

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОДУВКИ СТАЛИ В РАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ПРИ ЕЕ ВЫПУСКЕ ИЗ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

**Стародубцев Б. И., аспирант; Цегельник В. А., магистрант;**

**Еронько С. П., зав. каф., д.т.н., проф.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Необходимость снижения энергетических и материальных затрат в сталеплавильном производстве предполагает разработку и практическую реализацию мероприятий, направленных на обеспечение рациональных режимов технологического процесса получения жидкой стали на всех его стадиях, начиная с загрузки шихтовых материалов и заканчивая выпуском расплава в разливочный ковш. Этим обусловлена необходимость поиска технических решений, позволяющих достичь требуемого результата при минимально возможных расходах материалов и энергоносителей. Выполненный сопоставительный анализ различных вариантов реализации технологии выплавки стали в кислородных конвертерах позволил выявить потенциальные возможности обеспечения рационального потребления ресурсов. Как известно, в соответствии с получившей в последнее время распространение технологией производства стали, в кислородных конвертерах получают полупродукт, доведение которого до кондиции готового металла осуществляют на установках ковш-печь, а при необходимости и вакуумной обработки.

При такой технологии производства качественной стали затруднена организация ее серийной разливки, так как суммарная продолжительность внепечной обработки стали (в среднем 107 мин) может значительно превысить длительность ее разливки на МНЛЗ (в среднем 62 мин) [1]. Поэтому целесообразно часть операций рафинирования стали осуществлять во время ее выпуска, используя энергию падающей струи металла, а также одновременно осуществляя продувку расплава в ковше аргоном в дискретном режиме через установленную в его днище пористую пробку. Причем во время продувки расход инертного газа необходимо постепенно увеличивать по закону, учитывающему текущие значения объема перемешиваемой жидкой ванны и массы вводимых в нее твердых реагентов. Тепло-массообменными процессами, которые протекают в ковше при такой схеме выпуска металла из кислородного конвертера, являются нестационарными, поскольку сопровождаются изменением агрегатного состояния присаживаемых материалов, площади контактной поверхности различных фаз и интенсивности движения циркуляционных потоков стали [2]. Поэтому задача обеспечения возможности управления указанными процессами весьма актуальна, а для ее успешного решения необходимы комплексные исследования, основанные на математическом и физическом моделировании. Предметом таких исследований является текущие удельные мощности перемешивания, развиваемые падающей струей металла и потоком инертного газа, вдуваемого через донную пористую пробку в ванну сталеразливочного ковша.

На кафедре механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета предложена автоматизированная система (рис. 1) управления процессом продувки стали в ковше аргоном во время ее выпуска из кислородного конвертера [3]. В ее состав входят смонтированные в опорную часть стенда сталеразливочного ковша месдозы, снабженные тензорезисторными преобразователями, сигнал с которых после усиления поступает на вход АЦП и далее обрабатывается по специальной программе ЭВМ. Программа выдает управляющее воздействие, которое после преобразования ЦАП и усиления передается на привод исполнительного механизма двухмодульного регулировочного клапана. Этот клапан установлен в сети подвешенного

трубопровода, соединяющего фурму донного продувочного устройства ковша с источником инертного газа.

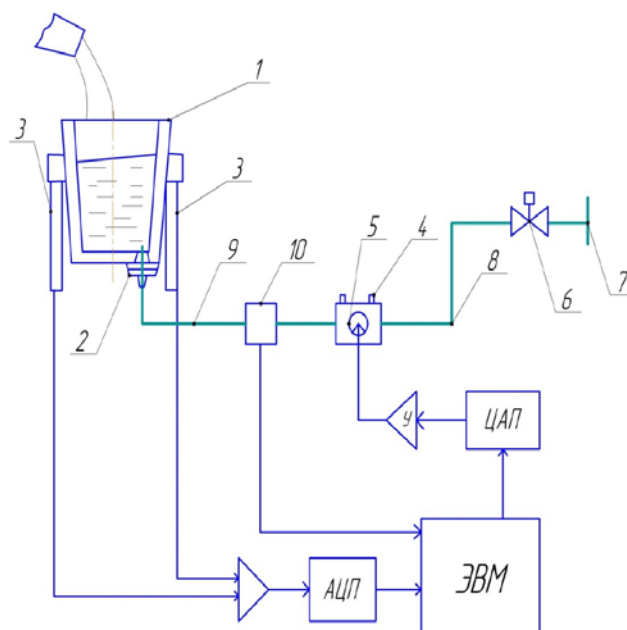


Рисунок 1 – Структурная схема разработанной автоматизированной системы:  
 1 – сталеразливочный ковш; 2 – продувочное устройство; 3 – опорная часть со встроенными тензорезисторными преобразователями; 4 – регулировочный клапан;  
 5 – электропривод клапана; 6 – запорный вентиль; 7 – цеховой трубопровод;  
 8 – расходный трубопровод; 9 – питающий трубопровод; 10 – датчик расхода газа

