

вание полученной информации осуществляется на рабочей станции диагностики.

#### ***Список литературы***

1. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. Производство стали. Том 4. Непрерывная разливка металла. – М.: «Теплотехник», 2009. – 528 с.
2. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: учебник – Донецк: ДонГТУ, 2011. – 482 с.
3. Лукьянов С.И., Васильев А.Е., Лукьянов Д.С. Автоматизированный электропривод тянуще-правильного устройства МНЛЗ: монография. - Магнитогорск: МГТУ, 2004.- 176с.
4. Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Красильников С.С. Совершенствование системы управления электроприводами основных механизмов МНЛЗ: монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011.- 91с.

УДК 004.622

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКАЗАНИЙ ТЕРМОПАР КРИСТАЛЛИЗАТОРА В СИСТЕМЕ РАННЕГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТРЕЩИН**

***Ю.В. Пишнограева, Р.С. Пишнограев, С.С. Красильников,  
Д.В. Швидченко***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
pishnograeva@mail.ru, r.s.pishnograev@gmail.com,  
kras.technoap@gmail.com*

#### ***Аннотация***

В статье приведены сведения о математических методах обработки показаний термопар кристаллизаторов МНЛЗ №6, применяемых в системе раннего детектирования продольных трещин в теле отливаемой заготовки.

***Ключевые слова:*** МНЛЗ, кристаллизатор, трещина, интерполяция.

# CONTINUOUS CASTER MOLD THERMOCOUPLES VALUES PROCESSING IN LONGITUDINAL CRACK EARLY DETECTION SYSTEM

*U.V. Pishnograeva, R.S. Pishnograev, S.S. Krasilnikov,  
D.V. Shvidchenko*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University  
Russia, Magnitogorsk  
pishnograeva@mail.ru, r.s.pishnograev@gmail.com,  
kras.technoap@gmail.com*

## **Abstract**

In this article information about mathematical methods of continuous caster mold thermocouples values processing, used in longitudinal crack early detection system, is presented.

**Key words:** continuous caster, mold, crack, interpolation.

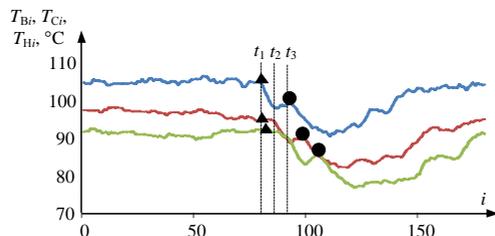
## ***Актуальность работы***

В настоящее время для машины непрерывного литья заготовок №6 (МНЛЗ) кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» максимальная удельная доля дефектов непрерывнолитых заготовок приходится на продольные трещины в корочке слитка. Снижение количества заготовок с указанным дефектом позволит снизить себестоимость продукции за счёт снижения затрат на последующую огневую зачистку заготовок и потери металла.

## ***Основные проблемы и решения***

С целью снижения количества непрерывнолитых заготовок с дефектом «продольная трещина» в 2012-2013 годах была разработана, апробирована в условиях МНЛЗ №6 ОАО «ММК» и внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию система раннего детектирования продольных трещин в корочке слитка. Данная система выполняет опрос термопар, встроенных в медные стенки кристаллизатора, и по характерному изменению их показаний делает вывод о процессе зарождения продольной трещины в теле отливаемой заготовки [1].

В результате анализа работы алгоритма детектирования продольных трещин по архивным данным показаний термопар установлено, что в некоторых случаях генерации сигнала не происходит. Причинами отсутствия сигнала являются: 1) наличие кратковременных увеличений показаний термопар на фоне характерного локального захлаживания; 2) неисправность (неадекватные показания) термодатчиков.



$T_{Br}$  – термопара верхнего слоя,  $T_{Cr}$  – термопара среднего слоя,  $T_{Hr}$  – термопара нижнего слоя,  $i$  – номер посылки в буфере

Рис. 1. Графики изменения показаний термодатчиков 10-го столбца координатной сетки кристаллизатора

