

*A scheme for splitting the checkerwork into a smaller region suitable for economic calculation is presented, but one that does not distort the physical meaning. Thermophysical parameters of the heat carrier and checkerwork material are determined. Further, the mathematical description in the differential equations of the physical processes occurring in the hot blast stove checkerwork in "on-gas" and "on-blast" periods.*

*A block diagram of the software for the system of information support and control of a group of hot blast stoves was developed, including temperature control, calculation of combustion, calculation of checkerwork, calculation of parameters of blast. The scheme is focused on the operation of the heater in three periods, namely, "on-gas", "on-blast" and "on-separation".*

*The described methods of interaction of individual software components of the system, the structure of the group management program with a detailed description of the individual components of this program.*

*The block diagram of the program for simulating the operation of the hot blast stove group of a blast furnace is given, the subroutines included in it, their input data, basic ideas of functioning under various operating modes of an hot blast stove are described.*

*At the end of the article, the main conclusions are presented.*

**Keywords:** *hot blast stove, checkerwork, thermophysical properties, coolant, Navier-Stokes equations, difference scheme, locally one-dimensional scheme, sweep method.*

Рецензент: доц., канд. техн. наук Кравченко В.П.

Статья поступила 12.11.2019.

**УДК [669.189:621.746.047+62.71]:681.51**

**Койфман А.А., Грос А.А., Сушок О.О.**

## **УПРАВЛЕНИЕ ЗОНОЙ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНО ЛИТОГО СЛИТКА МНЛЗ**

*Выделено четыре основных подхода, применяемых при управлении тепловым режимом зоны вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок: регулирование соотношения «скорость разлива – расход охлаждающей воды», управление вторичным охлаждением на основании температур поверхности слитка перед входом в ЗВО и на ее выходе, регулирование температуры слитка в каждой секции на основании текущего значения температуры слитка в секции, использование математических моделей в динамическом управлении ЗВО. Управление процессом охлаждения слитка в зоне вторичного охлаждения с учетом процесса его кристаллизации в реальном времени путем расчета параметров кристаллизации и количества воды на секции является перспективным направлением. Данный подход позволяет оптимизировать расход воды на зону вторичного охлаждения при его оптимальном распределении по поверхности заготовки.*

*Разработан алгоритм расчета заданных значений расходов воды и воздуха в зависимости от кристаллизации заготовки, которые передаются в систему автоматического управления зоной вторичного охлаждения. На основании предложенного алгоритма разработано программное обеспечение в среде объектно-ориентированного программирования, позволяющее учитывать текущее тепловое состояние зоны вторичного охлаждения. В реальном времени в программу передаются текущие значения скорости вытягивания заготовки, температура поверхности заготовки перед ЗВО, уровень металла в кристаллизаторе. Значения статических коэффициентов можно изменять в определенных*

пределах. Для проверки правильности результатов расчетов в программу были введены значения, соответствующие реальным производственным данным.

**Ключевые слова:** Зона вторичного охлаждения, система автоматического управления, МНЛЗ, слиток, кристаллизация, затвердевание, водовоздушная смесь, алгоритм, блок-схема

## **Постановка проблемы**

Обеспечение равномерного охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является важной задачей, обеспечивающей качество производимой продукции. Отвод тепла от поверхности заготовки в ЗВО производится посредством форсунок, через которые подается охладитель. В связи с тем, что плотность орошения в значительной степени влияет на теплопередачу, одним из решающих факторов эффективности охлаждения становится распределение охладителя по поверхности заготовки.

АСУТП предназначается для контроля и управления процессом разлива стали в слябы. Определение расходов охладителя по секциям ЗВО в зависимости от процесса кристаллизации слитка позволит обеспечить оптимальные температурные режимы снаружи и внутри охлаждаемой заготовки.

## **Анализ последних достижений и публикаций**

Широко известно применение четырех основных подходов управлением тепловым режимом зоны вторичного охлаждения:

1. Регулирование соотношения «скорость разлива – расход охлаждающей воды» [1, 2]. Каждой зоне ЗВО соответствует конкретный диапазон расхода воды и коэффициента пропорциональности скорости разлива. Каждая из секций имеет регулирование расхода охладителя по программе на основании общего сигнала о скорости разлива. Данный способ имеет существенный недостаток – при нестационарном режиме возможны переохлажденные либо перегретые участки

Авторами [3] предлагается система динамического сопровождения заготовки по температуре, позволяющая регулировать температурный профиль непрерывнолитой заготовки, с возможностью монотонного изменения расходов воды независимо по секциям в соответствии со значениями средней скорости разлива.

