

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТЕРНЫМ ПРОЦЕССОМ ПЛАВКИ СТАЛИ

Т.Б. Чистякова

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Россия, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26
E-mail: chistb@mail.ru

И.В. Новожилова

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Россия, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26
E-mail: novozhilova@bk.ru

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных; сталеплавильное производство; конвертер; огнеупорная футеровка.

Аннотация: В статье предложена функциональная структура компьютерной системы, позволяющей на основе интеллектуального анализа промышленных данных сталеплавильного процесса осуществлять контроль шлакового режима конвертерной плавки стали. Основу системы составляет модель нейронной сети для прогнозирования агрессивности шлакового расплава и оценки его влияния на огнеупорную футеровку сталеплавильного конвертера. По результатам интеллектуального анализа промышленных данных система выдает рекомендации по способам снижения агрессивности шлака и нормированию температурных режимов работы огнеупоров в конвертере для замедления скорости износа и защиты огнеупорной футеровки от разрушений. Применение компьютерной системы на металлургических предприятиях позволяет повысить стойкость огнеупорных футеровок конвертеров, а также повысить безаварийный ресурс их работы.

1. Введение

Ведущую промышленную группу сталеплавильных тепловых агрегатов составляют кислородные конвертеры, что связано с высокой производительностью агрегатов, высоким уровнем автоматизации процессов и гибкостью технологии конвертерной плавки, позволяющей получать сталь высокого качества и широкого сортамента [1]. Трудности управления конвертерным процессом связаны с работой в условиях недостаточной текущей информации о параметрах процесса и действием случайных возмущений. В связи с этим, необходимо построение адаптивных систем управления, ориентированных на работу в условиях нечеткой информации. Наиболее эффективным методом анализа нечеткой информации и прогнозирования параметров конвертерного процесса является метод Data Mining, основанный на применении искусственных нейронных сетей.

Использование данного подхода позволит проводить интеллектуальный анализ больших промышленных данных, получаемых с систем мониторинга конвертерного процесса, и определять значения управляющих воздействий (химический состав и расход шлакообразующих материалов), влияющих на качественные показатели, такие как выход и температура жидкого металла, окисленность шлака, а также предельную растворимость огнеупорной фазы в конвертерном шлаке [2-6]. Таким образом, разработка компьютерной системы интеллектуального анализа промышленных данных конвертерного процесса является актуальной и практически значимой задачей.

Целью работы является создание компьютерной системы, позволяющей: прогнозировать агрессивность шлакового расплава и оценивать его влияние на огнеупорную футеровку сталеплавильного конвертера; рассчитывать предельную растворимость огнеупорной фазы в конвертерном шлаке и определять количественную характеристику шлаковой коррозии; а также определять количество шлакообразующих материалов для эффективной нейтрализации шлака. Компьютерная система позволяет выявлять сложные нечеткие взаимосвязи между технологическими параметрами процесса и решать задачу ресурсосберегающего управления конвертерным процессом плавки стали.

2. Постановка задачи ресурсосберегающего управления процессом конвертерной плавки стали

