

УДК 669.184.244.66:658.011.56

Синяков Руслан Валерьевич<sup>(1)</sup>, начальник отдела, кандидат технических наук

Харченко Александр Викторович<sup>(2)</sup>, доцент, кандидат технических наук

Личконенко Наталья Владимировна<sup>(2)</sup>, старший преподаватель

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ

<sup>(1)</sup> Технологическая компания Мин Цинь, г. Пекин, КНР

<sup>(2)</sup> Запорожская государственная инженерная академия

На примере проектирования технологического процесса в кислородном конвертере показаны основные функции системы автоматизированного проектирования и ее работа в системе управления от начала плавки до получения полупродукта с заданными параметрами. В работе приведены критерии управления фурмой и вводом материалов. На этой основе достигается оптимальное управление, позволяющее одновременно получить металл и шлак с заданными химическим составом и температурой. Представленная система автоматического проектирования внедрена в составе системы управления кислородно-конвертерной плавкой на заводе «XuanSteel» (КНР).

Ключевые слова: кислородный конвертер, проектирование плавки, кислородная продувка, технология выплавки, моделирование, метод Гиббса

*Введение и состояние вопроса.* Эффективное управление конвертерной плавкой является необходимым условием получения полупродукта для производства качественного металла, имеющего конкурентную стоимость. Для этого необходимы следующие основные элементы:

- наличие цели как результата управления;
- возможность оценки (контроля) текущего состояния процесса;
- способность создания плана перевода системы из текущего состояния в целевое – создание проекта технологического процесса.

Наиболее известным способом контроля является метод химического экспресс-анализа проб металла, отбираемых по ходу процесса, а также замеров температуры. Из-за скоротечности процесса представленный подход заметно удлиняет плавку, что сильно влияет на производительность агрегата. Известным практическим решением данного вопроса является использование дополнительной измерительной фурмы [1], позволяющей оценить содержание углерода в металле и его температуру без остановки продувки. Но из-за дороговизны оборудования и эксплуатационных расходов данный способ рентабелен только для конвертеров большой вместимости. Также существенным недостатком является то, что контроль процесса осуществляется дискретно в нескольких временных точках в конце процесса.

Еще одним методом контроля содержания углерода в металле является использование информации о составе отходящих газов, получаемой с помощью газоанализаторов реального

времени [2]. На этой основе косвенно определяется количество удаленного углерода по ходу плавки.

Также визуально оценивают процесс по виду, интенсивности излучения и высоте пламени над горловиной конвертера. В настоящее время предлагается усовершенствованный метод контроля, основанный на регистрации излучения пламени при помощи фотоэлементов различной конструкции [3]. Предполагается, что таким образом можно оценить содержание углерода в конвертере на завершающей стадии продувки.

Большинство перечисленных вариантов контроля позволяет оценивать только содержание углерода в металле и его температуру, но только на завершающей стадии процесса. На сегодняшний день не существует технологии контроля конвертерной плавки по всем параметрам во всем временном интервале. Кроме того, существующие алгоритмы создания плана управления основаны на шаблонах, в лучшем случае, разработанных для разных групп марок сталей.

Очевидно, что этого недостаточно для эффективного управления конвертерной плавкой в условиях непрерывно изменяющихся параметров процесса.

*Постановка задачи.* В работе поставлена задача обосновать создание системы автоматизированного проектирования кислородно-конвертерной плавки, которая является необходимым условием успешного управления технологическим процессом.

*Методика исследования.* Для выполнения поставленной задачи использовали комплекс методов многопараметрической оптимизации (линейное и динамическое программирование)

процесса плавки стали на основе имитационного термодинамического моделирования системы «металл-шлак-газ» с использованием метода химических потенциалов Гиббса. Имитационное моделирование выполняли с помощью программного комплекса «*DesigningMelt*» [4].

*Результаты исследования.* Чтобы оценить текущее состояние и выполнить проектирование технологического процесса, необходимо иметь модель процесса.

Многокомпонентные стали и расплавы, представляющие интерес для практической металлургии, на языке кибернетики характеризуют как «плохо организованные» или «диффузные» системы, именуемые иногда «черным ящиком». Поэтому в качестве первой ступени исследования используются статистические модели. Хотя эмпирические модели по сравнению с теоретическими гарантируют более быстрое достижение частичных успешных результатов, при сильных колебаниях входных параметров в процессе работы или изменении ситуации конечные данные оказываются хуже.

Теоретические модели короче и информативнее, производят более эффективную свертку информации, применимы к широкому кругу технологий, рассматриваемых как частные случаи. Чем больше доля теоретических уравнений, тем более универсальна модель и выше ее прогностические возможности. Теоретические модели устойчивы по отношению к случайной информации, позволяют делать априорные оценки при полном отсутствии экспериментальных данных. В условиях плохой текущей информации (грубые ошибки, пропуски, выход за пределы типовых режимов и т.д.) они могут лишь несколько снижать качество выдаваемых данных, в то время как статистические модели часто утрачивают работоспособность.

