

УДК 669.162.24:621.928.2

А.А. ВЕРХОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц.

В.И. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф.

М.А. РЫБАЛЬЧЕНКО, аспирант, асс.

Г.А. ПАПАНОВ, ст. преподаватель

ГВУЗ «Национальная металлургическая академия Украины», ГВУЗ «Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна»

## **ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ОБ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ШЛАКА**

В результате экспериментальных исследований установлена взаимосвязь радиолокационных данных с физико-химическими характеристиками шлака. Показана перспектива применения радиолокационных уровнемеров для контроля уровня расплава и для управления конвертерной плавкой в динамическом режиме на основе этой информации.

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами**

Выплавка стали в кислородных конвертерах представляет собой комплекс сложных, взаимосвязанных физических и химических процессов, происходящих в неоднородных средах. Одной из важнейших задач управления такими процессами является выявление и предотвращение различных нестандартных ситуаций, способных вызвать аварии, ухудшить качество продукции или уменьшить производительность агрегатов. С учетом неоднозначности конвертерного процесса и недостаточности его аналитического описания, можно утверждать, что значительную роль в управлении ими играет человек – оператор. В результате, управляющие воздействия часто носят субъективный характер, а от оператора требуется наличие большого опыта, что усложняет обучение новых кадров. В этих условиях одним из важнейших направлений в диагностировании стадий конвертерной плавки является определение качественных характеристик в ходе технологического процесса.

### **Анализ исследований и публикаций**

Существующие методы и алгоритмы управления сложными технологическими процессами, к числу которых следует отнести и кислородно-конвертерную плавку стали, базируются в основном на представлениях и моделях внутренних механизмов протекающих процессов либо на функциональных зависимостях, отражающих соответствия входных и выходных параметров процессов. Однако, как показывает практика, эффективность математических моделей, основанных на расчёте, например, материально-теплового баланса, обычно не превышает 60-70% по достижению заданных пределов химического состава и температуры стали на момент первой повалки. А вопросы надёжного прогнозирования таких состояний как вспенивание шлака, выносы и переливы шлакогазометаллической эмульсии до сих пор остаются нерешёнными [1].

Протекание технологических процессов в неоднородных средах сопровождается генерацией электромагнитных, акустических, вибрационных сигналов. Эти сигналы и служат исходными данными в системах принятия решений для управления конвертерной плавкой. Перспективным путем разработки алгоритмов диагностирования для таких систем является применение методов машинного обучения, например техники «нечеткой логики». Применение подобных методов позволяет автоматизировать процесс настройки параметров алгоритмов идентификации состояний указанных процессов, а также упрощает адаптацию систем для подобных технологических объектов.

### **Постановка задачи**

Конструкция конвертера и особенности протекания в нем высокотемпературных процессов затрудняют, а зачастую делают невозможным использование методов прямого контроля параметров конвертерной плавки. Это делает крайне актуальной задачу эффективного ведения динамики процессов, протекающих в конвертерной ванне, с целью получения заданного состава, температуры готовой стали и предотвращения тенденций, связанных с выбросами расплава. При высокой скорости протекания процесса продувки и большом объеме текущей информации ручное управление кислородно-конвертерным процессом весьма сложным как

физически, так и психологически. Поэтому, максимальную эффективность динамического контроля и управления конвертерной плавкой сможет обеспечить только привлечение непрямых методов диагностирования и компьютерной обработки информации.

#### **Изложение материала и результаты**

Одним из ключевых параметров конвертерного процесса является изменение уровня металлургического расплава. Получение оперативной информации об этом параметре связано с нестационарностью и агрессивностью среды, физико-химическими свойствами расплава в условиях шлакообразования, интенсивным пылегазовыносом и другими факторами.