Технологический процесс плавки стали в кислородном конвертере представляет собой сложный комплекс физико-химических и тепловых процессов, отличающихся многообразием материалов, постоянным изменением их состава и температуры, а также многофакторными взаимодействиями и связями, возникающими по ходу процесса. В период плавки идет контроль только состава $X_{КГ}$ и температуры $T_{КГ}$ конвертерных газов в целях получения марки стали с заданным химическим составом и температурой. Контролируемыми управляемыми переменными процесса являются: расход кислорода на продувку $G_{Д}$, расход флюсов $G_{ФЛ}$ и продолжительность продувки $t_{Д}$. Контролируемыми неуправляемыми по ходу плавки переменными являются: расход $G_{Ч}$ и химический состав чугуна $X_{Ч}$, температура чугуна $T_{Ч}$, расход $G_{Л}$ и химический состав лома $X_{Л}$. Таким образом, процесс конвертерной плавки стали как объект обработки информации и управления характеризуется совокупностью параметров $Y=f(X, U, F)$, где $Y=\{G_{М}, G_{ФР}, T_{М}, X_{М}, S_{MgO}, X_{MgO}, m_{Ф}, C_{FeO}\}$ – вектор выходных переменных, $G_{М}$ – выход жидкого металла, т; $G_{ФР}$ – расход ферросплавов, т; $T_{М}$ – температура полученного металла, °С; $X_{М}$ – состав металла; S_{MgO} – предельная растворимость огнеупорной фазы (MgO) в конвертерном шлаке; X_{MgO} – содержание MgO в шлаке, %; $m_{Ф}$ – потеря массы футеровки, кг; C_{FeO} – окисленность шлака; $X=\{X_{Л}, X_{Ч}, M_{Ч}, M_{Л}, T_{Ч}\}$ – вектор входных переменных, $X_{Л}$ – химический состав лома; $X_{Ч}$ – химический состав чугуна; $M_{Ч}$ – масса чугуна, т; $M_{Л}$ – масса лома, т; $T_{Ч}$ – температура чугуна, °С; $U=\{G_{ФЛ}, X_{ФЛ}, G_{Д}, V_{Д}, t_{Д}\}$ – вектор управляющих воздействий, $G_{ФЛ}$ – расход шлакообразующих материалов (флюсов), т; $X_{ФЛ}$ – химический состав флюсов; $G_{Д}$ – расход кислородного дутья, кг; $V_{Д}$ – объем дутья, м³/т; $t_{Д}$ – время дутья, мин.; $F=\{B, X_{ЛFe2O3}, X_{ЛЗ}\}$ – вектор возмущающих воздействий, B – основность шлака; $X_{ЛFe2O3}$ – загрязнение лома ржавчиной, %; $X_{ЛЗ}$ – загрязнение лома посторонними материалами %.

С учетом предложенного формализованного описания следует сформулировать задачу ресурсосберегающего управления процессом: на основании входных данных о составе и параметрах шихты $\{X_{Л}, X_{Ч}, M_{Ч}, M_{Л}, T_{Ч}\}$, требуемом составе $\{X_{М}\}$ и температуре металла $\{T_{М}\}$ необходимо определить допустимые значения управляющих воздействий $U_{Доп}=\{G_{ФЛ}, X_{ФЛ}, G_{Д}, V_{Д}, t_{Д}\}$, обеспечивающие заданное качество стали с условием ми-

нимизации расхода периклазоуглеродистого огнеупора $\{m_{\Phi}\}$ рабочего слоя футеровки конвертера. Сформулированная задача управления приводит к необходимости проведения прогнозных и оперативных расчетов, позволяющих наиболее полно исследовать причинно-следственные связи основных технологических параметров конвертерного процесса, а также проводить анализ состояния огнеупорной футеровки конвертера с целью оценки соответствия критериям безопасной эксплуатации [2, 6-8].

3. Функциональная структура компьютерной системы

Для решения сформулированной задачи управления предложена функциональная структура компьютерной системы для интеллектуального анализа промышленных данных и управления конвертерным процессом плавки стали, представленная на рис. 1.

Структура системы включает информационное обеспечение (базу данных технологических регламентов процесса, базу знаний критериев безопасности ведения конвертерного процесса, базу правил вывода информации о шлаковой коррозии рабочего слоя огнеупорной футеровки, базу данных результатов обучения нейронной сети); математическое обеспечение (модуль расчета материального и теплового балансов, модуль расчета предельной растворимости огнеупорной фазы в конвертерном шлаке заданного состава и температуры, модуль преобразования и обработки промышленных данных для прогнозирования агрессивности шлакового расплава, модуль расчета количества шлакообразующих материалов, необходимых для эффективной нейтрализации шлака конвертерной плавки, модуль визуализации трендов показателей процесса); интерфейсы пользователей.

Моделирование процесса конвертерной плавки стали представляет собой решение систем уравнений материального и теплового балансов, участвующих в процессе химических элементов, а также эмпирических зависимостей и соотношений. Существенное влияние на качество стали, выход годного металла, а также шлаковый износ футеровки конвертера оказывают количество, химический состав, вязкость и скорость формирования шлака. Ключевым моментом при решении сформулированной задачи управления является возможность оценки количественной характеристики шлаковой коррозии [2, 3]. Отрицательное влияние конвертерного шлака заключается в коррозионном разрушающем действии на огнеупорную футеровку конвертера. При этом химический состав и количество формирующегося шлака определяется составом металлической шихты $\{X_{\text{Л}}, X_{\text{Ч}}\}$, расходом шлакообразующих материалов $\{G_{\text{ФЛ}}\}$, целевыми показателями металла в конце продувки $\{G_{\text{Д}}, V_{\text{Д}}, G_{\text{М}}, G_{\text{ФР}}, t_{\text{М}}\}$, а также основностью шлака B . Определение допустимого состава конвертерного шлака основано на принципе повышения его насыщенности огнеупорной фазой за счет повышения текущей концентрации (MgO) и снижения концентрации насыщения (MgO) при повышении основности шлака.