Наиболее работоспособны гибридные модели, в которых в качестве остовы используют теоретическую часть, а привязку к конкретному агрегату выполняют с помощью статистической оценки дополнительных параметров, которые чаще всего являются адаптируемыми.

Для систематизации теоретического материала, относящегося к металлургическим расчетам, использовали работы Дж. Гиббса [5], позволяющие представить весь комплекс методов количественного описания явлений сталеплавильного процесса в виде компактной системы взаимосогласованных алгоритмов и программ. Метод Гиббса позволяет описывать химические процессы в любых системах без предварительного их представления в виде стехиометрических

реакций. Достоинством такого подхода является то, что компонентами любой конденсированной фазы служат химические элементы периодической системы, что позволяет адекватно описывать фазу, не вводя какие-либо предположения о ее молекулярном составе [6].

Определение уравнений энергии Гиббса фаз, а также алгоритмизация и расчеты детально представлены в работах [7,8]. Все алгоритмы и расчеты опираются на термодинамическую модель конденсированной фазы, позволяющую даже без статистической «привязки» решать широкий круг практических задач. Это позволяет выполнять:

- термодинамический расчет равновесия в многокомпонентной гетерогенной системе «металл-шлак-газ»;
- расчет парциальных давлений всех атомарных и молекулярных составляющих газовой фазы;
- интегрированный термодинамический расчет температуры системы на основе энтальпийного теплового баланса;
- вычисление всех интегральных и парциальных термодинамических функций составляющих системы;
- учет теплоты энергоносителей, температуры и агрегатного состояния материалов.

Процессы, протекающие в металлургических агрегатах, зачастую носят неравновесный характер. Метод Гиббса позволяет получить систему автономных дифференциальных кинетических уравнений относительно мольных долей элементов в металле и шлаке, правая часть которых равна движущей силе, действующей на атомы на межфазных границах [9]. Учет макроперемешивания ванны выполняется с использованием понятия «реакционной зоны», введенного авторами [10] на основе принципа квазилокального равновесия. Из этой модели следует, что любой непрерывный процесс можно аппроксимировать набором временных дискретных участков, и, чем короче длительность процесса на каждом выбранном участке, тем ближе аппроксимация к непрерывно описываемому процессу. В данном случае в качестве критерия аппроксимации приняли количество (массу) конденсированной фазы, которое приходит в равновесие за единицу времени.

Для построения проекта плавки во времени использовали принципы проектирования, изложенные в работе [11].

При автоматизации действующего производства в качестве прототипа предварительного проекта составляют «портрет» (среднестатисти-

ческую оценку) существующей технологии, который является точкой отсчета для детального проекта плавки. Это позволяет с самого начала учесть все условия конкретного производства – вид и состояние оборудования, специфику и возможности обеспечивающих служб, квалификацию персонала и т.д. На основе полученной информации выполняют структурный синтез плавки, то есть определяют количество и состав периодов плавки, а также определяют диапазон параметров, в рамках которых система проектирования имеет возможность оптимизировать процесс. В дальнейшем, по мере роста доверия к системам автоматического проектирования технологическим процессом, эти диапазоны можно

увеличивать или вообще снимать ограничения.

Таким образом, среднестатистическая плавка представляет собой базис, относительно которого система проектирует будущий технологический процесс.

Проектирование плавки начинают с получения задания на плавку, включающего:

- марку стали (температуру, массу и химический состав металла на выпуске);
- тип и массу металлозавалки;
- массу, химический состав и температуру чугуна;
- перечень и характеристики используемых устройств.