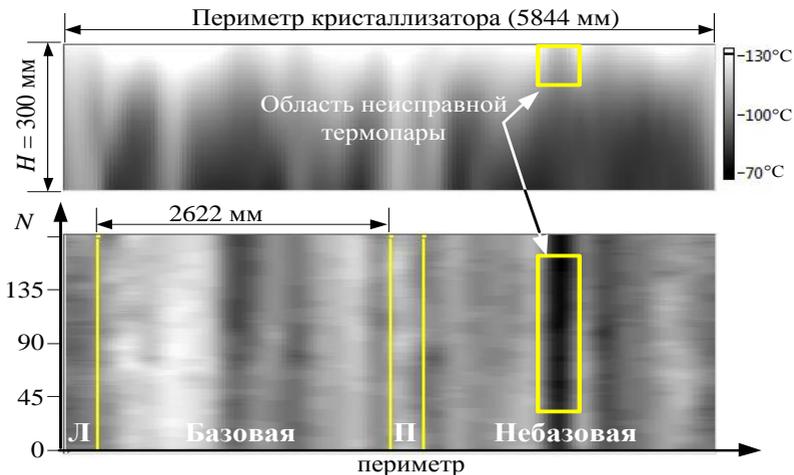
Одним из условий генерации предупреждающего сигнала в алгоритме системы является наличие характерного локального захлаживания в показаниях термодатчиков. При этом детектирование захлаживания определяется по разнице между текущими показаниями  $T_i$  и значениями последних локальных максимумов  $T_{max}$  и минимумов  $T_{min}$  в диагностическом буфере в 180 посылок. На рис. 1 представлены временные диаграммы изменения показаний десятого столбца термодатчиков в момент образования продольной трещины. Из рис. 1 следует, что в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  начались снижения показаний термодатчиков верхнего, среднего и нижнего слоёв соответственно. При этом алгоритм системы рассчитывает разницу текущих показаний термодатчиков от локальных максимумов, обозначенных на рис. 1 треугольными маркерами. Затем в показаниях термодатчиков в результате кратковременного увеличения показаний формируются новые локальные максимумы, обозначенные круглыми маркерами. В этом случае алгоритм системы начинает рассчитывать разницы между текущими показаниями и вновь образованными максимумами. Это приводит к тому, что система не обнаруживает весь процесс локального захлаживания и рассчитанные снижения показаний термодатчиков не достигают пороговых значений, необходимых для генерации предупреждающего сигнала.

Для исключения подобных ситуаций было предложено в программе алгоритма детектирования продольных трещин выполнять предварительную фильтрацию показаний термодатчиков.

На рис. 2 показан тепловой портрет кристаллизатора и временная развёртка показаний верхнего слоя термодатчиков при разливке стали с неисправной термодатчиком в кристаллизаторе, область которой выделена на рисунке. Неисправность термодатчиков проявляется в отклонениях средних значений их показаний или наличии дрейфа показаний.

В случае, показанном на рис. 2, неисправность термодатчиков выражается в заниженных показаниях температуры. Это приводит к сниже-

нию среднего значения температуры по слою в данной стенке кристаллизатора.



*Л* – левая стенка, *П* – правая стенка, *N* – размер буфера, *H* – высота встройки термопар

*Рис. 2. Тепловой портрет кристаллизатора и временная развёртка показаний верхнего слоя термопар*

Поскольку в алгоритме детектирования продольных трещин необходимым условием генерации сигнала является снижение показаний датчиков относительно среднего значения в слое стенки кристаллизатора, наличие неисправных термопар, занижающих среднее значение температуры по слою, приводит к пропуску дефектов.

Для исключения влияния неисправных термопар на работу алгоритма принято решение заменять показания неисправных термопар интерполированными (прогнозируемыми) значениями.

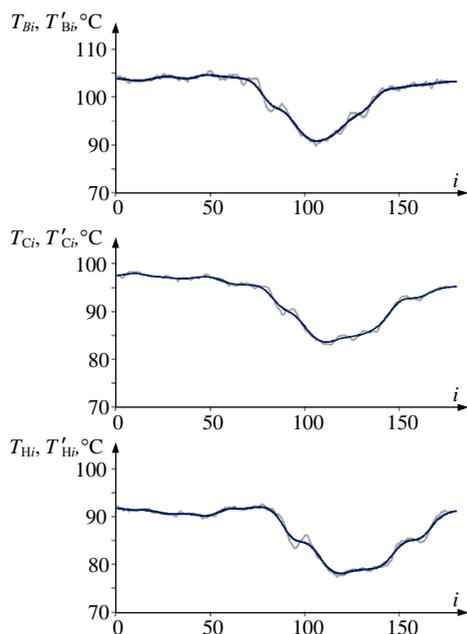
### ***Фильтрация показаний термопар кристаллизатора в алгоритме системы детектирования продольных трещин***

Для фильтрации показаний термопар в системе детектирования продольных трещин применён фильтр Хендерсона на 23 отсчёта.

Данный фильтр относится к симметричным КИХ фильтрам, применяется, в основном, для постобработки информации и реализует функцию

$$Y_i = \sum_{j=0}^{N-1} b_j X_{i-j},$$

где  $Y$  – массив фильтрованных значений показаний термопары,  $X$  – массив исходных показаний термопары,  $N$  – глубина окна фильтра,  $i, j$  – индексы элементов массивов,  $b$  – массив коэффициентов фильтра.



