21C 5/28
11	20.11.95	RU2048534	C21C 5/30
12	30.06.94	RU2015174	C21C 5/30
13	07.06.94	JP6158140	C21C 5/30
14	05.10.93	JP5255726	C21C 5/30
15	01.01.92	RU1765186	C21C 5/30
16	01.01.91	RU1654343	C21C 5/30
17	30.07.90	RU1581749	C21C 5/30
18	12.07.90	JP2179811	C21C 5/30
19	01.01.90	RU1539211	C21C 5/30
20	07.08.89	JP1195232	C21C 5/30
21	01.01.89	RU1470773	C21C 5/30
22	01.01.88	RU1442559	C21C 5/30
23	01.01.88	RU1421775	C21C 5/30



24	15.12.86	RU1276671	C21C 5/30
25	01.01.86	RU1258839	C21C 5/30
26	01.01.85	RU1186648	C21C 5/30
27	29.06.84	JP59113114	C21C 5/30
28	10.07.78	JP53077816	C21C 5/28

Аналоги выбирались таким образом, чтобы представить возможное в рамках настоящего предварительного поиска разнообразие технических решений, относящихся к области поиска.

Копии аналогов представлены в виде описаний, рефератов и чертежей, дающих возможность установить сущность технического решения.

В результате предварительного обзорного патентного поиска установлено, что из патентной литературы известны различные решения в области разработки приборов диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, в частности аномалий в ходе сталеплавильных процессов.

#### Заключение:

После проведения анализа существующих патентов сделан вывод, что применение комплекса разнородных датчиков первичной информации и методов машинного обучения для классификации диагностируемых ситуаций позволит разработать многофункциональный прибор для диагностирования аномалий, предшествующих выбросам расплава из кислородного конвертера, что повысит достоверность и быстродействие идентификации указанных аномалий. Проведенный патентный поиск по данной тематике показал, что унифицированная методика диагностирования аномалий в неоднородных средах, применяемая в различных отраслях промышленности до настоящего времени изучена недостаточно, что определяет актуальность данной работы.

Можно утверждать, что на данном этапе исследования способ диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах на основе вибрации и акустики с применением методов машинного обучения является наиболее приемлемыми для использования в исследованиях, проводимых по Государственному контракту.

## **2 Выбор обоснованного варианта направления исследований**

### **2.1 Анализ технологических требований, предъявляемых к прибору для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, применительно к кислородно-конвертерному процессу**

Типичным примером кислородно-конвертерного производства является кислородно-конвертерный цех (ККЦ) ОАО «ММК», где в настоящее время действуют три кислородных конвертера объемом 370 тонн каждый с верхним режимом продувки. Основой автоматизации процесса продувки является АСУТП «Плавка». В ее функции входит сбор и визуализация данных о состоянии процесса, регулирование высоты кислородной фурмы (КФ), расхода кислорода и присадки шлакообразующих материалов в ручном режиме. Управление технологическим процессом осуществляется оператором. Основной способ ведения продувки заключается в ступенчатом регулировании высоты фурмы и расхода кислорода по утвержденным шаблонам для каждого типа стали. Динамическая коррекция управляющих воздействий осуществляется оператором на основании данных о химическом составе отходящих газов по показаниям газоанализаторов и визуального наблюдения горловины конвертера [20].

Применяемый способ управления имеет ряд существенных недостатков. Показания газоанализаторов отражают протекающий процесс со значительной задержкой  $\Delta t_1 = 8-12$  с [21]. Это приводит к запаздыванию принятия оператором решений об изменении режима продувки. В случае чрезмерного вспенивания шлака положение КФ не корректируется до возникновения видимых эффектов (выбросов расплава через горловину конвертера). Согласно [22], время ответной реакции оператора-дистрибуторщика составляет  $\Delta t_1 = 5-10$  с. Такая временная величина соизмерима с темпом процесса обезуглероживания, изменения уровня шлакометаллической эмульсии и поэтому оказывает существенное влияние на динамику хода плавки стали. Для эффективного управления продувкой необходимо разработать достоверную и быстродействующую систему диагностирования хода технологического процесса. Так как результат возникающих аномалий, приводящих к выбросам расплава из

конвертера, может наблюдаться визуально, прибор диагностирования может быть обучен на основе комплекса сигналов, поступающих от датчиков и результатов наблюдений за горловиной конвертера. Задержка между возникновением аномалий процесса продувки и наблюдаемыми последствиями может быть скомпенсирована в процессе формирования массива обучающих данных.

### Выводы

1. Прибор для диагностирования аномалий процессов в кислородно-конвертерном производстве должен идентифицировать аномалии за время не менее чем сумма времени реакции оператора и постоянной времени исполнительного механизма, регулирующего ход технологического процесса.

2. Прибор диагностирования аномалий процессов в расплаве в кислородно-конвертерном производстве должен обладать следующими функциональными возможностями:

- Диагностирование процесса обезуглероживания металлического расплава по ходу продувки.

- Предупреждение о возможных выбросах шлака через горловину конвертера.

- Выработка предупреждающих и аварийных сигналов.

- Сбор, отображение и хранение данных технологического процесса с возможностью передачи данных в смежные системы.

3. Для реализации указанных функций необходимо выполнение следующих операций:

- Сбор первичной информации.

- Передача сигнала в вычислительно устройство.

- Расчет диагностических функций и их отображение.

- Передача сигналов на регулирующие механизмы.