Для интеллектуального анализа промышленных данных с целью прогнозирования окисленности шлака пользователь системы отбирает наиболее значимые параметры процесса из базы данных, вносит пороговые ограничения параметров и формирует массив данных. Входными параметрами нейронной сети являются: продолжительность продувки ($t_{\text{Д}}$), расход дутья ($G_{\text{Д}}$), соотношение расхода чугуна и лома, химический состав чугуна ($X_{\text{Ч}}$), расход извести ($G_{\text{ФЛ}}$), содержание углерода в конце продувки. Далее, массив накопленной экспертной информации разбивается на 3 подвыборки: обучаемая, оценочная и тестовая. Обучаемый набор данных анализируется методом искусственных нейронных сетей, а адекватность полученной модели оценивается при помощи

оценочного и тестового набора данных. В процессе обучения нейронная сеть меняет свои параметры и учится давать нужное отображение $X \rightarrow Y$, где $Y = \{C_{FeO}\}$.

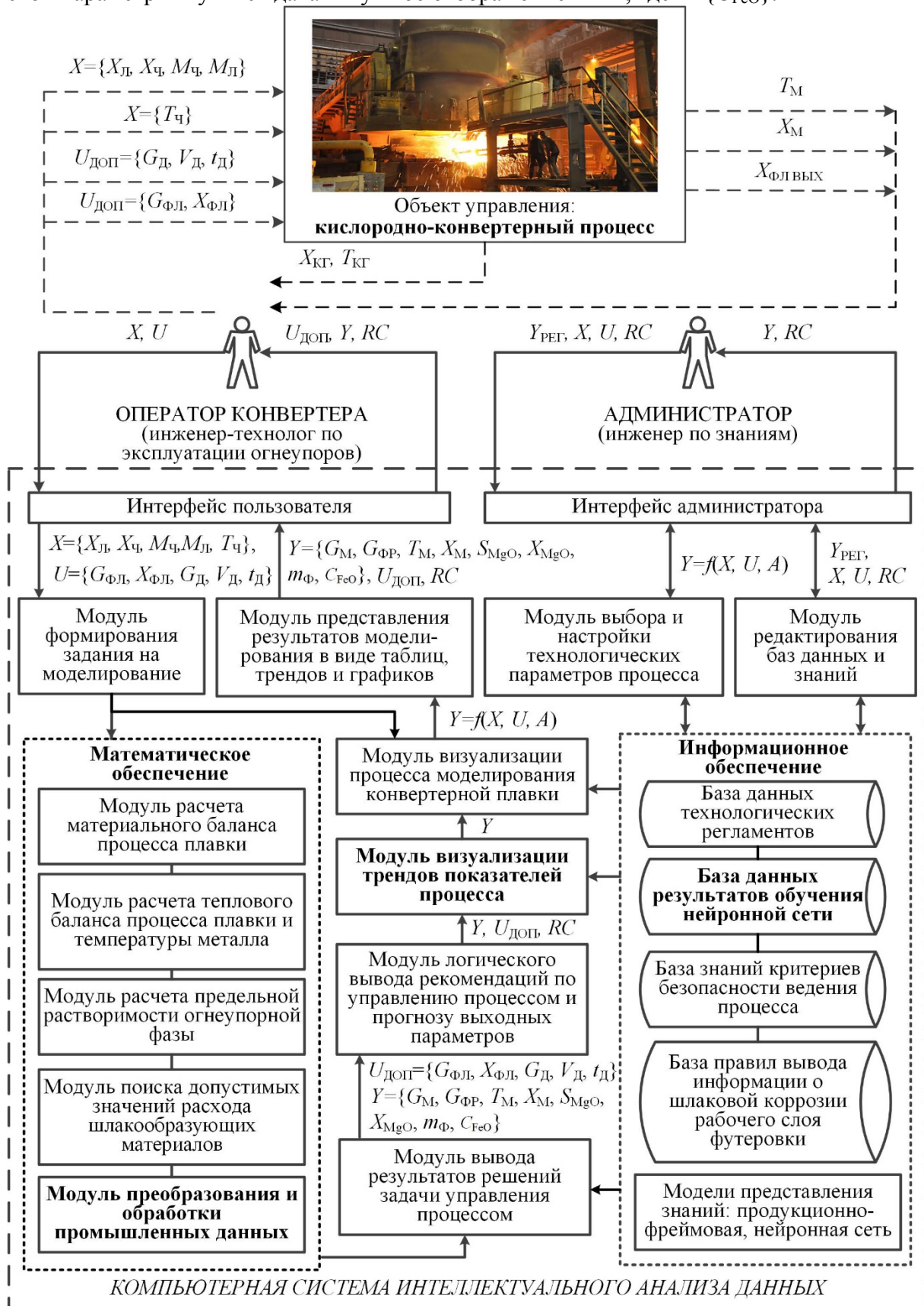


Рис. 1. Функциональная структура компьютерной системы для интеллектуального анализа промышленных данных и управления конвертерным процессом плавки стали.

Результатом работы нейронной сети является выявление закономерностей разрушения огнеупорной футеровки конвертера и определение агрессивности шлакового расплава. По результатам интеллектуального анализа промышленных данных система выдает рекомендации (RC) по способам снижения агрессивности шлака и нормированию температурных режимов работы огнеупоров в конвертере для замедления скорости износа и защиты огнеупорной футеровки от разрушений [2, 4, 5].

Предложенная в работе компьютерная система позволяет выдавать рекомендации по ресурсосберегающему управлению конвертерным процессом, используя текущую информацию о процессе, информацию, накопленную ранее, а также результаты расчета по математическим моделям для оценки характеристик конвертерного сталеплавильного процесса.

4. Заключение

