

УДК 669.184.132: 65.012.122

Т.А. Желдак, канд. техн. наук,  
Д.А. ВоловенкоГосударственное высшее учебное заведение „Националь-  
ный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,  
e-mail: zheldak@dniprograd.org, volovenko@gmail.com

## ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, УПРАВЛЯЮЩЕЙ КИСЛОРОДНЫМ КОНВЕРТЕРОМ

Т.А. Zheldak, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor,  
D.A. VolovenkoState Higher Educational Institution “National Mining  
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: zheldak@dniprograd.org, volovenko@gmail.com

## SOME APPROACHES TO ORGANIZATION OF THE INTELLIGENT CONTROLLING SYSTEM FOR BASIC OXYGEN FURNACE

Рассмотрен технологический процесс конвертерной плавки. Выполнен анализ существующих систем автоматизированного управления конвертерным производством, использование в алгоритмах управления ЭВМ, учет влияния „человеческого фактора“. Обоснована необходимость построения управляющей интеллектуальной системы, в задачи которой входит не только получение стали с наперед заданными свойствами, но и минимизация использования окислителя и присадок, а также учет случайных факторов. Предложен подход к реализации системы, основанный на использовании опыта операторов.

**Ключевые слова:** конвертер, управление, система, оптимизация, продувка

**Актуальность.** В настоящее время довольно широко распространен конвертерный процесс производства стали с верхней продувкой ванны кислородом. Подобные установки используются на ОАО „Металлургический комбинат „Азовсталь“, „Енакиевском металлургическом комбинате“, „ДМЗ им. Петровского“ и на многих других производствах.

Кислородно-конвертерный процесс относится к периодическим процессам и заключается в продувке жидкого чугуна через одну фурму с водяным охлаждением, опускаемую сверху над поверхностью металла. При этом окисляются примеси чугуна: углерод, кремний, марганец, сера, фосфор и продукты реакций переходят в газовую фазу или в шлак.

При экзотермических окислительных реакциях тепла выделяется значительно больше, чем нужно для нагрева стали и шлака до температуры выпуска. Поэтому в шихту вводят охладители – стальной лом или железную руду [1].

В конвертерах применяют высокую интенсивность продувки кислородом, достигающую 3–6 кубометров на тонну в минуту. Как результат, кислородно-конвертерный процесс весьма быстротечен: время продувки в 100–350 тонных конвертерах не превышает 20–25 минут и определяется расходом кислорода. Продолжительность всей плавки в конвертерах емкостью 100–350 тонн (с последующими операциями повалки и раскисления) составляет около 40–50 минут.

Соответственно, у оператора кислородно-конвертерного цеха, управляющего процессом продувки, время для принятия управленческих решений об увеличении/уменьшении интенсивности продувки, поднятии/опускании фурмы, окончании продувки

и т.д. крайне ограничено. В настоящее время оператор работает, опираясь исключительно на свой опыт.

Подобная ситуация на производстве ставит выполнение плана выработки цеха в зависимость от состояния оператора, его субъективных человеческих факторов, что негативно сказывается на технико-экономических показателях всего производства.

Наиболее характерными вариантами последствий ошибок оператора являются: получение параметров, выходящих за интервал, необходимый для данной марки стали; повышенный расход кислорода и присадок; превышение температуры готовой стали при повалке. Как следствие, по статистике [6], до 40% плавков требуют коррекции после завершения процесса.

Чтобы минимизировать влияние человеческого фактора, было принято решение разработать интеллектуальную систему поддержки принятия решений для управления процессом конвертерной плавки на основе анализа действий операторов при работе с конвертером в различных режимах и получении сплавов различных марок и качества.

**Анализ публикаций по теме работы.** В ряде проанализированных работ [2–5] проведен детальный теоретический анализ процессов, происходящих в конвертерной ванне, приведена формализация отдельных явлений. Общим недостатком моделей управления режимом продувки, приведенных в этих работах, является недостаточная адекватность описания процессов плавки реальным условиям. Она обусловлена тем, что авторами использованы зависимости и модели, полученные с рядом существенных допущений и упрощений.

Все существующие модели управления конвертерной плавкой можно разделить на три класса: детерминированные, вероятностные и эвристические [5–7]. Такое разнообразие обусловлено тем, что технологический процесс происходит „втемную“: в

замкнутом просторі відбувається окислення ряду хімічних речовин, вміст яких до початку процесу відомий лише умовно, а керуючі впливи також далеко не детерміновані.