## 2.2 Выбор метода диагностирования

В основе решения диагностических задач лежит прежде всего оптимальный выбор физического явления, дающего наиболее объективную информацию о параметре диагностирования. На основе этого должна проектироваться диагностическая

технология. Для решения этой проблемы используются датчики на базе микроэлектронной технологии, построенные на основе самых различных физических явлений и химических преобразований. Сталеплавильный процесс как объект управления представляет собой сложную, недостаточно изученную и плохо приспособленную к автоматизации систему. Отсутствие объективных оценок текущей информации, характеризующих динамику окисления углерода, затрудняет управление плавкой. Конструкция конвертера и особенности протекания в нем высокотемпературных процессов крайне затрудняют использование методов прямого контроля параметров конвертерной плавки. Поэтому является рациональным применение косвенных методов контроля и оценки параметров плавки. [1].

Широкая номенклатура преобразователей и сенсоров требует обоснованного выбора оптимального варианта использования их на практике, согласования с исследуемыми параметрами и функциями управления объектов контроля.

Косвенные параметры, использование которых возможно как при автоматическом, так и при ручном управлении плавкой для контроля и прогнозирования ее состояния и принятия корректирующих управляющих воздействий, по решаемым задачам можно разделить на две группы. Первая группа: параметры, используемые для прогнозирования химического состава и температуры готовой стали. Вторая группа: параметры контроля и управления шлаковым режимом конвертерной плавки [23].

К первой группе можно отнести химический состав и количество отходящих газов, скорость обезуглероживания или коэффициент использования кислорода, температуру факела, температуру воды на сливе из фурмы, температуру ванны, измеряемую датчиками, установленными в футеровке конвертера или в фурме. Среди них наибольшую связь с процессами, протекающими в конвертерной ванне, имеют характеристики отходящих газов. Основная трудность в использовании газового анализа в системах управления заключается в необходимости создания надежной и долговечной системы отбора и подготовки проб газа с минимальным запаздыванием получения результатов. Кроме этого, при расчете скорости обезуглероживания и количества выгорающего углерода необходимо согласование динамических характе-

ристик газоанализатора и системы контроля расхода отходящих газов. Неучет этих факторов приводит к большим ошибкам прогнозирования результатов плавки и снижает эффективность принимаемых управляющих воздействий. Именно такая система контроля в настоящее время используется на ОАО «ММК».

Ко второй группе косвенных параметров, имеющих наибольшую связь с состоянием именно шлаковой фазы в конвертере относятся:

- а) электропроводность ванны;
- б) уровень ванны;
- в) характеристики шума продувки;
- г) характеристики вибрации корпуса конвертера;
- д) характеристики вибрации кислородной фурмы.

Получение информации по первым трем параметрам требует наличия датчиков в непосредственно близости к ванне конвертера, что предполагает воздействие на них высокой температуры, выбросов расплава и прочих отрицательных факторов. Все это затрудняет установку и эксплуатацию систем контроля, построенных на основе анализа этих параметров.

Наиболее перспективными методами косвенного контроля процесса продувки конвертера являются акустический, вибрационный и их комбинация. Виброакустические методы диагностирования базируются на измерении следующих величин: акустических колебаний, вибрации корпуса конвертера, вибрации верхней кислородной фурмы.

Основными источниками акустических сигналов в процессе продувки кислородного конвертера служат [24]:

- а) струя кислорода, истекающая из фурмы;
- б) поток кислорода, отраженный поверхностью ванны;
- в) поток газов при выходе из реакционной зоны;
- г) всплывающие и захлопывающиеся пузыри окиси углерода;
- д) взаимодействующая составляющая этих явлений.

Вклады перечисленных источников в формирование виброакустических параметров различны. На мощность шума продувки большее влияние оказывают два первых ис-

точника. Вибрация корпуса конвертера определяется гидродинамикой процесса и мощностью перемешивания конвертерной ванны пузырями CO. Ослабление или усиление вкладов различных источников сигналов на контролируемый параметр зависит, в первую очередь, от физических и химических свойств шлаковой фазы. Причем степень влияния физических процессов на те или иные косвенные параметры различна. Различные уровни по отношению к полезному сигналу имеют и помехи. На уровень вибрации корпуса конвертера в ходе кампании, кроме технологических факторов, оказывает влияние также разгар футеровки, зарастание горловины конвертера при переливах шлакометаллической эмульсии и вибрация окружающего агрегат оборудования.

Измерение вибрации имеет определенные преимущества перед измерением акустического шума: возможность проведения измерений на любом участке конвертера, в благоприятных условиях для датчика; сохранение чувствительности в области низких частот. При измерении параметров вибрации используют два способа измерения: кинематический и динамический. Кинематический метод заключается в том, что измеряют координаты точек объекта относительно выбранной неподвижной системы координат. Измерительные преобразователи, основанные на этом методе измерения, называют преобразователями относительной вибрации. Динамический метод основан на том, что параметры вибрации измеряют относительно искусственной неподвижной системы отсчета, в большинстве случаев инерционного элемента, связанного с объектом через упругий подвес. Такие приборы называют преобразователями абсолютной вибрации, чаще сейсмическими системами [2].

В настоящее время существует широкая номенклатура измерительных преобразователей механических колебаний в электрический сигнал: преобразователи абсолютной вибрации (пьезоэлектрические, индукционные, на основе эффекта Холла, резистивные, пьезорезистивные, индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие, емкостные, электронно-механические, вибрационно-частотные, предельно контактные, импедансные); бесконтактные измерители относительной вибрации (магнитные, радиоволновые, электромагнитные, акустические, радиационные, оптические).