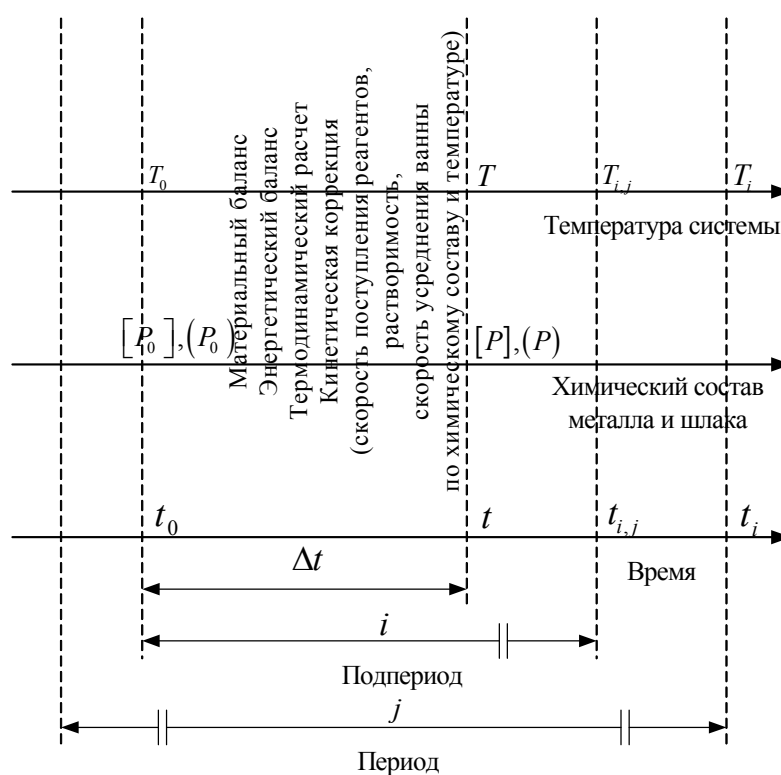


Рисунок 1 – Схема единичного цикла расчета

Используя информацию об используемом технологическом оборудовании, выполняют согласование их режимов работы. На основе данных о каждом периоде и работе каждого устройства последние собирают в единую последовательно-временную структуру, отражающую ход технологического процесса. В результате получают согласованный, но несбалансированный график ведения технологического процесса. Для получения сбалансированного проекта плавки необходимо выполнить имитацию технологического процесса. По полученным управлениям выполняют расчет состояния процесса на каждом шаге и, оценивая выполнение задания на

плавку, корректируют первоначальные управления.

Расчет выполняют согласно графикам ввода материалов и энергоносителей с учетом полного материального и энергетического балансов, термодинамического расчета и кинетической коррекции (скорость поступления реагентов, растворение, скорость усреднения ванны по химическому составу и температуре), имитируют плавку с заранее заданным (достаточно малым) шагом по времени  $\Delta t$ . Шаг расчета не должен превышать 5 сек.

Имитацию плавки выполняют следующим образом (рис. 1).

Пусть в момент времени  $t_0$  химический состав металла и шлака, а также средняя температура системы соответственно были равны  $[P_0]$ ,  $(P_0)$  и  $T_0$ . За интервал времени  $\Delta t$  устройством  $k$  будет введено материалов и энергоносителей  $m^k = \Delta t \cdot q_{i,j}^k$ . На основании этого выполняют расчет текущей температуры системы  $T$  и тем самым определяют количество расплавленного металлолома.

Далее прогнозируют изменение химического состава металла и шлака, их массы на момент времени  $t = t_0 + \Delta t$ . Окончанием расчетов является достижение задания на плавку: масса, температура и химический состав металла к определенному времени выпуска. Для этого выполняют согласование скоростей нагрева металла и окисления примесей.

Изменяя положение фурмы, интенсивность ввода кислорода, моменты, тип и массу вводимых материалов можно добиться согласованности в скоростях окисления примесей и нагрева металла, а также получения металла заданного химического состава и температуры. Например, недостаток окислителя можно компенсировать заменой извести известняком или добавкой руды; перегрев металла можно предупредить вводом охладителя; окисленность шлака можно регулировать положением фурмы и т.д. Как видно, качественная оценка возможных действий не представляет особой сложности, однако при этом следует учитывать влияние вносимых изменений на другие параметры плавки. В частно-

сти, добавка известняка вместо извести требует больших энергетических затрат; присадка руды или агломерата требуют снижения расхода газообразного кислорода, изменение положения фурмы повлияет одновременно на температурный режим плавки, интенсивность перемешивания ванны и окисленность шлака и т.д.

Для количественной оценки необходимо охватить все многообразие изменяемых параметров плавки и различных вариантов. Очевидно, что последних может быть большое количество и выбор оптимального варианта простым перебором является трудоемкой и алгоритмически сложной задачей.

В данной работе предложен метод согласования скоростей нагрева металла и окисления примесей, позволяющий рассчитать оптимальные количества шихтовых материалов и энергоносителей, введение которых в систему дает состав металла и температуру, удовлетворяющие заданным требованиям (ограничениям).

Результатом проектирования является расчетный график (рис. 2) будущей плавки с детальной проработкой режимов работы всех исполнительных механизмов (устройств): положения фурмы по ходу плавки, интенсивности ввода кислорода, интенсивности ввода инертного газа в днище, типа, массы и времени ввода материалов. Оценивается динамика изменения составов и масс металла и шлака, а также средней температуры системы по ходу плавки.

**Таблица 1** – Характеристика отдельных параметров процесса для выделенных временных срезов

№ среза	Время от начала плавки (от начала продувки), мин:с	Контроль данных	
		Параметр	Значение
1	00:05 (-10:55)	Исходные данные на плавку: - химический состав чугуна, %  - масса жидкого чугуна, т - температура жидкого чугуна, °C - масса металлолома, т	[C] 4,95; [Si] 0,43; [Mn] 0,5; [P] 0,12; [S] 0,035;  145; 1320; 10.
2	09:00 (-02:00)	Изменение массы металлолома, т	9,45
3	10:20 (-00:40)	Изменение параметров жидкого чугуна: - химический состав, %  - масса, т - температура, °C	[C] 4,85; [Si] 0,32; [Mn] 0,41; [P] 0,117; [S] 0,037;  141,6; 1284
4	16:40 (05:40)	Изменение параметров кислородной продувки: - флуктуации давления, МПа; - флуктуации интенсивности расхода, м <sup>3</sup> /ч	± 0,05 ± 100
5	21:40 (10:40)	Неточное взвешивание масс материалов по ходу продувки, т	± 0,01
6	27:25 (16:25)	Фактический ход технологического процесса	

Для иллюстрации процесса изменения (пересчета) проекта плавки во времени выделили шесть временных срезов, в которых изменяются отдельные параметры технологического процесса, существенно влияющие на дальнейший ход плавки):

- изменение массы металлолома в завалку;
- изменение массы жидкого чугуна;
- изменение температуры жидкого чугуна;
- изменение химического состава жидкого чугуна;
- перепады давления кислорода в фурме;
- перепады интенсивности расхода кислорода в фурме;
- неточности во взвешивании материалов, вводимых по ходу плавки;

- неточности во времени ввода материалов в конвертер.