Пошуки моделі, яка б максимально відповідала реальному процесу, продовжуються і по сей день. Як і 20 років тому, створення чіткої математичної або логічної моделі управління конвертерним процесом, яку можна використовувати в системі підтримки прийняття рішень, є актуальною задачею.

На практиці в якості зворотного зв'язку в моделях продувки використовується хімічний аналіз відходять газів [6,7], а також безперервний контроль маси конвертера датчиками, вмонтованими під його приводними цапфами.

В силу об'єктивних причин обидва виміри крайньо вразливі до шумів, ненадійні і, таким чином, призводять до не зовсім своєчасних керуючих впливів. Результатом цього є підвищення рівня  $CO_2$ , недожог іржаві, режим вигорання марганцю та заліза, підвищення кількості кисню, відходящого від ванни і не йдущого в реакцію, а також суттєві відхилення в хімічному складі готової сталі від очікуваних.

На основі ряду останніх розробок [6, 8] можна з впевненістю стверджувати, що створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для поста оператора конвертера можливо з використанням існуючих технологій. Подібна розробка дозволить суттєво знизити вплив людського фактора, що повинно підвищити ефективність і економічні показники виробничого процесу.

**Цілью даної роботи** є обґрунтування підходу до створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в контурі управління кисневим конвертером на основі аналізу поведінки операторів з метою автоматизації та оптимізації процесу, а також зменшення впливу на результат людського фактора.

Для досягнення поставленої мети, перш за все, необхідно розділити координати (спостережувані або контролювані параметри технологічного процесу) за залежності їх від часу, а також по ролі в системі.

К статичним характеристикам технологічного процесу конвертерної плавки слід віднести:

- масу шлаку;
- температуру шлаку;
- склад шлаку;
- масу чугуна;
- масу сталювого лому;
- масу вапна в кожній порції;
- і інші.

В той же час значно більший інтерес представляють динамічні параметри плавки, до яких слід віднести:

- масу металу в процесі;
- температуру металу в процесі;

- склад конвертерних газів;
- температуру конвертерних газів;
- витрати кисню;
- відстань між кисневим фурмом та рівнем ванни;
- тривалість продувки.

Кисневий конвертер, а точніше сам технологічний процес плавки, може бути представлений схематично в якості об'єкта управління, як показано на малюнку.

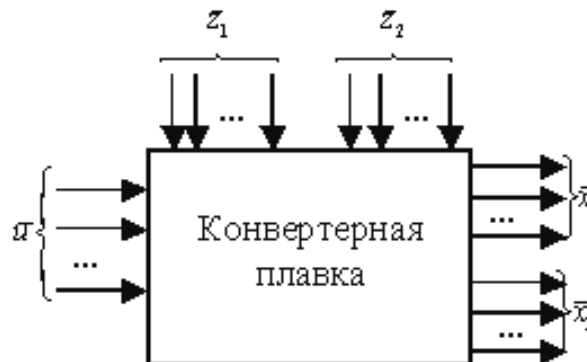


Рис. Конвертерная плавка как объект управления

В даному представленні існує ряд входних, керуючих величин, умовно об'єднаних в вектор  $\bar{u}$ . До них відносяться відомі параметри хімічного складу чугуна, маса сталювого лому, маса руди, маса вапна, витрати кисню, відстань між кисневим фурмом та рівнем ванни, тривалість продувки, а також необхідні параметри отриманої сталі, а саме:

- маса металу в кінці продувки;
- концентрація вуглецю, фосфору, сірки в ванні в кінці продувки;
- температура металу в кінці продувки.

Збурюючі впливи, які можна виділити в даному процесі, умовно діляться на два вектори:

$\bar{z}_1$  – контролювані збурюючі впливи (вміст в чугуні кремнію, марганцю, сірки, фосфору; температура чугуна; вміст кисню в дузі; інтервал часу між плавками);

$\bar{z}_2$  – неконтрольовані збурюючі впливи (вміст вуглецю в чугуні; склад шихтових матеріалів; склад, розміри, температура лому; маса і склад надходящого в конвертер миксерного шлаку і т.д.).