Реальные вибрации, в основном, являются случайными, поэтому для анализа сигналов от объектов, подвергающихся диагностированию, необходимо измерять параметры в общем случае широкополосной случайной вибрации. Вибрация диагностируемых объектов представляет собой сложный спектр, состоящий из частотных составляющих, возбуждаемых различными процессами и помехами.

#### Выводы:

Процессы, протекающие в неоднородных средах, такие как обезуглероживание расплава в кислородном конвертере, создают низкочастотную вибрацию и акустический шум, по которым можно судить о состоянии этих процессов.

Наиболее перспективным способом косвенного контроля для применения в приборе диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах является вибрационный.

### 3 План проведения экспериментальных и теоретических исследований

План проведения исследований приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – План проведения исследований

Наименование работ и виды работ	Научные результаты	Сроки проведения работ	Форма представления результатов работ
1. Выбор метода получения первичной информации о процессах в неоднородных средах (теоретический)	Определение наиболее приемлемого метода получения первичной информации о процессах в неоднородных средах для диагностирования возникающих аномалий	25.10.09- 12.11.09	Научно-технический отчет
2. Выбор метода выделения диагностических признаков (теоретический)	Определение наиболее эффективного метода выделения диагностических признаков		
3. Разработка структуры прибора диагностирования аномалий в неоднородных средах (теоретическая)	Структурная и функциональная схемы прибора диагностирования аномалий в неоднородных средах	12.11.09- 20.11.09	
4. Выбор аппаратных средств для реализации прибора диагностирования аномалий в неоднородных средах (теоретический)	Перечень необходимых аппаратных средств	20.11.09- 25.11.09	
5. Монтаж системы сбора данных (экспериментальное)	Получение средств для сбора диагностических данных и тестирования алгоритмов		



	диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах		
6. Сбор диагностических массивов данных по вибрации корпуса кислородного конвертера в процессе продувки (экспериментальный)	Получение опытных данных для разработки алгоритмов диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах		
7. Статистическая обработка экспериментальных данных (экспериментальная)	Определение параметров и взаимосвязей исходных данных	01.12.09-01.01.10	Научно-технический отчет, статья в периодическом издании ВАК
8. Сравнение методов машинного обучения для построения идентификатора аномалий процессов в неоднородных средах (экспериментальное)	Определение наиболее эффективных методов машинного обучения	01.01.10-01.02.10	
9. Разработка унифицированных алгоритмов диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах (теоретическая)	Разработка вычислительного блока прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах	01.02.10-20.02.10	
10. Разработка программного обеспечения вычислительного блока прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах (теоретическая)		20.02.10-10.04.10	

<p>11. Апробация прибора для диагностирования аномалий в кислородном конвертере ОАО «ММК», приводящих к выбросам расплава (экспериментальная)</p>	<p>Определение эффективности разработанного прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах применительно к кислородно-конвертерному производству</p>	<p>10.04.10-30.06.10</p>	
---	---	--------------------------	--

## **4 Результаты экспериментальных и теоретических исследований**

### **4.1 Разработка структуры прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах**

Структура разрабатываемого прибора в значительной степени определяется технологическими требованиями, предъявляемыми к прибору такого типа в условиях металлургического производства. Корпус конвертера является хорошим звукопроводом, поэтому для измерения вибрации датчик должен быть закреплен на его корпусе или конструктивных элементах, непосредственно с ним связанным [25]. Крепление вибродатчика на опоре приводной цапфы конвертера исключает воздействие на датчик высоких температур и ударных механических воздействий, удобно для обслуживания. Расстояние от датчика до пульта оператора продувки по кабельным трассам превышает 100 м. Поэтому необходимо промежуточное преобразование аналогового сигнала в цифровой.

Задача аналого-цифрового преобразования включает в себя гальваническую развязку аналоговой и цифровой части, непосредственно АЦП, буферизацию сигнала и формирование посылок данных, согласование интерфейсов. Такой комплекс задач может быть реализован при помощи программируемого промышленного контроллера с развитой периферией.

Расчет диагностических функций потребует значительных вычислительных мощностей, для чего необходим контроллер с высокопроизводительным центральным процессором и достаточным объемом оперативной памяти.

Функции программного обеспечения вычислительного блока прибора:

- Сбор, отображение и хранение параметров технологического процесса.
- Ведение технологического архива.
- Проведение диагностики аппаратных средств всех подсистем.
- Выдача информационных сообщений о состоянии элементов подсистем.
- Обеспечение связи с существующей АСУ ТП.

Указанные подсистемы взаимосвязаны между собой как по функциям, так и по информации и могут быть реализованы в рамках единого программного обеспечения.

Отображение информации о ходе технологического процесса должно производиться на дисплее, доступном технологическому персоналу.

Комплекс модулей прибора имеет три подуровня иерархии:

- 1 подуровень – модули сбора, первичной обработки, передачи информации на 2 подуровень;
- 2 подуровень – модули начального усиления и масштабирования сигналов, последующей аналоговой и цифровой фильтрации и дальнейшей обработки с помощью микрокомпьютера
- 3 подуровень – модули протоколирования, визуализации и распечатки информации

В функциональном отношении система представляет собой комплекс взаимосвязанных узлов. На первом и втором подуровне все процессы обработки и предоставления информации должны осуществляться автоматически. На третьем подуровне предусматривается возможность работы комплекса в диалоговом режиме.

Структура прибора представлена на рисунке 4.1.

