

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.74.047:658.52:331.103.255

*И.И. Мацко, А.Б. Белявский, О.С. Логунова*

Магнитогорский государственный технический университет

## ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА\*

Современные металлургические предприятия применяют автоматизированные системы управления производством (АСУ П) цехов и в большинстве случаев выполняется независимое управление отдельными цепочками полного цикла производства. Использование обратной связи в АСУ П позволяет управлять внешними воздействиями, передающимися с предыдущих технологических этапов производства. Автоматизированный сбор информации и автоматическая оценка качества повышают адекватность, достоверность, полноту собранной информации.

В работе рассматривается производство непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) в технологической цепочке, начиная от плавки металла в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) и заканчивая непрерывной разливкой на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Предполагается, что все процессы проводятся в соответствии с технологическими инструкциями (ТИ) и стандартами на полупродукты металлургического производства.

На первом этапе исследования проведен комплексный анализ технологической цепочки производства НЛЗ для выявления основных составляющих всех процессов. Технология получения НЛЗ в условиях электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) включает три основных этапа: выплавку стали в ДСП, доводку стали на установке печь-ковш (УПК) и непрерывную разливку на МНЛЗ двух типов, позволяющих получать заготовку квадратного и прямоугольного сечения.

В настоящее время существует устойчивое мнение о том, что макроструктура стали формируется только под воздействием факторов, действующих на НЛЗ в процессе ее охлаждения на МНЛЗ. Основные стадии технологических этапов непрерывной разливки стали согласно ТИ приведены на рис. 1.

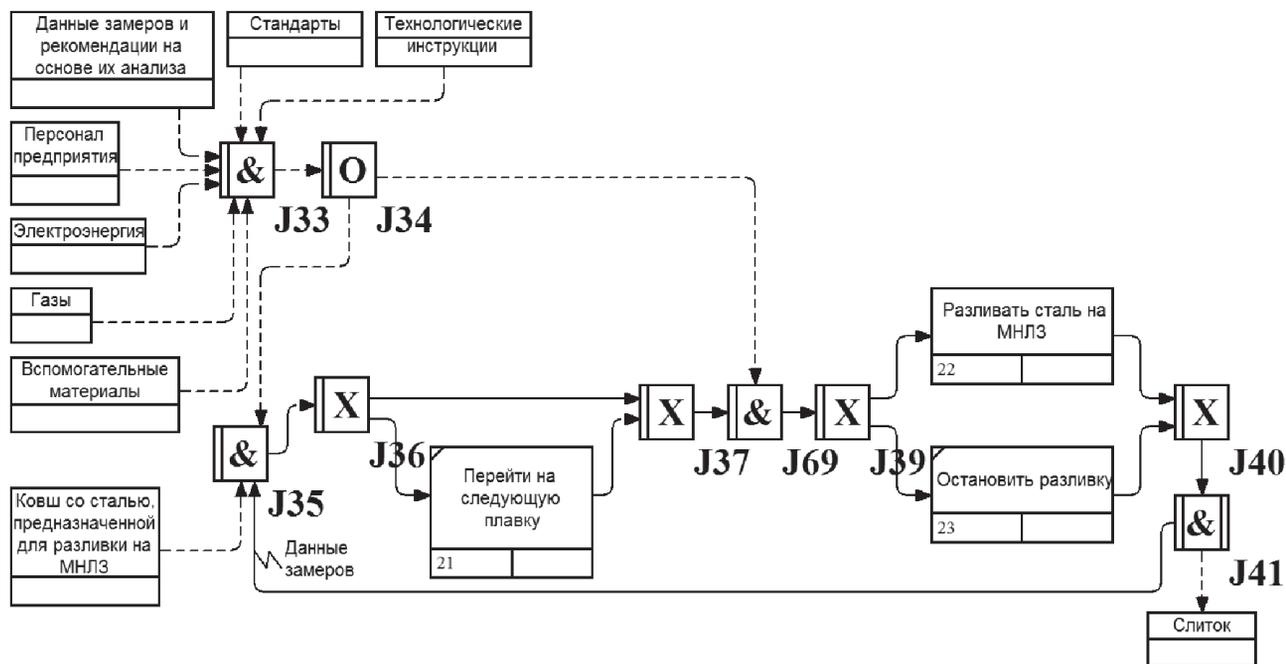
На рис. 1 введены обозначения: J33, J35, J44, J56, J69 – перекрестки асинхронное «И», для перечислен-