Существующие средства измерения и контроля уровня материалов такие как пневмо- и электромеханические, электрические, оптоэлектронные, радиоизотопные, гидростатические, гидро- и газодинамические, акустические (ультразвуковые) и другие имеют ряд серьезных недостатков, связанных с сложностью конструкции, низкой надежностью, абразивным износом, высокой погрешностью измерений, ограниченностью применения в агрессивных средах, защитой измерительных элементов от высоких температур, вибрации, запыленности, а также с высокими капитальными затратами на их внедрение [2]. Большинство из этих недостатков лишены микроволновые уровнемеры (РДУ). Перспективность широкого использования этого принципа при контроле параметров конвертерного процесса определяется его бесконтактностью, быстродействием, устойчивостью к влиянию внешних факторов и экологичностью. Устройства этого типа давно зарекомендовали себя в тяжелых металлургических условиях [3]. Установка радиолокационных датчиков не требует значительных финансовых затрат, а для измерительных элементов разработаны устройства теплоплезащиты, позволяющие разместить их в благоприятных условиях, что обеспечивает высокую надёжность.

Использование РДУ для измерения уровня расплава в кислородных конвертерах позволит организовать динамическое управление конвертерной плавкой. Взаимосвязь и изменение во времени состава, свойств и соотношения металлической, шлаковой и газовой среды во время ведения конвертерной плавки практически не изучены [4]. Свойства шлаков и параметры процесса шлакообразования обычно определяются интуитивно, принимая во внимание косвенные признаки – шум, вибрация, выбросы и т.п.

На основании радиолокационных данных о параметрах конвертерной эмульсии можно утверждать существование их взаимосвязи с физико-химическими характеристиками процесса выплавки стали, в частности такими, как химический состав и свойства шлака. При этом амплитудные характеристики сигнала определяются не только расстоянием до поверхности ванны, но и, в значительной степени, отражательной способностью шлака [5].

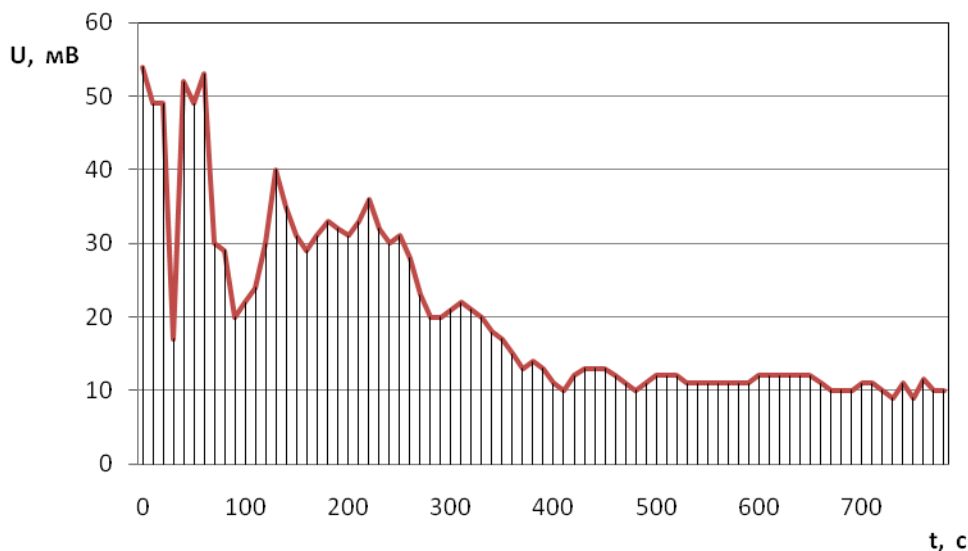
Экспериментальные плавки подтвердили наличие указанных взаимосвязей [3]. Конвертер был оснащен лабораторным комплексом, обеспечивающим измерение и регистрацию радиосигналов для последующей их обработки и анализа. Зондирование конвертерной ванны осуществляли с использованием пассивного переотражателя. Причем продувку не прекращали, а переотражатель располагали непосредственно над конвертером на расстоянии 30...50 мм от фурмы. Обработка радиолокационных сигналов осуществлялась с использованием специальных программ для обработки спектра сигнала.

По ходу плавки через каждые 3...4 мин продувку останавливали и при вертикальном положении (без повалки) конвертера осуществляли радиолокационные измерения ванны, отбор проб металла и шлака, а также замер температуры. На повалке дополнительно отбирали пробы металла и шлака и измеряли температуру расплава. Химический анализ металла и шлака проводили с использованием приборов ДФС-41.