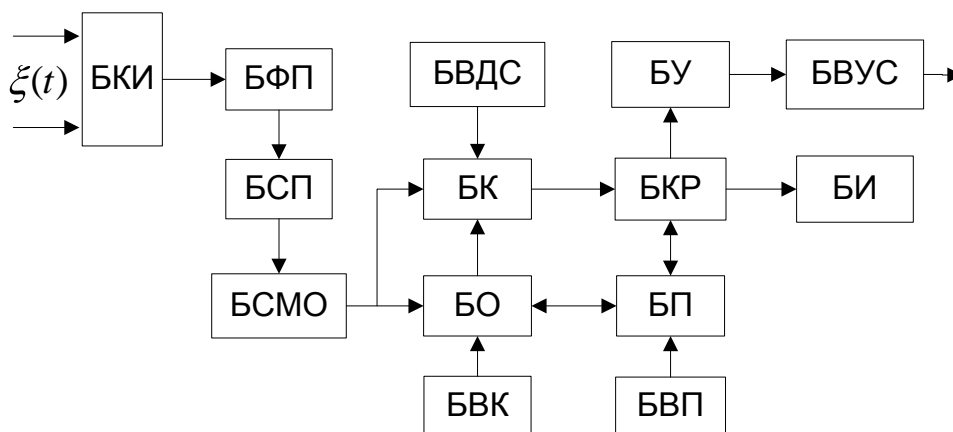


Рисунок 4.1 – Структурная схема прибора: БКИ – блок коммутации и измерений; БВДС – блок ввода дискретных сигналов, БВП – блок ввода параметров, БП – блок памяти, БО – блок обучения, БКР – блок коррекции результатов, БИ – блок индикации, БУ – блок управления, БФП – блок формирования признаков, БСП – блок селекции признаков, БСМО – блок селекции метода классификации, БК – блок клас-

сификации, БВК – блок ввода классификации, БУ – блок управления, БВУС – блок вывода управляющих сигналов.

Измеряемые параметры (сигналы вибрации) поступают в БКИ, осуществляющий согласование сигналов по уровню и аналого-цифровое преобразование. БФП осуществляет буферизацию входных сигналов и формирование массива признаков. Выбор наиболее представительных для классификации признаков осуществляется в БСП. В режиме обучения прибора последовательно выбираются различные алгоритмы построения классификаторов в БСМО. По выбранному алгоритму осуществляет обучение в БО, соответствующее состояние диагностируемого объекта вводится при помощи БВК. Модель классификатора с наименьшей ошибкой запоминается в БП. В режиме диагностирования осуществляется классификация состояние объекта при помощи ранее выбранного алгоритма на основе вновь поступающих массивов признаков. Известная информация о состоянии технологического процесса вводится при помощи БВДС. Оценка и коррекция результатов классификации проводится при помощи БКР. Диагностируемое состояние технологического процесса отображается персоналу при помощи БИ. Управляющее воздействие для коррекции аномалий процесса рассчитывается в БУ и подается на исполнительное устройство при помощи БВУС.

## **4.2 Выбор аппаратной платформы**

Одним из основных средств ускорения и удешевления проектирования технических средств диагностирования является использование набора базовых узлов (агрегатов). Принцип агрегатирования осуществляется макромодульным методом проектирования, при котором системы разрабатываются на основе отдельных функционально законченных модулей (агрегатов).

Все средства агрегатного комплекса должны [26]:

- соответствовать единой системе метрологических и эксплуатационных требований, упорядоченных по ряду признаков;
- быть взаимосогласованы по информационным (измерительным и управляющим) цепям и конструктивному исполнению;

— удовлетворять условию использования в виде конструктивно и функционально автономных блоков;

— обеспечивать построение на их основе комплекса средств диагностирования.

Для выбора датчиков сигнала основными параметрами являются диапазон воспринимаемых частот, чувствительность и условия работы. Четкие концепции выбора наиболее представительного спектрального диапазона отсутствуют. Наиболее характерным для контроля процесса является низкочастотный диапазон, причем, внутри него существуют специфичные зоны для различных конверторов [24]. Характерной частотой является 150 Гц [1]. Для исследования выбран частотный диапазон с некоторым запасом – от 0 до 256 Гц.

Крепление датчика на цапфе конвертера исключает воздействие на него высоких температур и ударных механических воздействий. Единственный негативный фактор – высокая запыленность, поэтому корпус датчика должен быть выполнен в пылезащищенном варианте.

В качестве датчика первичной информации используем вибродатчик Н1С производства НПХ «Техноап». Прибор предназначен для измерения угла наклона, контроля крена, измерения наклонных перемещений, измерения колебаний и подвижек оснований и платформ, мониторинга положения объекта относительно вертикали.

Краткий список характеристик датчика Н1С:

- чувствительность  $10^{-6}g$ ;
- полоса пропускания 0 - 250 Гц;
- крутизна выходного сигнала по напряжению 160 мВ/g.

Согласно выдвинутым требованиям, основу аппаратных средств разрабатываемого прибора должен составлять комплекс агрегатных модулей. На современном рынке подобные модули широко представлены в составе платформ сбора и обработки данных таких фирм как National Instruments, Texas Instruments, Techtronix, Agilent и пр. Среди них по своим технико-экономическим показателям выделяется платформа National Instruments PXI (PCI eXtension for Instrumentation).

PXI – это модульная платформа, предназначенная для создания многофункциональных и высокопроизводительных автоматизированных измерительных систем. В

основе PXI-платформы лежат стандартные компьютерные технологии: шина PCI/PCI Express, процессор и периферийные устройства. Архитектурно PXI состоит из шасси, в которое устанавливаются модульные приборы, контроллеры или интерфейсы для удаленного управления платформой [27].