ных перекрестков означает, что все предшествующие процессы должны быть завершены; J49 – перекресток асинхронное «И» – все следующие процессы должны быть запущены; J41, J67 – перекрестки синхронное «И» – все следующие процессы запускаются одновременно; J34, J45, J47 – перекрестки асинхронное «ИЛИ» – один или несколько следующих процессов должны быть запущены; J37, J40, J49 – перекрестки, исключаящее «ИЛИ» – только один предшествующий процесс завершен; J36, J39, J46 – перекрестки, исключаящее «ИЛИ» – только один следующий процесс запускается.

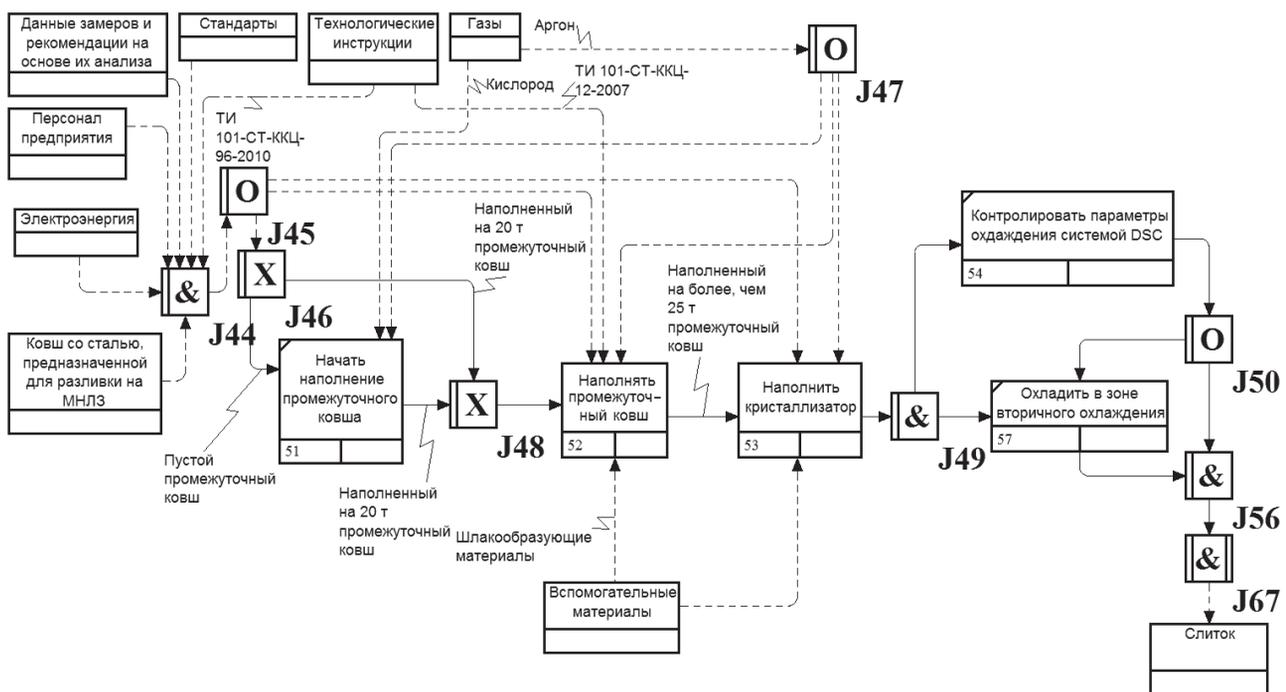
Схемы, приведенные на рис. 1, и метрологическое обеспечение технологического процесса демонстрируют отсутствие обратной информационной и управляющей связи, позволяющей выполнить корректировку технологии в цепочке производства НЛЗ на основе результатов оперативного анализа качества получаемой заготовки. Учитывая, что производство заготовки выполняется серийно и серия может включать до 50 плавок, существует возможность корректировки технологии не только на участке непрерывной разливки, а также на предыдущих этапах.