Результатом управління є параметри технологічного циклу, також умовно розділені на два вектори:  $\bar{x}$  – технологічні характеристики отриманої сталі (кількість, її хімічний склад і температура на повалці) і  $\bar{x}_1$  – параметри, що визначають економічні показники технологічного процесу (кількість використаного кисню, час продувки, кількості використаних охладителів та присадок).

Главной задачей управления конвертерной плавкой является получение стали заданной марки по содержанию углерода. По большому счету, эта задача сводится к правильности определения времени прекращения продувки.

Но подобный „однокоординатный“ подход весьма упрощен, поскольку обычно нет прямой информации о содержании углерода в ванне по ходу продувки. Скорость же выгорания углерода такова, что на заключительном этапе продувки одна лишняя минута соответствует переходу к другой марке стали. Дополнительным фактором, усложняющим подобный „прямой“ расчет, является существенная нелинейная зависимость выгорания углерода не только от времени продувки, но и от температуры расплава.

Немаловажной задачей управления является как раз получение к моменту окончания плавки (поднятие фурмы) не только заданного содержания углерода, но и необходимой температуры стали. Обеспечивается это как правильным выбором режимов продувки, так и правильным расчетом количества охладителей.

Иногда, при большой интенсивности продувки (не секрет, что в условиях рыночной экономики конвертер зачастую работает в авральном режиме с ограничением на время плавки), охлаждение частично осуществляется за счет присадок руды, лома и известняка по ходу продувки, а также в результате изменения высоты расположения кислородной фурмы.

Исследования показали, что основные параметры, определяющие гидродинамику ванны – это давление дутья перед соплом и расстояние наконечника фурмы от уровня ванны [9].

От расстояния наконечника фурмы до уровня ванны зависит степень усвоения кислорода ванной, температурный и шлаковый режимы плавки. Чрезмерное опускание фурмы к поверхности кипящего металла приводит к ее металлизации. Также появляется опасность размытия струей днища конвертера. Но завышенное расстояние фурмы до поверхности металла также нежелательно, поскольку приводит к увеличению концентрации оксидов железа в шлаке, тем самым уменьшая выход годного металла.

В отечественных конвертерах расстояние наконечника фурмы до уровня ванны контролируют сельсиновой следящей системой с регистрацией параметра на приборе, установленном на пульте управления. В течение конвертерного процесса уровень ванны существенно меняется в связи с износом футеровки и колебаниями усадки. Периодически оператор должен корректировать положение фурмы.

Таким образом, положение фурмы и интенсивность подачи кислорода являются главными динамическими параметрами, управление которыми позволит решить две основные задачи – обеспечить гарантированное получение стали необходимой марки вне зависимости от случайных входных факторов и, вместе с тем, минимизировать расход кислорода и присадок в процессе продувки, тем самым уменьшив себестоимость получаемой стали. Авторы предлага-

ют осуществить это путем моделирования поведения реального оператора с учетом результатов его предыдущих действий.

**Выводы по работе.** Построение интеллектуальной системы поддержки принятия решений оператором конвертерного производства стали является актуальной научно-практической задачей.

Среди множества параметров протекания процесса конвертерной плавки, наибольшего внимания заслуживают регулируемые динамические параметры положения фурмы относительно поверхности металла и скорости подачи кислорода, а также параметр времени окончания продувки. Их регулирование позволит не только решить главную задачу конвертерного производства – получение на выходе стали заданной марки нужной температуры, но и минимизировать затрачиваемые при этом время, присадки и объем кислорода.

Предлагается построение интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе моделирования действий реального оператора конвертера с учетом результатов его действий.

Ожидаемым эффектом от разработки является снижение себестоимости готового металла, уменьшение количества ошибок при интуитивных действиях оператора, а также минимизация времени выполнения плавки.