Платформа PXI основана на широко распространенном стандарте CompactPCI и обеспечивает эффективное взаимодействие с тысячами модулей CompactPCI. PXI представляет собой надежную платформу с фронтальной загрузкой модулей и встроенными возможностями синхронизации и тактирования отдельных устройств, специально разработанными для решения задач тестирования и измерений. PXI является международным стандартом, поддерживаемым более, чем 60 производителями оборудования, в рамках которого разработано свыше 1100 различных продуктов. Высокая производительность, малый размер и низкая цена основанных на технологии PXI систем сделали PXI одной из наиболее быстро развивающихся платформ в технологии тестирования и измерений.

Модульные измерительные системы, базирующиеся на открытом промышленном стандарте, PXI обеспечивают высокую производительность и обладают невысокой ценой. Использование шины PCI обеспечивает большую производительность по сравнению с другими архитектурами, Кроме того, PXI имеет дополнительные линии тактирования и синхронизации, что обеспечивает высокий уровень интеграции отдельных модулей, необходимый при создании измерительных и управляющих систем. Стандарт PXI был введен в 1997 году как открытый промышленный стандарт альянсом PXISA (PXI Systems Alliance), состоящим из 68 компаний, которые сейчас производят более 1150 различных PXI продуктов.

Преимущества платформы PXI:

- Архитектура ПК позволяет использовать высокопроизводительные процессоры в приложениях, требующих сложного анализа и математической обработки данных.
- Пропускная способность шины PCI составляет 132 МБ/с.

- Расширенные возможности синхронизации обеспечивают тесную интеграцию PXI модулей, что позволяет повысить точность измерений и создавать системы с большим количеством каналов.
- Одно PXI шасси может содержать до 17 измерительных модулей.
- Используемое программное обеспечение аналогично ПО для стандартных ПК, и поэтому не требует дополнительного времени на изучение, что упрощает процесс интеграции систем.
- Открытая модульная архитектура.
- Возможность синхронизации как модулей так и отдельных шасси.
- Надежный форм-фактор.
- Более 1500 измерительных модулей (от постоянного тока до 26.5 ГГц).
- Стандартные компьютерные технологии и интерфейсы ввода/вывода.
- Полная совместимость платформ PXI/PXI Express и CompactPCI.
- Пропускная способность до 1 ГБ/с на каждый слот, слота системного контроллера - до 4 ГБ/с.
- Программирование с помощью NI LabVIEW, NI LabWindows/CVI, Measurement Studio, .NET, Visual Basic, C/C++.

Надежность системы на базе PXI обуславливается следующими факторами:

- Применение модульной архитектуры Eurocard (подтверждено годами успешного использования в промышленной среде).
- Механические компоненты и габаритные размеры, стандартизованные IEEE.
- Механически взаимозаменяемые модули.
- Спецификация PXI, расширяющая возможности платформы CompactPCI для использования в условиях, требующих повышенной надежности, производительности и документации.
- Большое время наработки на отказ.

Конструктивно PXI представляет собой корзину (рисунок 4.2), оснащенную соединительной платой на 8 PCI-модулями с коммуникационной способностью до 132 Мбайт/с для 32-разрядной 33 МГц PCI-шины.





Рисунок 4.2 – Схема шасси PXI

Преимуществом CompactPCI является фронтальная установка и замена модулей, надежные разъемы и технология Plug&Play. Спецификация PXI, помимо всего, определяет заимствованные из спецификации VXI и RTSI дополнительные линии триггеринга (triggering) и наносекундной синхронизации модулей ввода/вывода сигналов, а также локальную шину для обмена информацией между соседними модулями. Для PXI также заданы жесткие требования по электромагнитной совместимости, питанию и вентиляции модулей. Левый PCI-слот в корзине PXI предназначен для размещения компьютерного модуля системного контроллера. Слева от системного слота оставлено свободное место для расширения устанавливаемого компьютера. Справа остается семь свободных PCI-слотов для модулей ввода/вывода (их количество планируется увеличить до 13 с помощью моста PCI-PCI). В следующий за системным слотом помимо обычного модуля может также устанавливаться так называемый старт-триггер (start trigger) специальный модуль для реализации сложных схем синхронизации функционирования нескольких модулей ввода/вывода. Каждый из них имеет свою собственную линию управления.

Функциональная схема прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах на основе платформы PXI представлена на рисунке 4.2.