Согласно принятой технологии в стабильных условиях для рядовых марок сталей отбираются три темплета в серии. При выполнении заказов на высококачественные марки стали или при освоении новых технологий темплеты могут отбираться на каждой второй плавке. Темплеты проходят холодную механическую обработку, затем подвергаются травлению. С протравленного темплета снимают серный отпечаток. В настоящее время оценка макроструктуры заготовок производится на основе стандартов и технологических инструкций [1, 2], которые содержат неформализованное описание каждого вида дефекта. Такое неформальное описание приводит к получению ментального представления [3] о видах и степени развития дефектов (рис. 2, а). Для формализации описания предлагается разбить темплет на зоны, типичные для образования дефектов, и использовать формализованное представление, представленное на рис. 2, б. На основе та-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Правительства Челябинской области и ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



a



b

Рис. 1. Диаграммы декомпозиции технологических процессов:

a – общая диаграмма разливки стали на МНЛЗ; б – диаграмма разливки стали на МНЛЗ от наполнения промежуточного ковша до зоны вторичного охлаждения

кого представления можно определить вид и балл развития дефекта. Например дефект, находящийся в зонах 2 и 3 с размером более 3 мм, определяется как осевая рыхлость с баллом 4.

Изучение описательных характеристик и областей расположения внутренних макродефектов непрерывнолитой заготовки позволило:

- выполнить формализованное описание каждого вида дефектов, учитывающее их форму, геоме-

трические размеры, площадь отдельных видов дефектов и их групп, количество и область расположения дефектов на поверхности темплата;

- построить дерево принятия решений о формировании внутренних макродефектов на каждой стадии технологической цепочки производства непрерывнолитой заготовки, включая единичные и комбинированные множественные воздействия;