2. Управление вторичным охлаждением на основании текущего значения температур поверхности слитка перед входом его в ЗВО (температура после кристаллизатора) и после ЗВО. Так же предусмотрено регулирование по перепаду температур слитка до и после ЗВО [2].

3. Регулирование температуры поверхности непрерывнолитого слитка в каждой секции ЗВО на основании текущего значения температуры слитка в секции [1].

4. Использование математических моделей в динамическом управлении ЗВО

Особый интерес вызывает использование математических моделей, описывающих процессы затвердевания заготовки, в управлении зоной вторичного охлаждения [4-6]. Применение динамической модели системы вторичного охлаждения слитка на МНЛЗ с применением модели «EKSPRESS» [7] позволяющей: в реальном времени отслеживать тепловой профиль заготовки, учитывать текущий скоростной режим, оптимизировать расходы охладителя, обеспечивать быстродействие.

Предлагаемая адаптивная система управления охлаждением заготовок МНЛЗ на основе динамической модели [8], позволяет рассчитывать температуру заготовки по всему объему, для получения заданного температурного поля по всей длине в реальном времени.

Автором [9] пропонується метод управління вторичним охолодженням МНЛЗ з використанням розрахункової оперативної оцінки температурного поля слитка в якості зворотного зв'язу, що дозволить стабілізувати рівень температур в перших зонах ЗВО.

Предложена контрольно-вимірельна система з використанням розробленого авторами вимірельного комплексу і математичного моделювання, заснованого на численному методі кінцевих різниць, для управління вторичним охолодженням заготовки з динамічним визначенням кількості води для кожної зони [10].

Автором [11] розроблена методика прямого контролю в реальному часі коефіцієнтів теплоотдачі від слитка до охолоджуючого агента в ЗВО, заснована на різниці температур хладагента на вході і виході полого охолоджуючого ролика. На основі запропонованої методики розроблена структура системи автоматичного управління тепловим станом ЗВО.

Ведущим виробителем обладнання МНЛЗ SMS-group GmbH (Німеччина) розроблена трехуровнева АСТУП МНЛЗ [12], введена на металургічному комбінаті в г. Дуйсбург, яка дозволяє розраховувати температурний стан заготовки, наростання корки ручья і позицію повної кристалізації, термо-фізичні характеристики сталі на основі дійсних значень хімічного аналізу расплава, а також використовує динамічне управління зоною вторичного охолодження.

### **Цель исследования**

Управління процесом охолодження слитка в зоні вторичного охолодження з урахуванням процесу його кристалізації в реальному часі (в режимі он-лайн) шляхом розрахунку параметрів кристалізації і кількості води на секції і співвідношення вода-повітря.

### **Основной материал исследования**

Об'єктом дослідження є зона вторичного охолодження (ЗВО) машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ) одного з металургічних комбінатів України [13]. ЗВО включає декілька радіальних зон регулювання охладителя: по великому і малому радіусам і по двом торцевим зонам. Використовується система водовоздушного охолодження для підтримання заданого теплового стану ЗВО.

Для підтримання оптимального температурного режиму необхідно неперервно виробити розрахунок охладителя в кожній зоні охолодження для видачі заданих значень витрат в систему автоматичного управління ЗВО. Було розроблено алгоритм розрахунку витрат води на кожну секцію ЗВО з урахуванням кристалізації по довжині заготовки.