$T$  – исходные показания термопар;  $T'$  – результат обработки показаний термопар фильтром;  $B$  – верхний слой,  $C$  – средний слой,  $H$  – нижний слой,  
 $i$  – номер посылки в буфере

Рис. 3. Результат фильтрации показаний термопар кристаллизатора МНЛЗ №6

Преимуществами данного фильтра являются: однозначность формы фильтрованного сигнала для момента времени вне зависимости от момента инициализации фильтра; малый сдвиг по фазе между фильтрованным сигналом и реальными показаниями (т.е. практическое отсутствие задержки генерации сигнала, обусловленной процессом фильтрации); простота реализации. Выбор длины окна фильтра ( $N=23$ ) определён эмпирически на основании анализа имеющихся архивов показаний термопар из условия сглаживания локальных экстремумов, аналогичных приведённым на рис. 1. Результат применения данного фильтра к показаниям термопар рис. 1 приведён на рис. 3 [2, 3].

**Замена показаний неисправных термопар прогнозируемыми значениями в алгоритме системы детектирования продольных трещин**

В работе [4] приведена информация о применении двумерной бигармонической сплайновой интерполяции для решения задачи замены показаний неисправных термопар прогнозируемыми значениями. В статье показано, что такая замена эффективна и позволяет с достаточной точностью воспроизводить распределение температуры по медной стенке кристаллизатора при исключении неисправных датчиков. На основании исследований, приведённых в [4], принято решение в системе детектирования продольных трещин применить аналогичный метод расчёта прогнозируемых значений неисправных термопар [4].

Также в [4] указано, что в условиях МНЛЗ №1-4 ОАО «ММК» применялся расчёт интерполянта на треугольных конечных элементах, полученных в результате триангуляции в соответствии с условием Делоне. Необходимость применения подобного алгоритма была обусловлена нерегулярной сеткой координат монтажа термопар в кристаллизаторе. На кристаллизаторах МНЛЗ №6 ОАО «ММК» монтаж термопар в медные стенки выполняется по регулярной координатной сетке. Это позволило существенно упростить процедуру интерполяции и воспользоваться стандартными функциями среды разработки LabView 2012 [2, 3].

### ***Выводы***

На основании анализа архивных данных и работы системы раннего детектирования продольных трещин в теле отливаемой заготовки обусловлена необходимость модернизации алгоритма системы. Предложено выполнять фильтрацию показаний термопар, поступающих в алгоритм системы, и заменять показания неисправных термопар интерполированными значениями. В качестве фильтра, используемого в системе, выбран фильтр Хендерсона на 23 отсчёта. Для расчёта интерполированных значений применён алгоритм расчёта бигармонической сплайновой интерполяции на регулярных сетках. Предложенные решения внедрены в действующую систему раннего детектирования продольных трещин, находящуюся в опытно-промышленной эксплуатации.

### ***Список литературы***

1. Апет А.А., Обухов С.А., Сафиуллина Д.Ф., Гусев А.А., Шестаков П.А.. Разработка системы автоматической диагностики продольной трещины слитка в кристаллизаторе // Электротехнические системы и комплексы – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012.- С.390-394.
2. Henderson, R. (1916). Note on Graduation by Adjusted Average. Transactions of the American Society of Actuaries, 17, 43-48.

3. Ni.com/LabView. Официальный сайт компании National Instruments по среде разработки LabView. – Режим доступа: <http://russia.ni.com/labview>, свободный. – Загл. с экрана.

4. Лукьянов С.И., Пишнограев Р.С., Красильников С.С. Применение двумерной интерполяции в задачах теплового мониторинга процесса первичной кристаллизации слитка на МНЛЗ // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. – Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Ч. II. – С. 61-67.

УДК 681.518.5

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ШЛАКА В СТРУЕ ПРИ ВЫПУСКЕ МЕТАЛЛА ИЗ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА**

*С.А. Обухов, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын, Р.С. Пишнограев,  
С.С. Красильников*

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
[technoapmag@mail.ru](mailto:technoapmag@mail.ru)*

### **Аннотация**

В статье предложена функциональная схема системы детектирования шлака в струе при выпуске металла из кислородного конвертера. Рассмотрены основные технические возможности указанной системы.

**Ключевые слова:** кислородный конвертер, детектирование шлака, выпуск металла, инфракрасная камера.

## **STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT OF THE DETECTION SYSTEM OF THE SLAG IN THE STREAM WITH THE RELEASE OF METAL FROM THE BOF**

*S.A. Obukhov, S.I. Lukyanov, E.S. Suspitsin, R.S. Pishnograev,  
S.S. Krasilnikov*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University  
Russia, Magnitogorsk  
[technoapmag@mail.ru](mailto:technoapmag@mail.ru)*

### **Abstract**

The paper proposes a functional diagram of the detection system of the slag