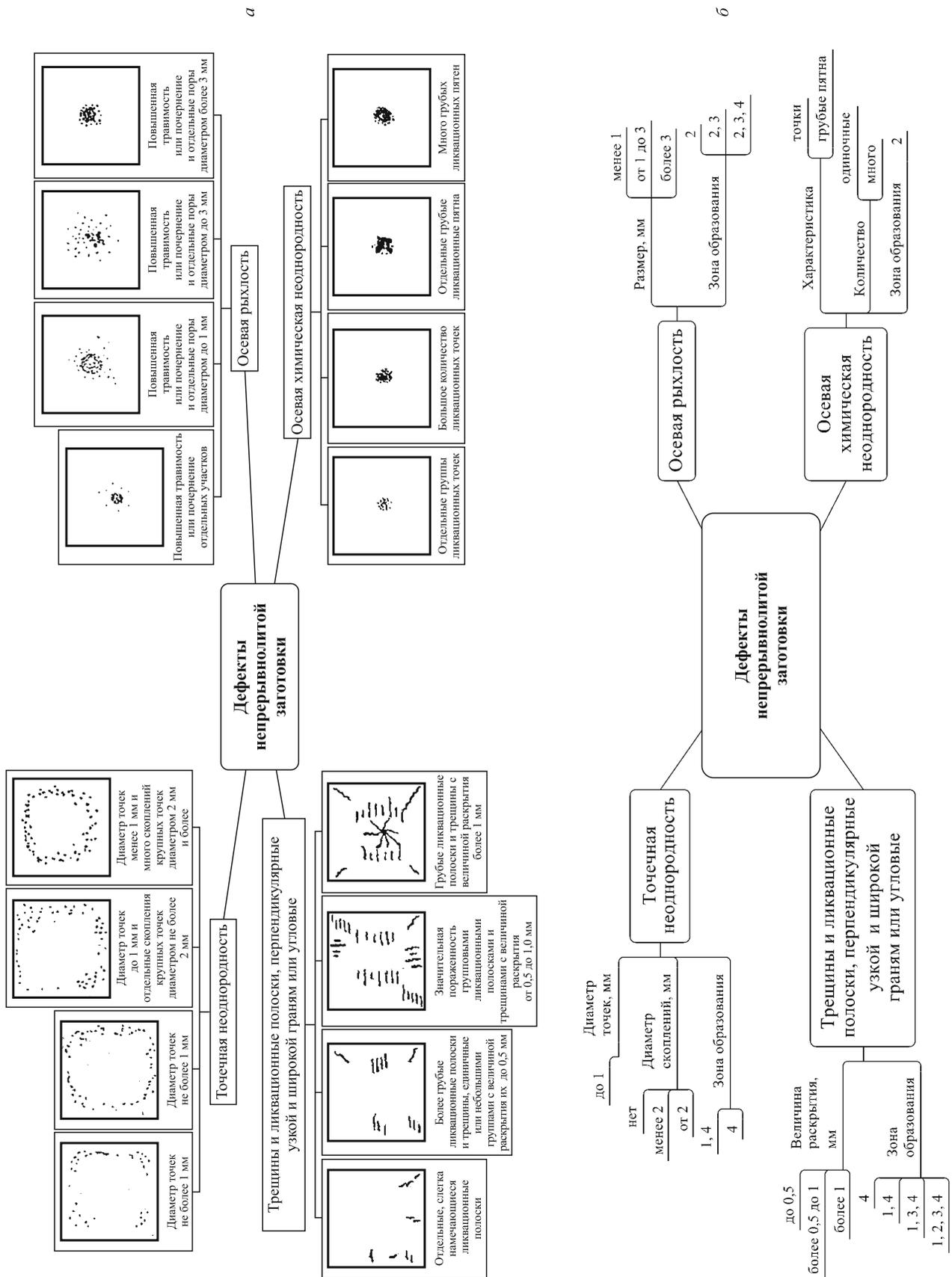


Рис. 2. Металльные модели представления информации о качестве непрерывной заготовки: а – неформализованное описание; б – формализованное описание