Пересчитанный проект управления технологическим процессом для соответствующего временного среза (табл. 1) на 22-й минуте плавки представлен на рис. 2, а соответствующая ему траектория процесса на рис. 3. На рисунках затемненная область представляет собой фактический ход технологического процесса, светлая область – проект плавки.

Проектирование выполняется в течение всей плавки (в каждом периоде) от выпуска до выпуска. Это необходимо для более правильного учета простоев, потерь, количества удаленного шлака и т.д.

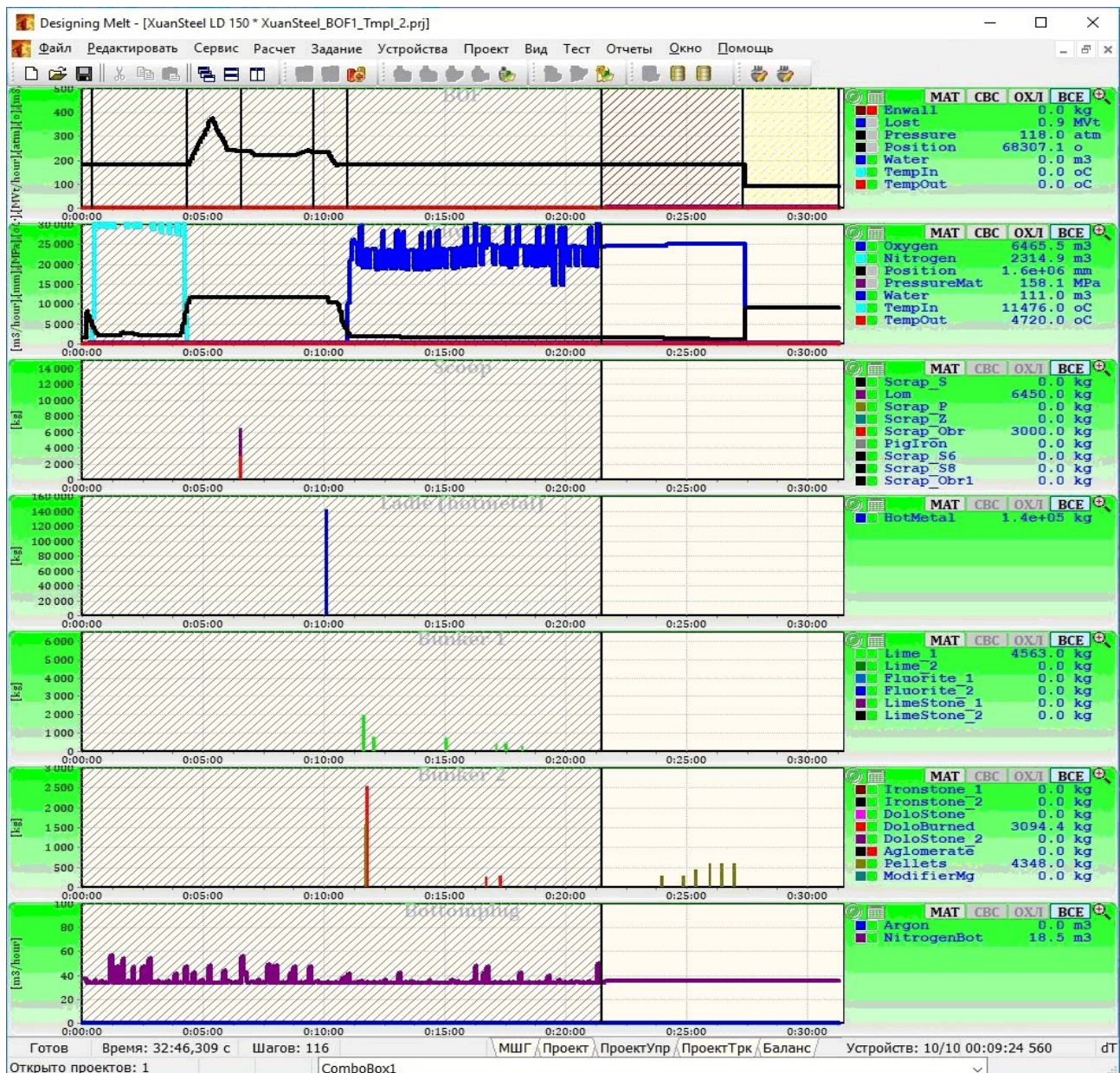


Рисунок 2 – Временной срез процесса на 22-й минуте плавки: управляющие воздействия