Управляющая программа разработана на основе математической и физической моделей процесса перемешивания жидкой металлической ванны, протекающего при ее взаимодействии с газовой струей. Продувка стали в ковше с использованием предлагаемой системы управления осуществляется по следующей технологической схеме. Во время подготовки к продувке металла а системный блок ЭВМ оператором с клавиатуры вводится информация о геометрических параметрах футерованной полости разливочного ковша (высота, нижний и верхний диаметры), о температуре стали перед выпуском и давлении газа в сети, а также поступающие с месдоз данные о массе порожнего ковша.

Непосредственно перед открытием сталевыпускного отверстия плавильного агрегата по команде компьютера исполнительный механизм 1-го модуля регулировочного клапана устанавливает его дроссель в положение, при котором интенсивность подачи аргона к продувочному устройству будет минимальной. В момент начала схода стали из конвертера в ковш осуществляется запуск программы. По поступающим с устанавливаемой периодичностью данным о текущем значении массы жидкой стали в ковше по ходу его наполнения рассчитываются соответствующие ей значения глубины перемешиваемой ванны, необходимые для определения расхода газа, обеспечивающего допробойный режим его истечения в расплав. Эта вычислительная операция выполняется с использованием преобразованной формулы Сано:

$$Q_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{H \rho_m d_c^2}{0,18 \rho_r}}$$

здесь  $H$  – текущее значение глубины перемешиваемой ванны;  $\rho_m$  – плотность жидкой стали;  $\rho_r$  – плотность вдуваемого газа;  $d_c$  – диаметр каналов продувочного устройства.

Затем рассчитывается среднее значение скорости циркуляции жидкой стали  $u_{\text{ср}}$  в

объеме перемешиваемой ванны на заданном уровне. По полученным текущим значениям  $u_{cp}$  и  $S_в$  определяется насосная производительность металлического потока  $v = u_{cp} S_в$ , которая затем используется для расчета времени полного перемешивания ванны, занимающей объем  $V$ :

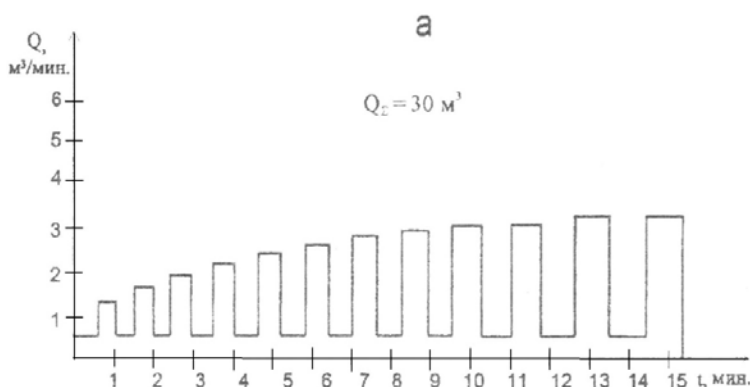
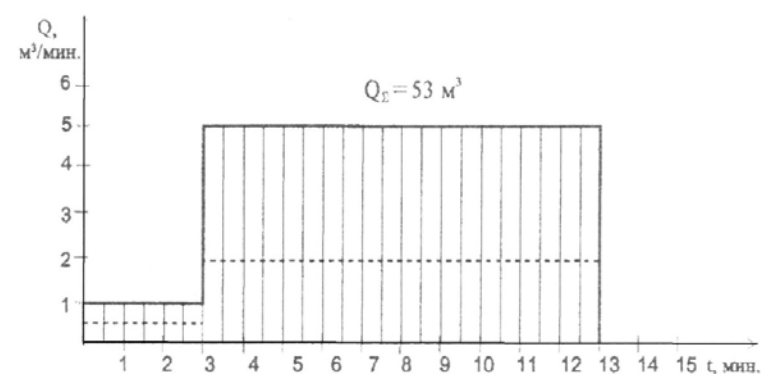
$$\tau_{пер} = k(V/v),$$

где  $k$  – коэффициент рециркуляции, равный 3...5.