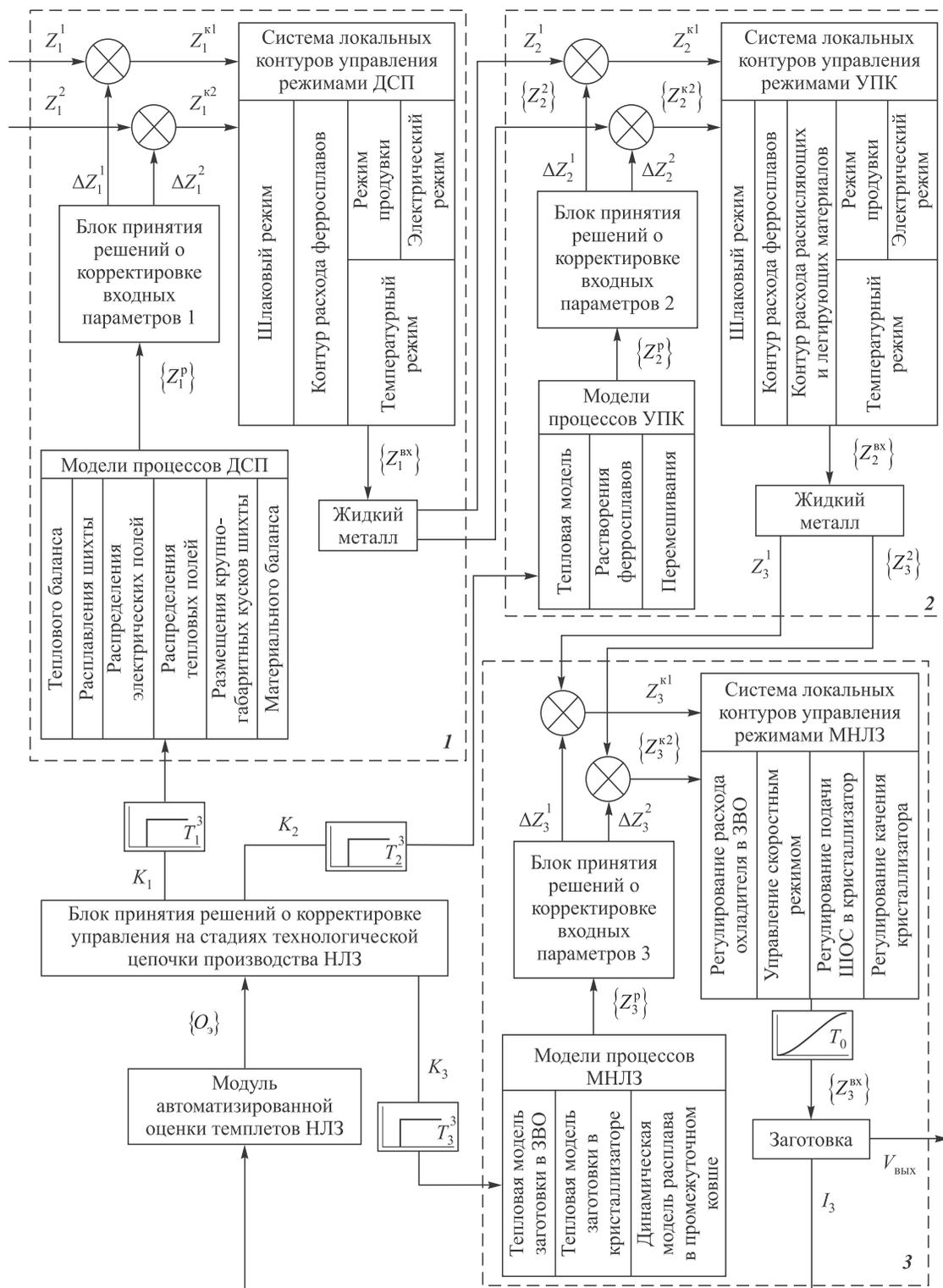


Рис. 3. Схема организации обратной связи в АСУ П на основе программного модуля автоматизированной оценки качества непрерывной заготовки

- выполнить математическое описание каждого вида дефекта [4, 5];
- спроектировать и разработать программный модуль для оценки качества непрерывной заготовки в автоматизированном режиме [6];
- разработать схему интеграции программного модуля в АСУ П технологической цепочки про-

изводства непрерывной заготовки в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» (рис. 3).

В схеме управления используются три блока: 1 – контур управления выплавкой стали в ДСП; 2 – контур управления обработкой металла на УПК; 3 – контур управления непрерывной разливкой стали на МНЛЗ.

На рис. 3 введены обозначения:  $Z_1^1$  – задание ДСП на соотношение массы шихтовых материалов;  $Z_1^2$  – задание ДСП на габаритные размеры металлолома;  $Z_2^1$  – температура металла после выпуска;  $\{Z_2^2\}$  – значение процентного содержания химических элементов марочного содержания после выпуска;  $Z_3^1$  – температура металла после доводки;  $\{Z_3^2\}$  – значение процентного содержания химических элементов марочного содержания после доводки;  $Z_1^{K1}$  – скорректированное задание ДСП на соотношение массы шихтовых материалов;  $Z_1^{K2}$  – скорректированное задание ДСП на габаритные размеры металлолома;  $Z_2^{K1}$  – скорректированное задание УПК по конечной температуре металла;  $Z_2^{K2}$  – скорректированное задание УПК на процентное содержание химических элементов марочного содержания;  $Z_3^{K1}$  – скорректированное задание МНЛЗ на расход охладителя в зонах вторичного охлаждения;  $Z_3^{K2}$  – скорректированное задание МНЛЗ на регулирование состава и расхода шлакообразующей смеси (ШОС) в кристаллизаторе МНЛЗ;  $\{Z_1^{BK}\}$  – расчетные значения режимов локальных контуров управления ДСП (электрический режим, расход ШОС, расход ферросплавов, расход инертных газов, температурный режим);  $\{Z_2^{BK}\}$  – расчетные значения режимов локальных контуров управления УПК (электрический режим, расход ШОС, расход ферросплавов, расход инертных газов, температурный режим, расход раскисляющих и легирующих материалов);  $\{Z_3^{BK}\}$  – расчетные значения режимов локальных контуров управления МНЛЗ (расход воды, скорость вытягивания, расход ШОС, амплитуда и частота качания кристаллизатора);  $V_{\text{вых}}$  – объем выхода годной заготовки;  $I_3$  – образец в виде темплета и (или) его серного отпечатка;  $\{O_3\}$  – оценки макродефектов на поверхности темплета по классам ОСТ 14-4-73 [2];  $K_1$  – указание на корректировку управления ДСП;  $K_2$  – указание на корректировку управления УПК;  $K_3$  – указание на корректировку управления МНЛЗ;  $\{Z_1^p\}$  – значения промоделированных параметров локальных контуров управления ДСП;  $\{Z_2^p\}$  – значения промоделированных параметров локальных контуров управления УПК;  $\{Z_3^p\}$  – значения промоделированных параметров локальных контуров управления МНЛЗ;  $\Delta Z_1^1$  – коррекция задания ДСП на соотношение массы шихтовых материалов;  $\Delta Z_1^2$  – коррекция задания ДСП на габаритные размеры металлолома;  $\Delta Z_2^1$  – коррекция задания УПК на температуру металла;  $\Delta Z_2^2$  – коррекция задания УПК на процентное содержание химических элементов марочного содержания;  $\Delta Z_3^1$  – коррекция задания УПК на охлаждение сляба;  $\Delta Z_3^2$  – коррекция задания УПК на процентное содержание химических элементов в назначаемой марке стали.