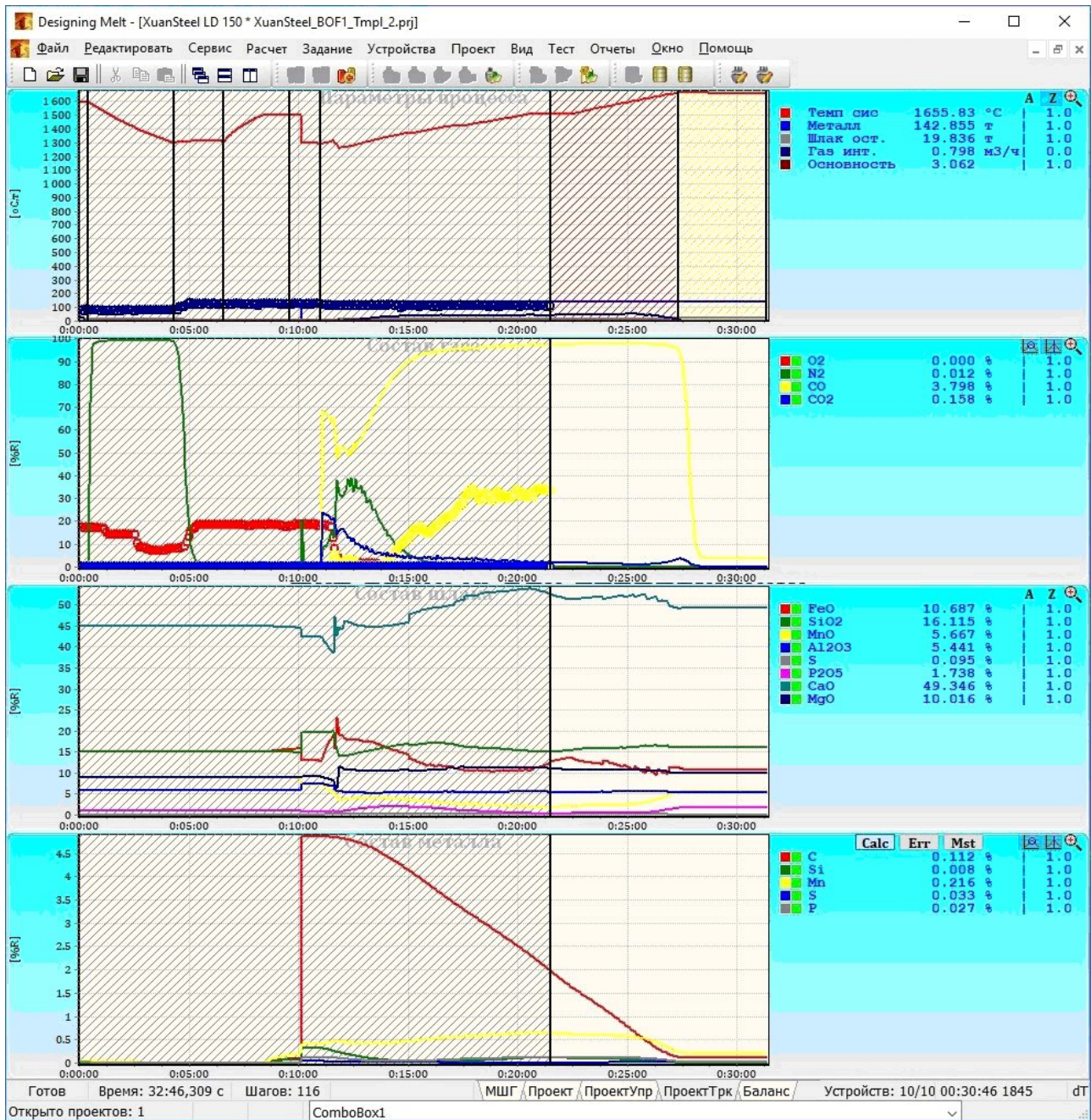


Рисунок 3 – Временной срез процесса на 22-й минуте плавки: – траектория процесса

Визуализация проектирования работы кислородной фурмы представлена на рис. 4. Кислородная продувка условно разбивается на этапы (I-IV), где особым образом регулируются параметры кислородной продувки: положение фурмы и интенсивность расхода или давление кислорода в фурме. Длительности и моменты перехода от одного этапа к другому не являются постоянными и представлены здесь для большей наглядности.

На первом этапе необходимо создать условия для быстрого наведения высокоосновного жидкоподвижного шлака, способного ассимили-

ровать фосфор и серу. Для этого необходимо в первые минуты продувки получить шлак с высоким содержанием оксида железа, в присутствии которого известь растворяется быстрее. По мере удаления кремния из металла и перехода его в шлак и повышения окисленности шлака создаются условия для растворения извести и доломита, а также наводки жидкоподвижного шлака с необходимой основностью. Длительность этого этапа определяется временем работы фурмы, удельным расходом кислорода на тонну завалки. Положение фурмы и интенсивность расхода кислорода определяются исход-

ным химическим составом чугуна, его температурой и массой металлозавалки и чугуна.