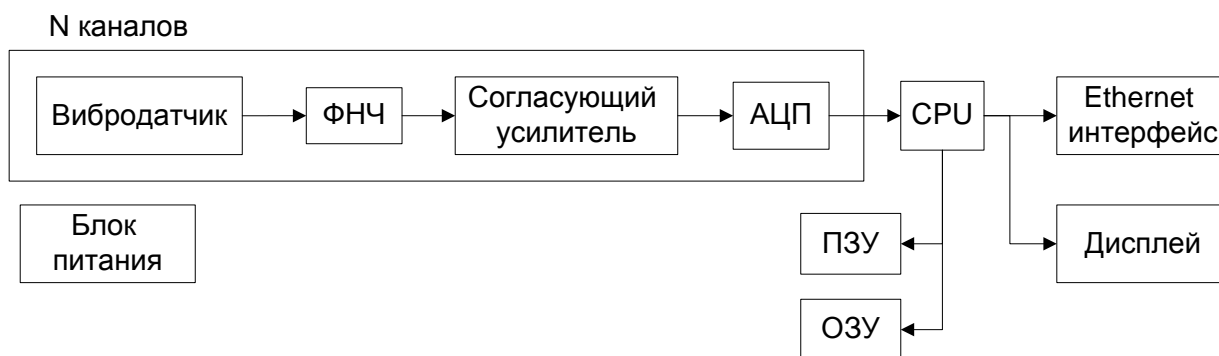


Рисунок 4.3 – Функциональная схема прибора

Вибродатчик представляет собой дискретное устройство (датчик Н1С), устанавливаемое на конструктивные элементы технологического объекта, имеющие непосредственную связь с диагностируемым процессом. Функции согласующего усилителя и фильтра низких частот (ФНЧ) выполняются модулем SCXI-1530. Аналого-цифровой преобразователь входит в состав модуля PXI-4072. Вычислительный блок представлен центральным процессором (ЦП), оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) и постоянным запоминающим устройством (ПЗУ). Вывод диагностических и управляющих сигналов осуществляется посредством интерфейса Ethernet. Отображение текущей информации осуществляется на дисплее.

Таблица 4.1 – Характеристики используемых модулей PXI

Тип модуля	Модель	Характеристики
Контроллер	PXI-8104	Процессор 1.86 ГГц Celeron M 440, 512 Мб ОЗУ, ОС Microsoft Windows XP
АЦП	PXI-4072	Частота дискретизации 1.8 Мбит/с
Модуль согласования акселерометров	SCXI-1530	4 канала, автоматическая настройка, регулируемый коэффициент усиления
Коммутационный модуль	PXI-1050	8 слотов PXI и 4 слота SCXI

### 4.3 Выбор программной платформы

Программное обеспечение прибора для диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах должно выполнять следующие функции:

- прием данных от модуля АЦП системы PXI;

- диагностирование аномалий процесса продувки и индикация возможности выброса шлака из конвертера;
- вывод и отображение информации.

Для диагностирования аномалий исследуемых процессов необходимы следующие стадии обработки входных сигналов:

- согласование уровней;
- буферизация;
- преобразование входных сигналов в пространство диагностических признаков;
- классификации текущей ситуации процесса;
- коррекция результатов и их вывод.

Всем указанным требованиям удовлетворяет среда разработки программного обеспечения LabView фирмы National Instruments. Основными критериями при ее выборе были: наличие графического языка программирования с богатой библиотекой функциональных блоков, возможность интерактивной отладки и совмещения процесса разработки и проведения исследований [28].

Система LabView ориентирована на создание приложений в области автоматизации научных исследований, управления производством и промышленными установками. По своим возможностям она приближается к системам программирования общего назначения, таким как Delphi. Важным отличием системы LabView является принцип графического программирования и проблемно-ориентированность, она поддерживает программирование множества действий, характерных для автоматизированных систем управления (АСУ), систем мониторинга и реализует концепцию виртуальных приборов. Каждая программа LabView представляет собой виртуальный прибор (ВП) – аналог некоторого реально-существующего или воображаемого прибора, состоящий из двух взаимосвязанных частей: лицевой панели и блок-диаграммы. Лицевая панель описывает пользовательский интерфейс ВП и может содержать различные элементы управления и индикаторы. Блок-диаграмма описывает алгоритм работы ВП в терминах функционального языка передачи данных (DataFlow).

#### 4.4 Сбор диагностических массивов данных

В условия кислородно-конвертерного цеха ККЦ ОАО «ММК» информация о ходе технологического процесса может быть получена от сервера АСУ-ТП по протоколу TCP-IP. Возможен прием следующих основных данных:

- текущий технологический режим конвертера (продувка, зажигание плавки, слив стали и т.д);
- показания газоанализаторов, измеряющих концентрацию CO, CO<sub>2</sub> и прочих веществ в составе отходящих газов;
- относительная высота кислородной фурмы;
- расход кислорода продувки.

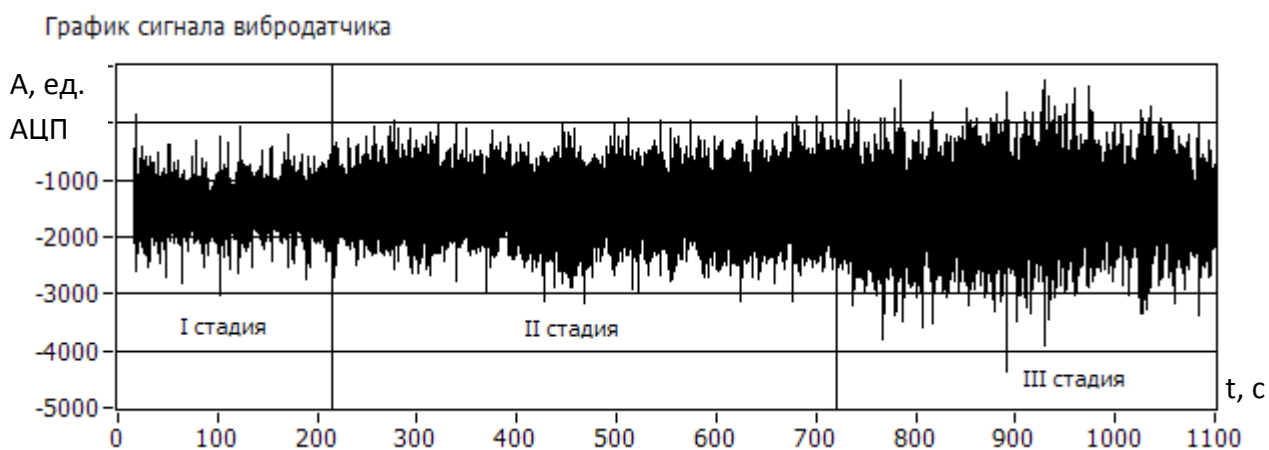
Входными сигналами для программного обеспечения разрабатываемого прибора являются пакеты цифровых сигналов с АЦП и технологическая информация от цехового сервера АСУ-ТП. Выходными сигналами являются сигналы регулирования технологического процесса и визуальная информация для оператора. Краткая характеристика входных и выходных сигналов представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристика входных и выходных сигналов