Далее по команде компьютера в течение промежутка времени, равного полученному расчетному значению  $\tau_{пер}$ , первый модуль регулятора расхода газа будет переведен в положение максимальной пропускной способности, а второй модуль при этом обеспечивает расход газа, соответствующий допробойному режиму продувки. За время  $\tau_{пер}$  возбуждается циркуляция жидкого металла с максимально возможной скоростью для данного объема ванны, продуваемой с установленным расходом газа.

Затем первый модуль на такое же время переводится в положение минимальной газопропускной способности. При этом происходит торможение циркуляционных потоков расплава, после чего в компьютер вновь поступает информация о новом текущем значении увеличивающейся массы жидкой стали в ковше, и все перечисленные операции по вычислению необходимых параметров процесса продувки повторяются в указанной последовательности.

Благодаря предлагаемой системе автоматизированного управления процессом продувки стали удается резко снизить расход дорогостоящего аргона на обработку металла без ухудшения достигаемых показателей эффективности перемешивания. На рисунке 2 для сравнения приведены графики изменения расхода газа по ходу продувки стали в 250-т ковше по известной технологической схеме (а) и по предлагаемой (б).



б

Рисунок 2 – Графики изменения расхода газа по ходу продувки стали в 250-т ковше:  
а – известная технологическая схема; б – предлагаемая технологическая схема.

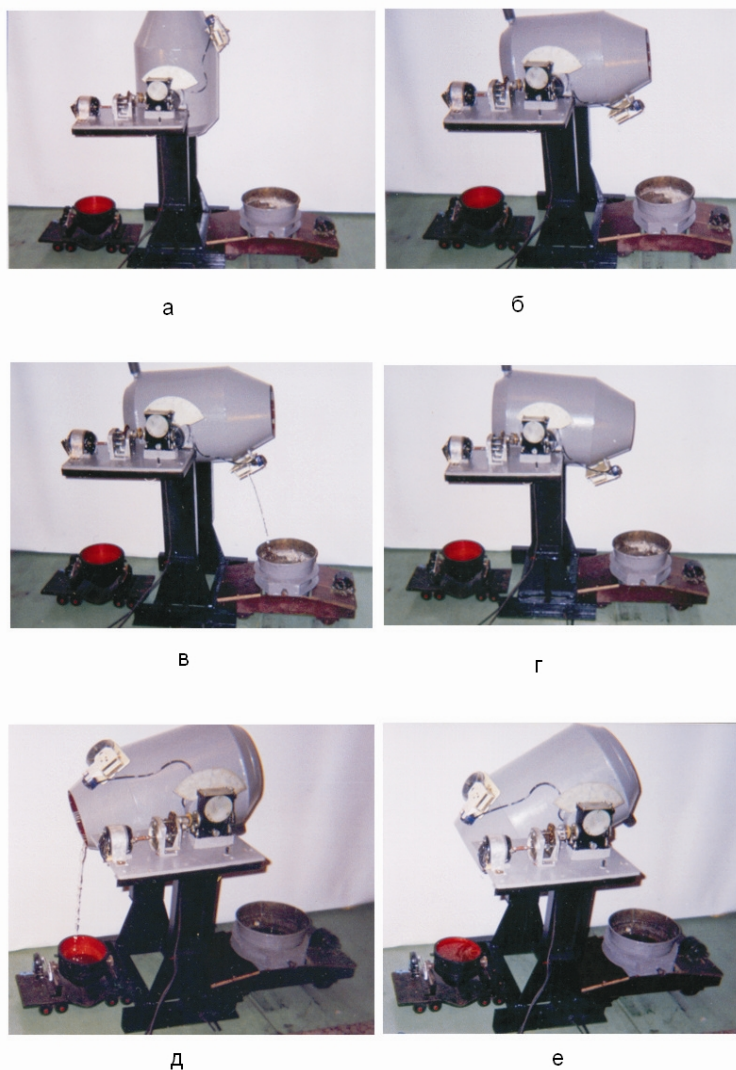
Корректность положений предложенной математической модели процесса перемешивания полупродукта в ковше проверили путем физического моделирования на лабораторной установке, выполненной в масштабе 1 : 20 (фото на рис. 1). Она включала модель 250-т кислородного конвертера, снабженного поворотным затвором для отсечки имитатора конечного шлака во время выпуска имитатора стали в модель разливочного ковша, установленную на модели сталевоза. Для подачи сыпучих материалов в модель ковша служила система вертикального трубопровода, снабженного подающим носком, имеющим возможность поворота в заданном секторе с помощью кривошипно-рычажного механизма. Модель сталеразливочного ковша оборудовали донным продувочным устройством, посредством гибкого трубопровода через ресивер связанным с компрессором. Контроль и регулирование расхода газа осуществляли соответственно с помощью ротаметра и двухмодульного клапана с электрическим приводом. Для непрерывного измерения силы тяжести поступавшей в модель ковша жидкости использовали тензорезисторный преобразователь, вмонтированный в опоры модели сталевоза, и электрически связанный с системой автоматизированного управления работой регулировочного клапана. В состав системы управления входили два усилителя, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), ЭВМ и цифровой аналоговый преобразователь (ЦАП).