За основу взята методика розрахунку параметрів неперервної розливки сталі [14]. Розглянемо блок-схему алгоритму розрахунку більш детально (рис. 1):

#### *Блок 1. Ввод начальных значений параметров.*

На першому етапі вичислення визначаються (ввод або передача з суміжних підпрограм) початкові значення наступних параметрів:

$k_t$  – температурний коефіцієнт, °С/мин;

$h_{кр}$  – робоча (активна) висота кристалізатора, м;

$t_{ликв.}$  – температура ликвідуса, °С;

$t_{окр}$  – температура середовища, °С;

$\varepsilon$  – ступінь чорноти поверхні заготовки;

$v_{об}$  – швидкість руху потоку повітря, подаваного на заготовку, м/с;

$\eta$  – охолоджуючий ефект води, Втч/м<sup>3</sup>;

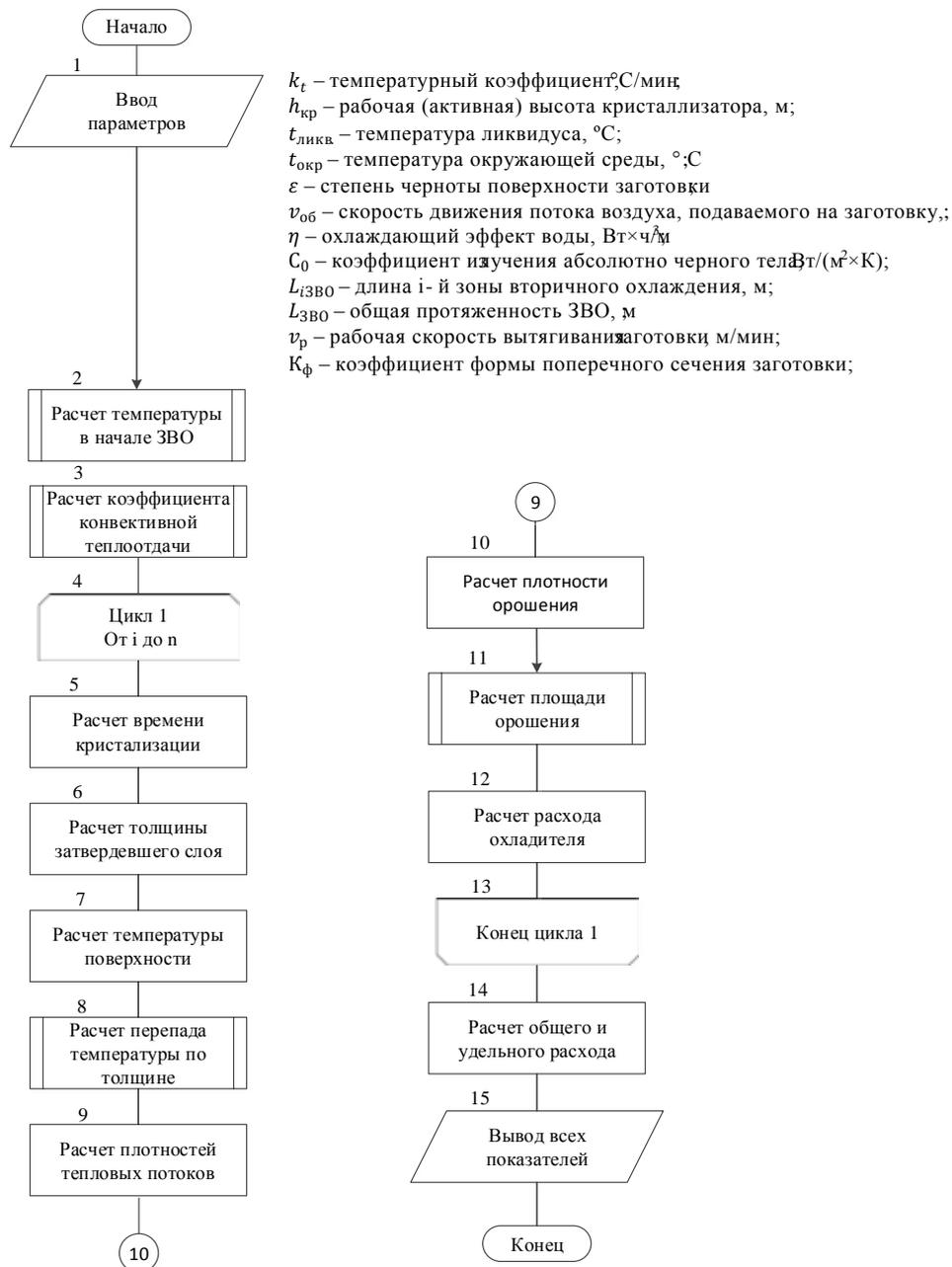


Рисунок 1 – Блок-схема расчета расхода охладителя

$C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$L_{iЗВО}$  – длина  $i$ -й зоны вторичного охлаждения, м;

$L_{ЗВО}$  – длина ЗВО, м;

$v_p$  – рабочая скорость вытягивания заготовки, м/мин;

$K_\phi$  – коэффициент формы поперечного сечения заготовки.