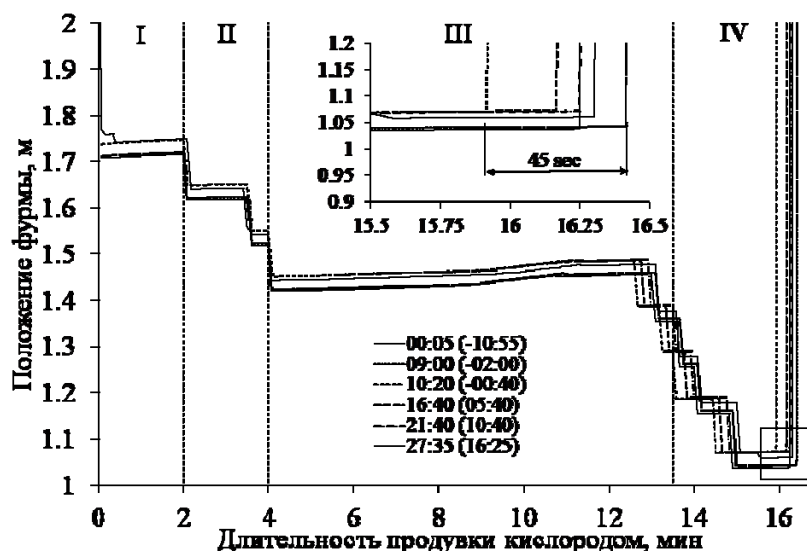


Рисунок 4 – Изменение проектных управлений фурмой по ходу процесса выплавки стали в конвертере

Следующий этап (II) характеризуется окончанием процесса наведения шлака, увеличением интенсивности перемешивания и повышением скорости удаления углерода. На этом этапе выполняется мягкое снижение содержания оксида железа в шлаке до заданных пределов, которые определяются температурой системы, химическим составом шлака и его основностью. Это необходимо для поддержания шлака в жидкоподвижном состоянии и слежении за тем, что бы шлак не переходил в гетерогенное состояние или, наоборот, не переокислялся.

Третий этап определяет основной режим работы, в котором положением фурмы регулируют содержание оксида железа в шлаке, для поддержания необходимых характеристик шлака, а также интенсивность перемешивания и скорость удаления углерода.

На заключительном этапе положение фурмы изменяют по содержанию углерода в металле. По мере снижения содержания углерода в металле снижается газовыделение, что, в свою очередь, понижает интенсивность перемешивания ванны. Для компенсации снижения перемешивающего эффекта от выделения  $CO$  положение фурмы понижают, при этом контролируют содержание оксида железа. Параллельно изменяется интенсивность расхода кислорода по ходу продувки от мягкого к более жесткому режиму.

В зависимости от изменяющихся условий процесса проект плавки претерпевал изменения. По ходу плавки проектный момент времени окончания продувки изменялся в диапазоне 45

секунд. Для рассматриваемых условий выплавки стали в конвертере в течение 45 секунд будет введено  $300 \text{ м}^3$  кислорода, содержание углерода снизится на  $0,17...0,22 \%$ , а температура увеличится на  $18...21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким образом, при статическом управлении плавкой без привлечения автоматизированной системы управления и учета постоянно изменяющихся условий продувки получили бы металл с конечными параметрами с ошибкой, соответствующей 45 секундам.

Проектирование ввода материалов также условно разбито на несколько этапов и привязано к управлению фурмой.

На первом этапе наводят высокоосновный активный шлак. В этот период вводят известь (для получения шлака заданной основности) и обожженный доломит (для получения в шлаке заданного содержания оксида магния), обусловленного растворимостью в шлаке (для снижения растворения футеровки конвертера). Также в это время вводят охладитель (железную руду или агломерат) для ускорения наведения шлака и балансировки теплового режима плавки. На этом этапе вводят  $60...70 \%$  материалов, спроектированных на всю плавку.

На втором и третьем этапе выполняют коррекцию химического состава шлака для поддержания его основных характеристик (окисленности, основности, содержания  $MgO$ ) в заданных пределах.

На заключительном этапе, в основном, осуществляют добавки охладителя (железную руду, агломерат) для регулирования теплового балан-

са плавки и согласования одновременного выхода на заданную температуру и заданное содержание углерода в металле в конце продувки, а

также для поддержания достаточной окисленности шлака и его фосфатной емкости.