Обеспечиваемая степень гомогенизации жидкости, моделирующей расплав, оценивали с помощью химического метода, предполагающего измерение с помощью двух датчиков разности концентраций раствора в контролируемой точке жидкой ванны и в эталонном сосуде.

Во время проводившихся лабораторных исследований моделировали обработку стали в ковше твердыми шлакообразующими смесями (ТШС). Слив имитатора металла (вода) из модели кислородного конвертера проводили с симуляцией двойной отсечки шлака. Удержание первых порций шлакового расплава, моделируемого машинным маслом, в начальный момент наклона модели конвертера обеспечивали перекрытием его выпускного канала с помощью поворотного затвора (рис. 1 б). После открытия затвора и начала истечения модельной жидкости из модели плавильного агрегата (рис. 1 в) в модель разливочного ковша подавали зернистую соль (имитатор ТШС) и начинали продувку жидкой ванны воздухом (имитатор аргона). В момент появления на зеркале жидкости в модели разливочного ковша масляного пятна, осуществляли отсечку конечного шлака перекрытием выпускного канала поворотным затвором (рис. 1 г). Оставшийся имитатор технологического шлака сливали в чашу, поворачивая модель конвертера в обратную сторону (рис. 1 д).

Опыты провели по двум вариантам, предусматривающим реализацию процесса продувки жидкости в модели сталеразливочного ковша с постоянным расходом газа и в дискретном режиме (рис. 2), при котором последовательно осуществляли включение и прекращение подачи воздуха, т.е. обеспечивали чередование разгона и торможения модельной жидкости, благодаря чему возникал значительный градиент скоростей взаимодействующих фаз, способствующий эффективной передаче энергии газового факела жидкостной системе.

После завершения процесса продувки жидкой ванны с помощью химического метода по методике, приведенной в работе [4], контролировали в характерных ее точках концентрацию солевого раствора, образовавшегося в результате растворения в модельной жидкости равномерно подававшегося в заданном объеме порошка  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при двух вариантах проведения донной продувки в модели ковша. Результаты измерений свидетельствовали о том, что обеспечиваемая степень гомогенизации модельных растворов в обоих случаях была одинаковой, однако общий расход газа на ее достижение при дискретной подаче имитатора аргона удавалось снизить в 1,7 – 2 раза в сравнении с вариантом вдувания газа с постоянным расходом.



*Рисунок 3 – Относительное положение комплекса физических моделей оборудования при имитации процесса выпуска стали из кислородного конвертера по новой технологической схеме*

Таким образом с использованием физического моделирования удалось подтвердить возможность снижения энергетических затрат при равномерном вводе ТШС в разливочный ковш во время выпуска стали из кислородного конвертера с одновременной ее продувкой инертным газом в дискретном режиме.

#### Перечень ссылок

1. Сокращение продолжительности внепечной обработки на АКЭС путем десульфурации стали твердошлаковыми смесями / О. К. Токовой [и др.] // *Сталь*. – Москва, 2013. - № 3. – С. 21 – 22.
2. Свяжин, А. А. Перемешивание металла и массообмен при выпуске полупродукта из конвертера / А. А. Свяжин, Э. Крушке // *Металлург*. – Москва, 2005. - № 11. – С. 42 – 44.
3. Особенности построения автоматизированной системы управления процессом продувки стали газами в разливочном ковше / С. П. Еронько [и др.] // *Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах*. – 2000. - № 3. – С. 193 – 195.
4. Моделирование процесса продувки стали в ковше газом в дискретном режиме / С. П. Еронько [и др.] // *Математическое моделирование*. – 2001. - № 1. – С. 31 – 34.