**Блок 2. Расчет температуры в начале ЗВО**

Температура поверхности заготовки в начале ЗВО вычисляется следующим образом:

$$t_{нач} = t_{ликв} - (70 + k_t \frac{h_{кр}}{v_p}). \quad (1)$$

**Блок 3. Расчет коэффициента конвективной теплоотдачи**

## Інформаційні технології

Коэффициент конвективной теплоотдачи от интенсивности обдува поверхности заготовки воздухом определяется по следующей зависимости:

$$\alpha_{\text{конв}} = 6,16 + 4,18 \times v_{\text{об}}. \quad (2)$$

### Блок 4. Цикл 1

Начало цикла вычисления толщины затвердевания и расхода воды и воздуха для каждой из секций ЗВО. Значение  $i$  соответствует текущей секции,  $n$  – количество секций.

### Блок 5. Расчет времени кристаллизации

Определяется значение времени, прошедшего от начала кристаллизации:

$$\tau_3^n = \frac{L_n}{v_p}, \quad (3)$$

где  $L_n$  – расстояние от верха кристаллизатора до середины  $n$ -зоны, м.

### Блок 6. Расчет толщины затвердевшего слоя

Толщина слоя затвердевшего металла определяется для середины в каждой зоне:

$$\xi_i = k \times \sqrt{\frac{\tau_3^i}{K_\phi}}, \quad (4)$$

где  $\tau_3^i$  – продолжительность затвердевания заготовки в середине  $i$ -го участка, мин;  $k$  – коэффициент затвердевания, мм/мин<sup>1/2</sup>.

### Блок 7. Расчет температуры поверхности

Рассчитывается температура поверхности заготовки в середине каждой зоны:

$$t_{\text{пов}i} = t_{\text{нач}} - (t_{\text{нач}} - t_{\text{кЗВО}}) \times \left( \frac{L_{i\text{ЗВО}}^{\text{cp}}}{L_{\text{ЗВО}}} \right)^{\frac{1}{5}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{нач}}$  – температура поверхности по оси верхней грани заготовки в начале ЗВО, °С;  $t_{\text{кЗВО}}$  – температура поверхности по оси верхней грани заготовки в конце ЗВО, °С;  $L_{i\text{ЗВО}}^{\text{cp}}$  – расстояние от начала ЗВО до середины  $i$ -го участка, м.

### Блок 8. Расчет перепада температуры по толщине

Перепад температуры по толщине каждого слоя:

$$\Delta t_i = t_{\text{ликв}} - t_{\text{пов}i}. \quad (6)$$

### Блок 9. Расчет плотностей тепловых потоков

Плотность тепловых потоков состоит их трех составляющих:

1. Тепловой поток от жидкой сердцевины к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла  $Q_{\text{вн}}$  (Вт/м<sup>2</sup>):

$$Q_{\text{вн}} = \lambda \frac{\Delta t_i}{\xi_i}. \quad (7)$$

2. Тепловой поток с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{\text{изл}} = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{t_{\text{пов}i} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{\text{окр}} + 273}{100} \right)^4 \right]. \quad (8)$$

3. Тепловой поток с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha_{\text{конв}} \times (t_{\text{пов}i} - t_{\text{окр}}). \quad (9)$$

### Блок 10. Расчет плотности орошения

Плотность орошения поверхности заготовки водой  $q_{\text{ор}}$  [м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч)]

$$q_{\text{ор}} = \frac{Q_{\text{вн}} - Q_{\text{изл}} - Q_{\text{конв}}}{\eta}. \quad (10)$$

### Блок 11. Расчет площади орошения

Для заготовок прямоугольного сечения площадь орошаемой поверхности определяется следующим образом

$$F_{\text{орі}} = 2(B_i - 2\xi_i)L_{\text{ізво}}, \quad (11)$$

где,  $B_i$  – ширина отливаемой заготовки в середине  $i$ -го участка зоны вторичного охлаждения, м.