#### Список литературы / References

1. Демидов В.А. Производство конвертерной стали. Технологическая инструкция ТИ-233-СТ КК-02-2002 / Демидов В.А. – 2002. – 148 с.  
*Demidov V.A. Production of converter steel. Process message ТИ-233-СТ КК-02-2002 / Demidov V.A. – 2002. – 148 p.*
2. Явойский В.И. Теория процессов производства стали [монография] / Явойский В.И. – М.; Metallurgiya, 1967. – 792 с., ил.  
*Yavoyskiy V.I. The theory of the processes of steel production [monograph] / Yavoyskiy V.I. – M., Metallurgiya, 1967. – 792 p., illustrated.*
3. Бигеев А.М. Metallurgiya стали. Теория и технология плавки стали / Бигеев А.М. – Челябинск: Metallurgiya, 1988 – 480 с.  
*Bigeyev A.M. Metallurgy of steel. Theory and technology of melting steel / Bigeyev A.M. – Chelyabinsk: Metallurgiya, 1988 – 480 p.*
4. Чернега Д.Ф. Основы металлургического производства металлов и сплавов / [Д.Ф. Чернега, В.С. Богусhevский, Ю.Я. Готвянский и др.]; Учебник; Под ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянского. – К.: Высшая школа., 2006 – 503 с.  
*Chernega D.F. Fundamentals of metallurgical production of metals and alloys / [D.F. Chernega, V.S. Bogushevskiy, Yu.Ya. Gotvyanskiy et al.]; Textbook; edited by D.F. Chernega, Yu.Ya. Gotvyanskiy. – K.: Vysshaya shkola., 2006 – 503 p.*
5. Богусhevский В.С. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой / В.С. Богу-

шевский, Л.Ф. Литвинов – К.: НПК „Киевский институт автоматизи“, 1998. – 304 с.

*Bogushevskiy V.S.* Mathematical models and control system of converter melting / V.S. Bogushevskiy, L.F. Litvinov – К.: НПК “Киевский институт автотатики”, 1998. – 304 р.

6. *Глишков Г.М.* АСУ ТП в черной металлургии. [Учебник для вузов] 2-е изд. Перераб. и доп. / Глишков Г.М., Маковский В.А.– М.: „Металлургия“. – 1999. – 310 с.

*Glinkov G.M.* ASU TP in the steel industry. [Textbook for higher school] 2 edition / Glinkov G.M., Makovskiy V.A.– М.: “Metallurgiya”. – 1999. – 310 р.

7. *Богушевский В.С.* Контроль шлакообразования в ванне конвертера / В.С. Богушевский, М.Д. Шарбатян // Научные вести НТУУ „КПИ“. – 2005. – №5. – С. 32–38.

*Bogushevskiy V.S.* Control of slag formation in the bath of converter / V.S. Bogushevskiy, M.D. Sharbatian // Nauchnye vesti NTUU “KPI”. – 2005. – No.5. – P. 32–38.

8. *Баптизмаиский В.И.* Конвертерные процессы производства стали. Теория, технология, конструкция агрегатов. / Баптизмаиский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. – К.: Высшая школа, Головное изд-во. – 1984. – 343с.

*Baptizmaiskiy V.I.* Converter steel production processes. Theory, technology, construction aggregates. / Baptizmaiskiy V.I., Medzhibozhskiy M.Ya., Ohotskiy V.B. К.: Vyshcha shk., Golovnoe izd-vo. – 1984. – 343 р.

9. *Мокринский А.В.* Гидродинамические режимы взаимодействия кислородных струй с конвертерной ванной / А.В. Мокринский, Е.В. Протопов, А.Г. Чернытевич – Изв. Вузов. – Черная металлургия. – 2005. №4. – С. 11–17

*Mokrinskiy A.V.* Hydrodynamic modes of interaction of oxygen stream with the converter bath / A.V. Mokrinskiy, Ye.V. Protopov, A.G. Chernyatevich – Izv. Vuzov. – Chernaya metallurgiya. – 2005. No.4. – P. 11–17

Розглянуто технологічний процес конвертерної плавки. Виконано аналіз існуючих систем автоматизованого керування конвертерним виробництвом, використання в алгоритмах керування ЕОМ, урахування впливу „людського фактору“. Обґрунтовано необхідність побудови керуючої інтелектуальної системи, у задачі якої входить не тільки отримання сталі з наперед заданими властивостями, але й мінімізація використання окислювача та присадок, а також урахування випадкових факторів. Запропоновано підхід до реалізації системи, заснований на використанні досвіду операторів.

**Ключові слова:** *конвертер, керування, система, оптимізація, продувка*

The paper considers the process of converter melting. Authors analyze existing systems of automated control of BOF production, the use of computer control algorithms, taking into account the influence of the human factor. The necessity of building intelligent control system which aims not only to obtain steel with predetermined properties, but also to minimize the use of an oxidizer and additives, as well as to take into account random factors is substantiated. The approach to its implementation based on the use of the experience of operators is presented.

**Keywords:** *converter, control, system, optimization, purge*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Слесаревим. Дата надходження рукопису 16.03.11*