Результаты тестирования системы подтвердили её работоспособность и возможность применения на металлургических предприятиях (например, Череповецком, Магнитогорском, Новолипецком и других комбинатах). Использование системы позволяет повысить стойкость огнеупорных футеровок конвертеров, повысить безаварийный ресурс их работы, а также повысить профессиональный уровень управленческого производственного персонала за счет глубокого понимания причинно-следственных связей в объекте, увеличения уверенности и самостоятельного решения задач управления.

Список литературы

1. Шаповалов А.Н. Технология и расчет плавки стали в кислородных конвертерах. Новотроицк: НФ МИСиС, 2011. 40 с.
2. Суворов С.А., Козлов В.В. Эксплуатация футеровок и конструкций, выполненных из огнеупорных материалов. СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2011. 147 с.
3. Суворов С.А., Козлов В.В. Экспериментальное измерение растворимости MgO в металлургических шлаках для управления шлаковой коррозией периклазоуглеродистого огнеупора // Новые огнеупоры. 2014. № 3. С. 127-129.
4. Суворов С.А., Козлов В.В. Фазовый состав и оптимизация химического состава шлаков // Бюллетень «Черная металлургия». 2016. № 6. С. 63-66.
5. Серова Л.В., Чудинова Е.В., Хороших М.А. Разработка критериев оценки качества периклазоуглеродистых огнеупоров и их влияние на повышение стойкости футеровок конвертеров // Черные металлы. 2015. № 5 (1001). С. 21-23.
6. Kumar D.S., Prasad G., Vishwanath S.C., Ghorui P.K., Mazumdar D., Ranjan M., Lal P.N Converter life enhancement through optimisation of operating practices // Ironmaking & Steelmaking. 2013. Vol. 34, No. 6. P. 521-528, DOI: 10.1179/174328107X203903
7. Chistyakova T.B., Kudlay V.A., Novozhilova I.V. Intelligent system for modeling the wear-and-tear dynamics of steelmaking converter lining // 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements SCM-2017. St. Petersburg, 2017. P. 259-261. doi: 10.1109/SCM.2017.7970554
8. Чистякова Т.Б., Кудлай В.А., Новожилова И.В., Суворов С.А., Козлов В.В. Система поддержки принятия решений по эксплуатации огнеупорной футеровки сталеплавильных конвертеров // Известия СПбГТИ (ТУ). 2016. № 37 (63). С. 60-66.