**Блок 12. Расчет расхода охладителя**

Расход охладителя рассчитывается по следующему выражению

$$G_{\text{вода}} = q_{\text{ор}} \times F_{\text{орі}}. \quad (12)$$

**Блок 13. Конец цикла 1**

**Блок 14. Расчет общего и удельного расхода**

По всем участкам ЗВО рассчитывается общий  $G_{\text{вт}}$  [м<sup>3</sup>/ч] и удельный  $G_{\text{уд}}$  [м<sup>3</sup>/т] расходы воды и воздуха:

$$G_{\text{вт}} = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (13)$$

$$G_{\text{уд}} = \frac{G_{\text{вт}}}{60 \times q_p}, \quad (14)$$

$G_i$  – расход воды на вторичное охлаждение  $i$ -ой зоны, м<sup>3</sup>/ч;

$q_p$  – рабочая скорость разлива (в ручье), т/мин.

**Блок 15. Вывод всех показателей в цикле в таблицу**

Все полученные значения передаются в систему управления для визуализации.

На основании выше описанного алгоритма (рис. 1) авторами разработано прикладное приложение для расчета расхода охладителя в зависимости степени кристаллизации заготовки (рис. 2)

В таблице выводятся данные, рассчитанные программой. Каждый столбец означает отдельную зону и один из радиусов, большой либо малый.

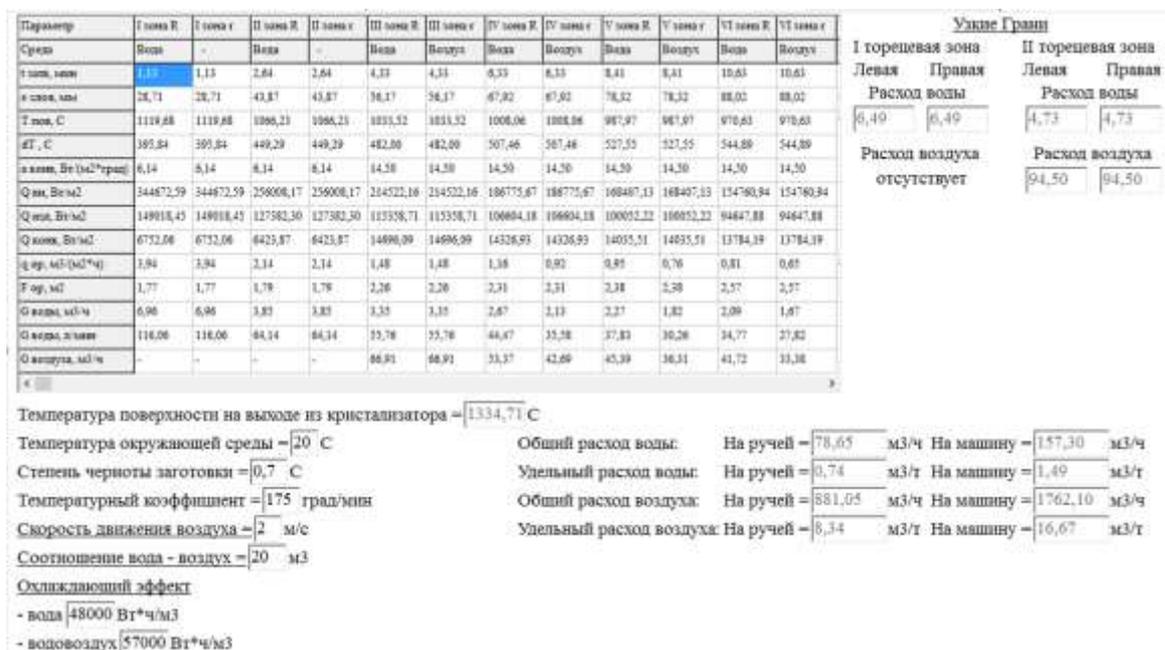


Рисунок 2 – Результаты расчета охладителя

Расход воды для первой торцевой зоны вычисляется по выражению:

$$G_{\text{в1}}^{\text{тор}} = 0,6 \sum_{i=1}^2 G_i. \quad (15)$$

Расход воды для второй торцевой зоны по выражению:

$$G_{B1}^{top} = 0,3 \sum_{i=3}^n G_i. \quad (16)$$

Расход для торцевых зон считается по расходам малого радиуса.