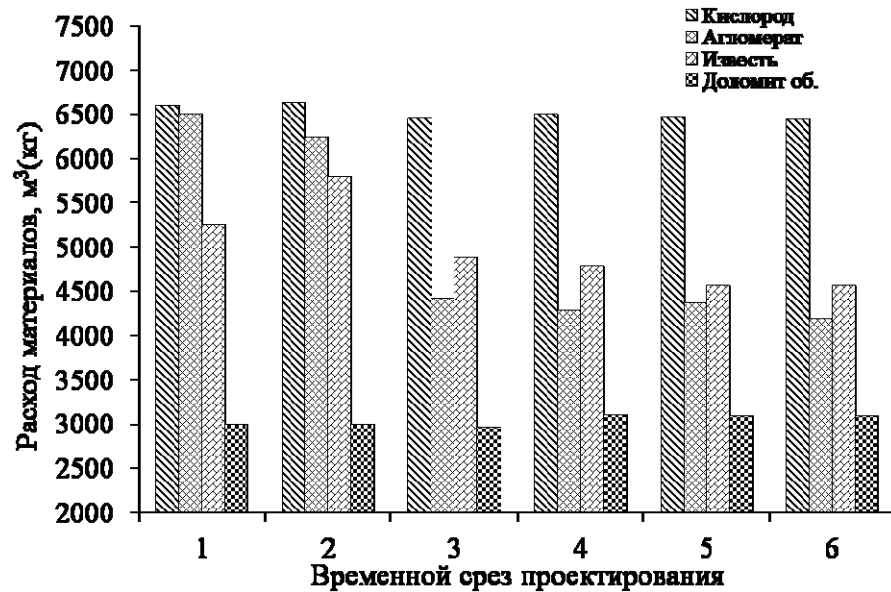


Рисунок 5 – Изменение проектных показателей плавки по ходу процесса выплавки стали

В зависимости от изменения условий процесса моменты ввода и массы соответствующих материалов изменялись. Таким образом, сам проект и окончательные показатели плавки по ходу плавки изменяются (рис. 5). При этом целевые параметры плавки находятся в заданных пределах, что подразумевает одновременное получение заданной температуры металла и выход на заданное содержание углерода.

Возможен случай, когда решение указывает на невозможность в заданных условиях, например, с ограниченными массами шихтовых материалов и т.д., выполнить кислородную продувку за указанное время или получить одновременное попадание в заданные пределы. В такой ситуации будет предложен проект плавки с минимальными отклонениями конечных параметров от

заданных.

Ниже представлены результаты промышленных испытаний системы управления кислородным конвертером на основе проектирования технологического процесса. Была выполнена серия из восьми плавов (№№ 3413-3420), на которых управление фурмой (расход кислорода и ее положение) и материалами полностью выполняли в автоматическом режиме вплоть до поднятия фурмы. На выполненных плавках полностью исключалось влияние человека на управление технологическим процессом.

Исходные химический состав, температура и масса жидкого чугуна, а также количество металллома в завалку изменяли в достаточно широком диапазоне (табл. 2).

Таблица 2 – Исходные параметры плавов

Номер плавки	Жидкий чугун							Температура, °C	Масса, кг	Металлолом Масса, кг
	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti			
3413	4,67	0,34	0,434	0,123	0,037	0,034	0,066	1254	144400	11250
3414	4,69	0,32	0,447	0,121	0,029	0,032	0,073	1289	144900	7750
3415	4,92	0,41	0,502	0,122	0,021	0,028	0,069	1350	143600	11400
3416	4,94	0,32	0,363	0,112	0,037	0,02	0,066	1314	141100	14550
3417	4,84	0,42	0,522	0,125	0,024	0,034	0,082	1338	142900	14350
3418	4,86	0,32	0,413	0,117	0,037	0,029	0,064	1284	141600	9450
3419	4,74	0,31	0,482	0,126	0,033	0,037	0,08	1234	140300	10200
3420	4,83	0,33	0,397	0,114	0,027	0,025	0,06	1241	142300	10700

Каждая плавка была выполнена по индивидуальному режиму. Управления не являются

шаблонными, а определяются в соответствии с текущими условиями плавки.



Анализ результатов испытаний показал, что на каждой плавке были достигнуты конечные целевые показатели как по химическому составу металла и его температуре на выпуске, так и по химическому составу шлака.

Возможность автоматического окончания плавки является следствием достаточной точности прогноза основных параметров технологического процесса:  $\Delta[C] \pm 0,015 \%$ ;  $\Delta(FeO) \pm 2 \%$ ;  $\Delta(MgO) \pm 2 \%$ ;  $\Delta(B) \pm 0,1$ ;  $\Delta T \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Выводы.* Показаны основные функции системы автоматизированного проектирования технологического процесса (САПР) в кислородном конвертере и ее работа в системе управления от начала плавки до получения полупродукта с заданными параметрами.

Разработанная САПР позволяет проектировать управление фурмой (положение, расход ки-

слорода) и отдачей материалов (тип, масса и время ввода). Работа системы основана на строгой модели физико-химических процессов, протекающих в сталеплавильной ванне, что позволяет управлять ходом технологического процесса выплавки стали в автоматическом режиме от старта продувки до поднятия фурмы без вмешательства оператора.

В работе приведены критерии управления фурмой и вводом материалов. На этой основе достигается оптимальное управление, позволяющее получить металл и шлак с заданными химическим составом и температурой. Представленная система автоматизированного проектирования внедрена в составе системы управления конвертерной плавкой на заводе XuanSteel (КНР).