Во время всех плавок наблюдалось интенсивное снижение мощности отраженного сигнала  $U$  при наведении шлака (рис. 1) и появлении шлакометаллической эмульсии.

Последующий анализ изменения мощности отраженного сигнала показал, что в отдельные моменты ее снижение достигает -24 дБ от уровня шумов. Проведенные на пяти плавках сравнительные замеры расстояния метрическими средствами показали, что при спокойной ванне погрешность измерения не превышает  $\pm 0,05$  м. Экспериментально полученные результаты указывают на перспективность применения радиолокационной техники, как для контроля уровня расплава в конвертерной ванне на всех стадиях

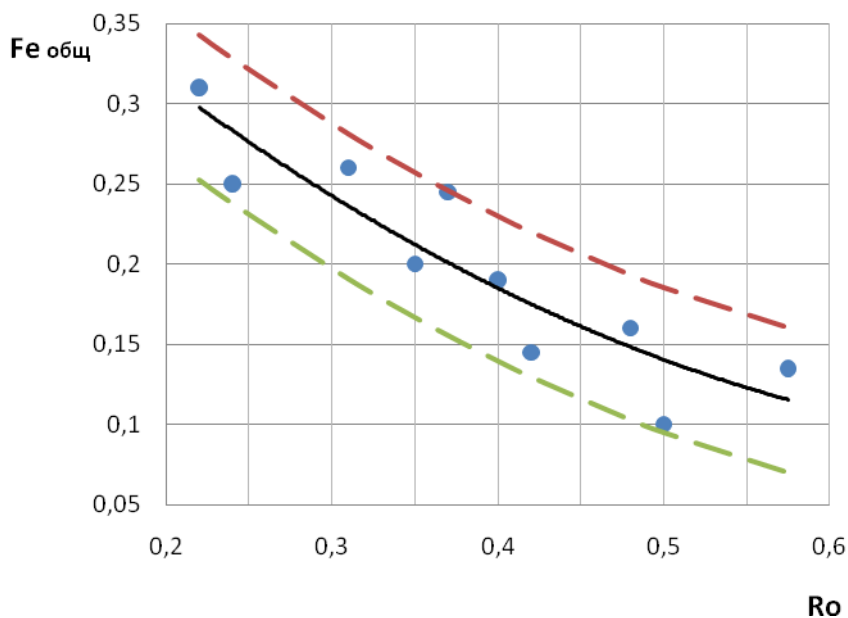
технологического процесса, так и для управления конвертерной плавкой в динамическом режиме на основе этой информации.



**Рис. 1.** Изменение величины отраженного сигнала радара по ходу продувки

Определение взаимосвязи параметров радиолокационного зондирования с характеристиками шлака проводилось по относительной величине отражательной способности  $R_o$  расплава. Физическая суть относительной величины отражательной способности  $R_o$  пропорционально соответствует коэффициенту отражения шлака.

Параметры дутьевого режима были выбраны таким образом, чтобы содержание железа в шлаке увеличивалось от плавки к плавке. При этом сопоставление составов шлака показало наличие взаимосвязи величины  $R_o$  и физико-химических характеристик шлака и, главное, от содержания в нем железа общего  $Fe_{общ}$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость содержания железа общего в шлаке от его отражательной способности

Последнее особенно важно, так как содержание железа в шлаке является тем параметром, который главным образом определяет его свойства и ход технологического процесса [3].

Полученная зависимость с коэффициентом корреляции 0,82 описывается уравнением полиномиальной регрессии второго порядка, что говорит о высокой сходимости результатов.