В программе предусмотрена возможность менять значения необходимых параметров, соответствующих условиям текущей разливки. Значения параметров находятся в определенных приделах.

На рис. 3 представлена динамика затвердевания заготовки в зоне вторичного охлаждения по ее длине.

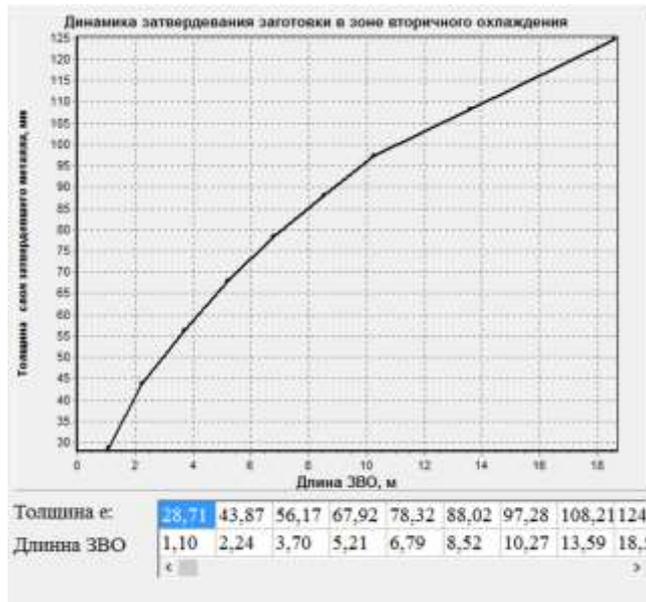


Рисунок 3 – Динамика затвердевания заготовки в ЗВО

На рис.4 в виде графиков представлена динамика изменения расхода воды и воздуха по зонам большого и малого радиусов.

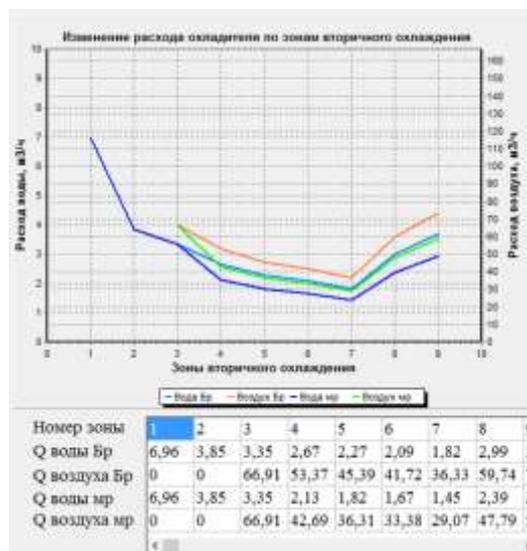


Рисунок 4 – Расчетный расход охладителя по зонам ЗВО

Для проверки правильности результатов расчетов в программу были введены значения, соответствующие реальным производственным данным.

## ВЫВОДЫ

Использование предлагаемой программы для расчета заданных значений расходов воздуха и воды на охлаждение заготовки позволит более оптимально управлять вторичным охлаждением при сопутствующем снижении расхода воды на охлаждении и получении требуемой температуры охлаждаемого слитка на выходе из ЗВО.