В глобальных контурах (1, 2, 3) блок моделей процессов принимает указания на корректировку параметров технологии. С учетом указаний смоделированные параметры передаются блоку принятия решений о корректировке входных параметров. После внесения

корректировок во входные данные локальные контуры выбирают значения управляемых параметров, которыми воздействуют на управляемый объект. В глобальных контурах ДСП и УПК (1, 2) управляемыми объектами является жидкий металл, в МНЛЗ (3) – заготовка. В глобальном контуре управления непрерывной разливкой стали значения управляемых параметров обладают инерционностью, определенной протяженностью МНЛЗ и конструкцией зон вторичного охлаждения. Образец в виде темплета и(или) его серного отпечатка поступает в модуль автоматизированной оценки темплетов НЛЗ. После обработки поступившего изображения модуль передает оценки макродефектов на поверхности темплета блоку принятия решений о корректировке управления на стадиях технологической цепочки производства НЛЗ.

Блок принятия решения формирует указания на корректировку управления, которые передаются с запаздыванием в блоки математических моделей процессов глобальных контуров для расчета физических значений управляемых параметров. Принятое решение передается в каждую подсистему глобального контура с запаздыванием, которое возникает в результате временных интервалов, необходимых для выполнения операций на последующие стадии обработки жидкого металла, заготовки или образца. Каждая система содержит несколько локальных контуров, способных управлять одним параметром по указанному заданию. В настоящее время предлагается множество математических моделей, позволяющих вычислять и оптимизировать параметры управления на каждом этапе технологической цепочки. Эти математические модели составляют основу математического обеспечения глобального и системы локальных контуров управления.

Таким образом, в работе выполнен комплексный анализ технологической цепочки производства непрерывнолитой заготовки на основе нормативных документов, позволивший выявить отсутствие обратной информационной связи в системе управления. Показана возможность и необходимость количественного представления информации о развитии внутренних макродефектов заготовки и использования этой информации для организации обратной связи в системе управления производством непрерывнолитых заготовок в условиях ОАО «ММК». В работе представлен один из вариантов интеграции в АСУ П электросталеплавильного цеха эргатического модуля автоматизированной оценки качества непрерывнолитой заготовки, обеспечивающего информационную и программную поддержку обратной связи в системе управления технологической цепочкой получения готовой продукции. Разрабатываемый модуль автоматизированной оценки качества и его интеграция в АСУ П цеха являются неотъемлемой частью системы планирования и управления производством крупных металлургических пред-

приятий, таких как Магнитогорский, Новолипецкий и Череповецкий металлургические комбинаты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технологическая инструкция ТИ 101-Я-7-2009. Контроль макроструктуры непрерывнолитых слябов производства ОАО «ММК». Отбор, механическая обработка, снятие серных отпечатков и травление темплетов. – Магнитогорск: ОАО «ММК», 2009. – 13 с.
2. Отраслевой стандарт ОСТ 14-4-73. Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки (слитка), полученной методом непрерывной разливки. – М.: Министерство черной металлургии СССР, 1973. – 15 с.
3. Бьюзен Т., Бьюзен Б. Супермышление. – Минск: Попурри, 2007. – 320 с.
4. Мацко И.И., Логунова О.С. // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011. № 3. С. 87 – 92.
5. Логунова О.С., Мацко И.И., Павлов В.В. // Проблемы теории и практики управления. 2011. № 9. С. 51 – 58.
6. Логунова О.С., Макарычев П.П. // Программные продукты и системы. 2008. № 3. С. 79 – 81.

© 2012 г. *И.И. Мацко, А.Б. Белявский, О.С. Логунова*  
Поступила 25 апреля 2012 г.