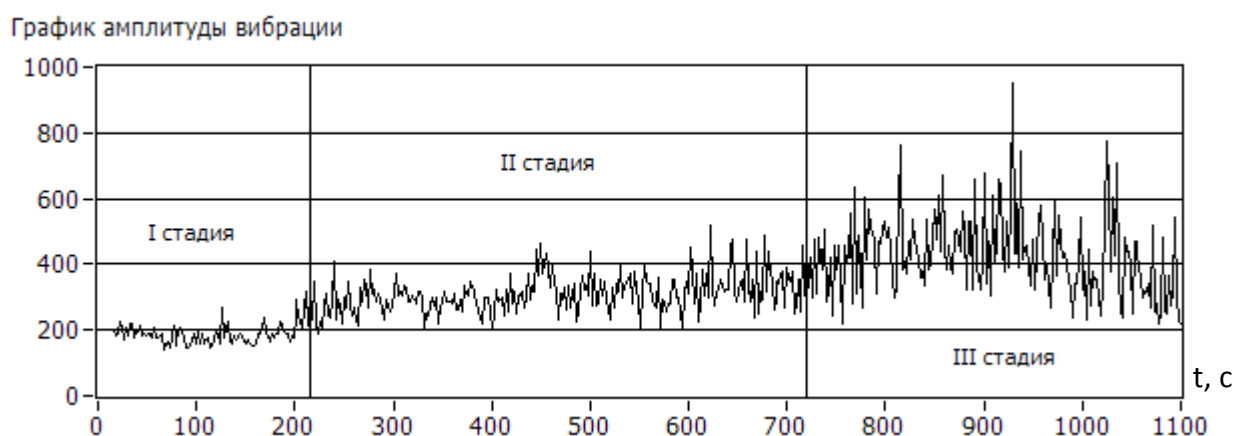
Тип	Сигнал	Интерфейс
Входные	сигнал вибродатчиков	PCI
	Технологические параметры	Ethernet
Выходные	сигналы управления	Ethernet
	Индикация	VGA

#### 4.5 Предварительный анализ полученных данных

На рисунке 4.4 представлен типичный график входного сигнала и амплитуды изменения вибрации корпуса конвертера на плавке без выбросов расплава. Для оценки мощности вибрации использована величина среднеквадратичного отклонения сигнала за 1 с.



а)



б)

Рисунок 4.4 – Графики сигнала вибродатчика: а) необработанный сигнал; б) мощность вибрации

В соответствии с характером поведения вибрационного сигнала плавку можно разделить на три основных периода:

- 1) период наведения шлака;
- 2) период вспенивания шлака;
- 3) период сворачивания шлака.

На данной плавке не было зафиксировано выбросов металла, шлакообразование проходило в нормальном режиме.

На рисунке 4.5 представлен логарифмический спектр сигнала вибрации корпуса конвертера в момент наблюдения выброса расплава. Широкий спектр вибрации конвертера свидетельствует о многообразии физико-химических процессов, генерирующих колебания сталеплавильного агрегата.

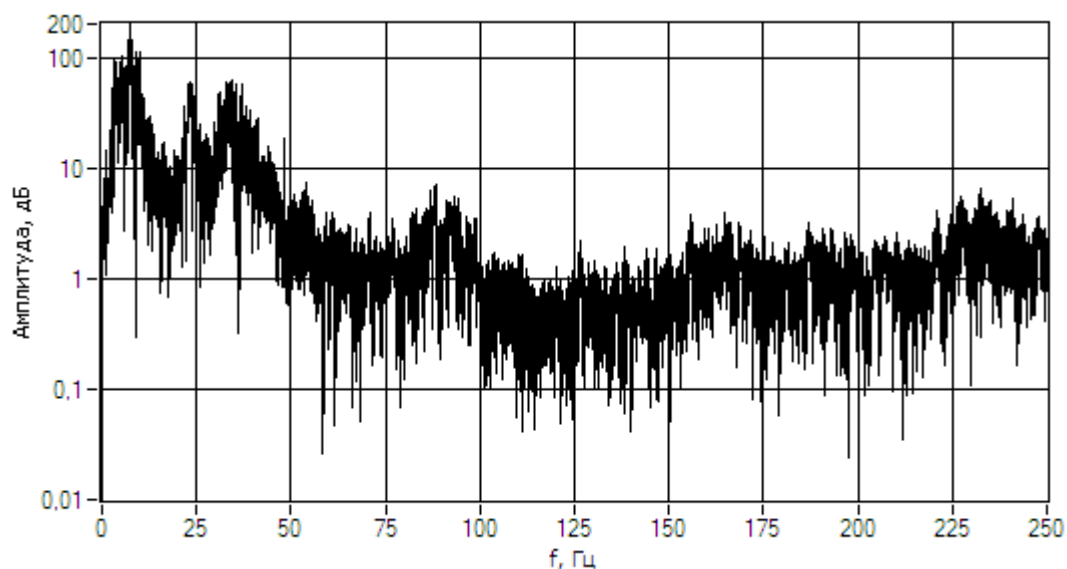


Рисунок 4.5

К настоящему моменту создана база данных по 150 продувкам конвертера №1 ККЦ ОАО «ММК», включающая технологические параметры, оцифрованные сигналы вибрации корпуса конвертера, информацию о наблюдаемых выбросах расплава. Анализ собранных данных позволит разработать эффективные алгоритмы для прибора диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, в частности выбросов расплава в ходе продувки кислородного конвертера.