### *Список использованных источников*

1. Глишков Г.М. АСУ ТП в черной металлургии. Учебник для вузов. 2-е изд. Переработанное и доп. / Г.М. Глишков, В.А. Маковский // - М.: «Металлургия». – 1999. – 310 с.
2. Бойко В.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в черной металлургии. Учебное пособие / В.И. Бойко, В.А. Смоляк // - Днепропетровск: ДГТУ. – 1997. – 576 с.
3. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали: Учебник / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан// - Донецк: ДонНТУ. – 2011. - 482 с.
4. Процессы непрерывной разливки: Монография / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, Минаев А.А. и др // - Донецк: ДонНТУ. – 2002. – 536 с.
5. Белый В. А. Роль компьютерного моделирования в оптимизации технологических процессов непрерывной разливки стали. Сообщение 1 / В.А. Белый, В.Л. Найдек, С.Ю. Волков и др.// Металл и литье Украины. – 2011. - № 11 (222). – С.32 – 33.
6. Белый В. А. Роль компьютерного моделирования в оптимизации технологических процессов непрерывной разливки стали. Сообщение 2 / В.А. Белый, В.Л. Найдек, С.Ю. Волков и др.// Металл и литье Украины. – 2011. - № 12 (223). – С.11 – 16.
7. Система управления качеством непрерывно литых заготовок / В.Ю. Авдонин, Л.В. Буланов и др. // Сб. трудов конференции и семинаров «Недели металлов». Москва, 14-18 ноябрь 2005. Режим доступа: <http://www.ume.ru/rus/materials/index.shtml>
8. Батраева А.Е. Самонастраивающаяся система оптимального управления температурным полем заготовок МНЛЗ / А.Е. Батраева, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев// Автоматизация в промышленности. – 2009. - №5. С. 18-21.
9. Иванова А.А. Управление режимами вторичного охлаждения МНЛЗ / А.А. Иванова // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. - №4 (14). - С. 17-21.
10. Кузьминов А.Л. Совершенствование системы вторичного охлаждения непрерывнолитой заготовки на основе реальной информации о тепловом состоянии слитка / А.Л. Кузьминов, А.В. Голубев, А.В. Кожевников, Н.А. Щеголев // Металлург. – 2009. - №4. С. 41-44.
11. Салихов К.З. Адаптивная система автоматического управления процессом охлаждения крупного стального слитка в ЗВО МНЛЗ: модели и алгоритмы, автореферат к.т.н., Москва, 2011
12. Горайнов С.А. Технологические ассистенты в системах автоматизации второго уровня МНЛЗ / С.А. Горайнов, А. В. Красильников, М. Райффершайд // 23-я конференция "Литейное дело и металлургия 2015. Беларусь", - Жлобин, 2015. Беларусь
13. Гросс А.А. Недостатки существующей системы управления МНЛЗ №4 «МК «Азовсталь» и основные направления ее модернизации / А. А. Гросс, А. А. Койфман // Университетская наука - 2017 : в 3 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 18-19 мая 2017 г.) / ГВУЗ "ПГТУ". – Мариуполь, 2017. – Т. 2. – С. 217–218.

14. Шаповалов А.Н. Расчет параметров непрерывной разливки стали: Методические указания / А.Н. Шаповалов // – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС». – 2013. – 56с.

**Койфман О.О., Гросс О.А., Сушок О.О.**

## **УПРАВЛІННЯ ЗОНОЮ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОГО ЗЛИТКА МБРЗ**

*Виділено чотири основні підходи, що застосовуються при управлінні тепловим режимом зони вторинного охолодження машини безперервного розливання заготовок: регулювання співвідношення «швидкість розливання - витрата охолоджуючої води», управління вторинним охолодженням на підставі температур поверхні злитка перед входом в ЗВО і на її виході, регулювання температури злитка в кожній секції на підставі поточного значення температури злитка в секції, використання математичних моделей в динамічному управлінні ЗВО. Управління процесом охолодження зливка в зоні вторинного охолодження з урахуванням процесу його кристалізації в реальному часі шляхом розрахунку параметрів кристалізації і кількості води на секції є перспективним напрямком. Даний підхід дозволяє оптимізувати витрати води на зону вторинного охолодження при його оптимальному розподілі по поверхні заготовки.*

*Розроблено алгоритм розрахунку заданих значень витрат води та повітря в залежності від кристалізації заготовки, які передаються в систему автоматичного управління зоною вторинного охолодження. На підставі запропонованого алгоритму розроблено програмне забезпечення в середовищі об'єктно-орієнтованого програмування, що дозволяє враховувати поточний тепловий стан зони вторинного охолодження. В реальному часі в програму передаються поточні значення швидкості витягування заготовки, температура поверхні заготовки перед ЗВО, рівень металу в кристалізаторі. Значення статичних коефіцієнтів можна змінювати в певних межах. Для перевірки правильності результатів розрахунків в програму були введені значення, відповідні реальним виробничим даними.*