Установлено, что экспериментальные точки полученной зависимости (рис. 2) лежат в интервале  $\pm 4,5\%$  от значения  $Fe_{\text{общ}}$ , соответствующего указанной линии тренда.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований**

Таким образом, увеличение коэффициента отражения шлака свидетельствует о снижении содержания в нем железа общего и повышает склонность шлаков к вспениванию и выбросам. Физическая природа показателя  $R_o$  также свидетельствует о существовании четкой его взаимосвязи не только с наличием или отсутствием определенных химических составляющих в шлаке, но и с такими свойствами шлаков как вязкость, поверхностное натяжение, температура плавления. Информация об этих особенностях шлака, полученная после обработки радиолокационных сигналов, может стать в дальнейшем основой для создания системы динамического управления конвертерной плавкой, включающей в свой состав обучаемые блоки. В основе работы таких блоков лежит применение методов машинного обучения из области искусственного интеллекта.

Метод обучения по прецедентам представляет собой современный способ автоматизированного построения классификационных и регрессионных моделей. Обучение по прецедентам предполагает наличие обучающей выборки  $\{(x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)\}$  – совокупности прецедентов  $(x_i, y_i)$ ,  $i = (1, 2, \dots, N)$ , где вектор  $x_i$  определяет признаки (атрибуты) объекта, вектор  $y_i$  – значение искомой функции  $f$ :  $y_i = f(x_i)$ . Величину ошибки обучения характеризует функция потерь  $L(y, f(x))$ .

Применение подобных методов позволяет автоматизировать процесс настройки алгоритмов идентификации, упрощает адаптацию прикладных систем для новых технологических объектов [6], снижает требования к обслуживающему персоналу.

#### *Список литературы*

1. **Баптизманский В.И.** Теория кислородно-конвертерного процесса. — М.: Металлургия, 1975. — 376 с.
2. **Бойченко Б.М.** Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія): Підручник / **Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин.** – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
3. **Головко В.І.** Радіолокаційний контроль металургійних процесів / **В.І. Головко, О.М. Кукушкін, М.В. Михайловський та ін.** // Дніпропетровськ: Журфонд, 2010. – 428 с.
4. **Верховская А.А.** Особенности применения микроволнового зондирования уровня конвертерной ванны / **А.А. Верховская, В.И. Головкин** // Наукові праці Запорізької державної інженерної академії «Металургія» № 1 (29). – Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – с. 144-148.
5. **Верховская А.А.** Перспективы применения радиолокационной техники для управления кислородно-конвертерной плавкой / **А.А. Верховская** // Nowe technologie osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej. Seria: Monografie nr 15. – Częstochowa: Politechnika Częstochowska, 2011. – с. 102 – 105.
6. **Воронцов К.В.** Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) / **К.В. Воронцов.** – Москва, 2011. – 141 с.

УДК 669.162.24:621.928.2

**А.О. ВЕРХОВСЬКА**, канд. техн. наук, доц.

**В.І. ГОЛОВКО**, д-р техн. наук, проф.

**М.О. РИБАЛЬЧЕНКО**, аспірант, ас.

**Г.А. ПАПАНОВ**, ст.викладач

ДВНЗ «Національна металургійна академія України», ДВНЗ «Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

### **ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЮ ПЛАВКОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ПРО ВІДБИВНУ ЗДАТНІСТЬ ШЛАКУ**

В результаті експериментальних досліджень встановлений взаємозв'язок радіолокаційних даних з фізико-хімічними характеристиками шлаку. Показана перспектива застосування радіолокаційних рівнемірів для контролю рівня розплаву і для управління конвертерною плавкою в динамічному режимі на основі цієї інформації.

UDC 669.162.24:621.928.2

**A.A.VERHOVSKAYA**, candidate of engineering sciences. associate prof.

**V.I.GOLOVKO**, dr. of engineering sciences, prof.

**M.A.RYBALCHENKO**, graduate student

**G.A.PAPANOV**, senior teacher

SHEE "National Metallurgical Academy of Ukraine," SHEE "Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician Vladimir Lazarian"

### **PRINCIPLES OF MANAGEMENT OXYGEN-CONVERTER MELTING WITH APPLICATION DATA ABOUT SLAG REFLECTIVITY**

As a result of experimental researches intercommunication of radio-location data is set with physical and chemical descriptions of slag. The prospect of application radio-location devices is shown for control of level fusion and for a management converter melting in the dynamic mode on the basis of this information.