### Библіографічний список

1. **Максимов, П.** Измерительный зонд для автоматического определения параметров плавки в конвертере [Текст] / П. Максимов // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 4. – С. 36-39.
2. **Bathla, R.** Carbon prediction model using the offgas analysis at ArcelorMittal Indiana Harbor No.2 steel producing BOF shop with no bottom blowing and suppressed hood combustion system [Текст] / R. Bathla // Iron and Steel Technology. – 2011. – № 11. – С. 70-77.
3. **Патент № 2292039 Российская Федерация. МПК<sup>8</sup> G 01 N 21/61.** Инфракрасный абсорбционный газоанализатор / Е. Н. Бондарчук, В. А. Сорокин; заявл. 18.02. 2005; опубл. 20.01.2007.
4. **Синяков, Р. В.** Разработка технологии выплавки и внепечной обработки стали с использованием программного комплекса «DesigningMelt» [Текст] / Р. В. Синяков // Современная электрометаллургия. – 2011. – № 2. – С. 34-37.
5. **Гиббс, Дж. В.** Термодинамика. Статистическая механика [Текст] / Дж. В. Гиббс. – М. : Наука. – 1982. – 584 с.
6. **Харченко, А. В.** Применение метода химических потенциалов Гиббса в черной металлургии [Текст] / А. В. Харченко, Р. В. Синяков, Н. В. Личконенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – РВВ ЗДІА, 2017. – Вип. 2(38). – 2017. – С. 20-25.
7. **Харченко, А. В.** Термодинамическое моделирование системы «металл-шлак-газ» с учетом энтальпийного теплового баланса [Текст] / А. В. Харченко // Металл и литье Украины. – 2005. – № 6. – С. 13-17.
8. **Харченко, А. В.** Термодинамическая модель многокомпонентной жидкой шлаковой фазы [Текст] / А. В. Харченко, Р. В. Синяков // Металургія : Наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – РВВ ЗДІА, 2016. – Вип. 2(36). – С. 16-22.
9. **Харченко, А. В.** О кинетике межфазного массопереноса в металлургических агрегатах [Текст] / А. В. Харченко, А. Г. Пономаренко // Металл и литье Украины. – 2002. – № 12. – С. 41-42.
10. **Пономаренко, А. Г.** Термодинамика и кинетика в современных системах управления металлургической плавкой [Текст] / А. Г. Пономаренко, Р. В. Синяков, С. В. Довгонюк, Е. Л. Корзун // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2002. – № 2. – С. 32-35.
11. **Синяков, Р. В.** Разработка элементов системы автоматизированного проектирования технологического процесса выплавки стали в высокоомощной ДСП : дисс. канд. техн. наук: 05.16.02. – Донецк : ДонНТУ. – 2005. – 194 с.

**Синяков Руслан Валерійович**, кандидат технічних наук, начальник відділу, технологічна компанія «Мін Цинь» (Пекін, КНР). E-mail: rvsr@ukr.net.

**Харченко Олександр Вікторович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: odds@i.ua.

**Лічконенко Наталія Володимирівна**, старший викладач кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: nvlichkon75@ukr.net.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ Й УПРАВЛІННЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЮ ПЛАВКОЮ

На прикладі проектування технологічного процесу в кисневому конвертері показано основні функції системи автоматизованого проектування та її робота у системі управління від початку плавки до одержання напівпродукту із заданими параметрами. В роботі наведено критерії управління фурмою та введенням матеріалів. На цій основі досягають оптимального управління, що дозволяє одночасно одержати метал і шлак із заданими хімічним складом і температурою. Подану систему автоматизованого проектування впроваджено у складі системи управління киснево-конвертерною плавкою на заводі «XuanSteel» (КНР).

Ключові слова: кисневий конвертер, проектування плавки, кисневе продування, технологія виплавки, моделювання, метод Гіббса

**Sinyakov Ruslan**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, Ming Xing Technology Company (Beijing, PRC). E-mail: rvsr@ukr.ru.

**Kharchenko Alexander**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: odds@i.ua.

**Lichkonenko Natalia**, Senior Techer, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: nvlichkon75@i.ua.

## AUTOMATED DESIGN AND PROCESS CONTROL FOR BOF

On the example of designing the technological process in the oxygen converter, the basic functions of the computer-aided design system and its operation in the control system from the beginning of melting to the production of a semi-product with a specified parameters are shown. The paper presents criteria for the oxygen lance control as well as for control of the materials input. On this basis, an optimal control is achieved, which makes it possible to obtain metal and slag with a specified chemical composition and temperature. Presented computer-aided design system is implemented as part of the control system for oxygen-converter steel fusion at the «XuanSteel» plant (China).

Key words: oxygen converter, heat design, oxygen blowing, smelting technology, modeling, Gibbs method

Стаття надійшла до редакції 10.10.2018 р.  
Рецензент, д.т.н., проф. Т.В.Критська

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>