**Ключові слова:** зона вторинного охолодження, система автоматичного управління, МБРЗ, злиток, кристалізація, затвердіння, водоповітряна суміш, алгоритм, блок-схема

**Koifman O.O., Hross O.A., Sushok O.O.**

## **MANAGEMENT OF THE SECONDARY COOLING AREA WITH ACCOUNT FOR THE CRYSTALLIZATION PROCESS OF THE CONTINUOUS CAST INGOT OF CC-MACHINE**

*Four main approaches used in controlling the thermal regime of the secondary cooling zone of a continuous casting machine were identified: regulation of the ratio "casting speed - cooling water flow", control of secondary cooling on the basis of the surface temperature of the ingot before entering the SCZ and at its exit, regulation of the temperature of the ingot in each section based on the current value of the temperature of the ingot in the section, the use of mathematical models in a dynamic SCZ control. Controlling the cooling process of the ingot in the secondary cooling zone, taking into account the process of its crystallization in real time by calculating the crystallization parameters and the amount of water in the sections, is a promising area. This approach allows to optimize the water rate in the secondary cooling zone with its optimal distribution on the surface of the ingot.*

*An algorithm for calculating the set values of the water and air flow rates, depending on the crystallization of the ingot, which are transmitted to the automatic control system of the secondary cooling zone has been developed. Based on the proposed algorithm, software that allows to consider the current thermal state of the secondary cooling zone has been developed in an environment of object-oriented programming. In real time, the program receives the current values of the speed of drawing the ingot, the surface temperature of the ingot in front of the SCZ, the metal level in the mold. The values of static coefficients can be changed within certain limits. To verify the correctness of the calculation results, values corresponding to real production data were entered into the program.*

**Keywords:** *secondary cooling zone, automatic control system, continuous casting machine, ingot, crystallization, solidification, water-air mixture, algorithm, flowchart*

Рецензент к.т.н., доцент, Симкин А.И.

Статья поступила 14.11.2019

УДК 669.162.23-25

Койфман О.О., Кулик К.В., Сімкін О.І., Леонов І.О.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ГАРЯЧОГО ДУТТЯ ПО ФУРМАХ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

*У статті розглянуто актуальне питання про автоматичне регулювання розподілу дуття по фурмах доменної печі. Забезпечення рівномірного розподілу дуття по горну печі дозволяє вирівняти нагрів по його окружності, поліпшити розподіл газових потоків в стовпі шихтових матеріалів і повністю використовувати хімічну і теплову енергію газів. Дослідження існуючих систем розподілу дуття показали причини їх непрацездатності. Це викликано тим, що вимірювальне обладнання, регулюючі пристрої та виконавчі механізми не витримують високих температур. Як вирішення проблеми було запропоновано включити в розробку виконавчих механізмів вуглеволокно, що дозволить значно зменшити абразивний знос і підвищити стійкість до високих температур.*

*Була також розроблена система автоматичного регулювання розподілу дуття по кожній фурмі окремо. Витрата дуття в системі вимірюється за допомогою трубок Вентурі методом змінного перепаду. Регулювання в системі відбувається за допомогою посиленого вуглеволокном метеликового клапана, встановленого в рухомому коліні фурменого приладу після трубки Вентурі. У середовищі об'єктно-орієнтованого програмування було розроблено спеціальне програмне забезпечення для контролю процесу розподілу дуття по фурмам, рівномірного його розподілу і перерозподілу між усіма фурмами. Програма має можливість задавати загальні витрати та витрати на окремо взятую фурму.*

*Використання розробленої системи автоматичного розподілу дуття по фурмам дозволить забезпечити рівномірну подачу дуття в горн доменної печі через окремі фурми, що дозволить підняти продуктивність самої печі при зниженні витрати коксу.*

**Ключові слова:** *система автоматичного розподілу дуття, САРД, доменна піч, контроль, регулювання, фурми, дуття, модель, контролер, трубка Вентурі, метеликовий клапан*

### Постановка проблеми

Питанню про розподіл дуття по повітряним фурмам доменної печі в кількісному і якісному планах завжди надавалося велике значення. Актуальною проблемою є наявність нерівномірності в розподілі дуття в фурменій зоні доменній печі. Це перш за все пов'язано з