## Заключение

Анализ патентных и литературных источников позволил установить, что наиболее перспективным способом косвенного контроля процессов в неоднородных средах является виброакустический. Применение методов машинного обучения в качестве основы для классифицирования состояния технологического процесса позволяет разработать многофункциональный прибор диагностирования.

В ходе выполнения первого этапа работы были достигнуты следующие основные результаты:

- разработана структура прибора диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах;
- выбрана аппаратная платформа для реализации прибора;
- выбран тип датчиков первичной информации;
- выбрана программная платформа для реализации алгоритмов функционирования прибора;
- собран массив диагностических данных по вибрации корпуса кислородного конвертера;
- проведен предварительный анализ экспериментальных данных;

На следующем этапе с использованием полученных результатов планируется выполнить:

- проведение статистической обработки экспериментальных данных по диагностическим признакам аномалий в ходе продувки кислородного конвертера;
- классификацию видов аномалий в шлаковом режиме конвертерной плавки;
- разработать алгоритмы, позволяющие заблаговременно выявлять тенденции к возникновению аномалий процессов в неоднородных средах, в частности, выбросов расплава из кислородного конвертера.

Решение поставленных задач позволит создать прибор диагностирования аномалий процессов в неоднородных средах, который может быть применен в системах управления в различных областях металлургической промышленности.

## Список использованных источников

1. М.И. Волович, В.И. Авдеев, Я.Г. Парпаров. Контроль и оценивание конвертер-ной плавки по косвенным параметрам. – Кемеровское книжное издательство, - 1989. – 124 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ под ред. Клюева В.В. - М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
3. Патент № 2245400 (Россия), С 25 С 3/20.
4. Катыхин В.Ф., Липин В.Г., Шоканов А.К. Разработка и внедрение аппаратуры АКШ - 7603//Проблемы, опыт создания и использования средств контроля и АСУТЛ в техническом перевооружении производства. Тез.докл. на Респ. меж-отрасл. науч.конф., 14-15 сентября, 1989. Караганда. 1989, С. 16.
5. Automatic slop control at stelco'e hilton works / R.M.Nishzaki, L.V.Hambly, A.H.Lohbihler // Proceedings 67th Steelmakings Conference. V.67: Chicago Meet., Apr.1-4, 1984./ New York, 1984, С.163-169.
6. Подход к динамическому контролю режима продувки в 300-т конвертере ПО сигналу о крутящей вибрации / Meng Xian Yuan, Wang Zhe // Ган Те = Iron and Steel. 1988. 23 №12, С. 22-26.
7. Патент №56 - 5808 (Япония), С 21 С 5/32.
8. Заявка №54-114414 (Япония), С 21 С 5/32.
9. Патент №55-76008 (Япония), С 21 С 5/32.
10. Авторское свидетельство № 1186648 (СССР), С 21 С 5/30.
11. Рыбалко, Цымбал В.П., Ливерц И.И. Контроль вспенивания шлака в кислород-ном конвертере // Изв. вузов: Черная металлургия. 1980. № 12. С.115-119
12. Патент № 2006/0036404 (США), G-06 F 11/30
13. Патент № 7349746 (США), G-05 В 11/01
14. Патент № 5333240 (США), G-06 F 15/18
15. Патент № 5847658 (США), G-08 В 21/00
16. Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schütze. Introduction to In-formation Retrieval. – Cambridge University Press, 2008. – 496 с.



17. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.
18. Бептизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. Теория, технология, конструкции агрегатов. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 343 с.
19. Авдеев А.П., Айзатулов Р.С., Мышляев Л.П. Основы математического описания и основы расчета кислородно-конвертерного производства стали. – М.: Металлургия, 1994. – 232 с.
20. Тахаутдинов Р.С. Производство стали в кислородно-конвертерном цехе Магнитогорского металлургического комбината. – Магнитогорск, 2001. – 148 с.
21. Козловский А.В., Марковский С. Н., Федичкин И. Л. Газоаналитический информационно-контрольный комплекс ЭМГ-21 в цикле АСУ ТП «Плавка» // Контрольно-измерительные приборы и системы, 2000, №4 С.17-18.
22. Яценко А. К., Каменев Ю. С. Адаптивное управление в АСУТП выплавки стали в конвертерах. // «Автоматизация конвертерного и прокатного производств», Киев, 1987, – С. 27—30.
23. Туркенич Д.И., Здановский В.В. Акустика в технологии конвертерной плавки. – М.: Металлургия, 1978. – 80 с.
24. Виброакустический контроль в технологиях конвертерной плавки и внепечной обработки стали / АО «Черметинформация», М., 1993. – 22 с.
25. Разработка способа прогнозирования конвертерных выбросов. /Тэцу то хаганэ. 1986, 72, №12, С. 34-36.
26. Технические средства диагностирования / Калявин В. П., Мозгалеvский А. В. – Л.: Судостроение, 1984. – 478 с.
27. Основы сбора данных. [Электронн. ресурс]. – <http://digital.ni.com/worldwide/russia.nsf/>
28. Основы графического программирования в среде LabView. – Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 2002. – 342 с.