

База знаний процессов внепечной обработки стали

В.А. Бигеев

Институт металлургии, машиностроения и
материалообработки,
«Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Магнитогорск, Россия

Е.А. Соколова

Институт металлургии, машиностроения и
материалообработки,
«Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Магнитогорск, Россия

М.В. Зарецкий

Институт энергетики и автоматизированных
систем
«Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Магнитогорск, Россия
e-mail: m-zaretsky@yandex.ru

П.С. Власова

Институт энергетики и автоматизированных
систем
«Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Магнитогорск, Россия

Аннотация¹

Важнейшей задачей современных предприятий черной металлургии является непрерывное совершенствование технологических процессов. Сталь, получаемая в конвертерах и электросталеплавильных печах, подвергается внепечной обработке, а затем поступает для дальнейшей переработки в машины непрерывного литья заготовки. Действия персонала при проведении процессов внепечной обработки стали зависят от многочисленных факторов: требуемого химического состава продукции (содержания углерода, легирующих элементов), температуры. В условиях постоянного обновления сортамента для обеспечения требуемого качества продукции требуется внедрение системы поддержки принятия решений (СППР). Основой данной СППР является база знаний, охватывающая все операции, входящие в процессы внепечной обработки стали. Предложена база знаний процессов внепечной обработки стали, основанная на онтологической методологии.

Ключевые слова: технологические процессы; поддержка принятия решений; онтология; база знаний; внепечная обработка стали.

1. Введение

Внепечная обработка в настоящее время является неотъемлемой частью процесса выплавки стали. В

настоящее время вся сталь, выплавленная в конвертерах или в электросталеплавильных печах, проходит внепечную обработку. На стадии внепечной обработки окончательно формируется химический состав стали, который практически не может быть в дальнейшем изменен [1, 2].

Современное металлургическое предприятие, функционирующее в условиях жесткой конкурентной борьбы, непрерывно обновляет сортамент в соответствии с запросами потребителей. В частности, потребители предъявляют высокие требования к химическому составу продукции. Персонал должен на высоком уровне реализовывать разнообразные и постоянно модифицируемые процессы внепечной обработки стали, своевременно и адекватно реагировать на возникающие технологические проблемы. В частности, непосредственно в ходе выполнения технологического процесса персонал должен принимать решения, обусловленные сочетанием разнотипных факторов, выполнять расчеты.

В этих условиях для проведения технологических процессов на надлежащем уровне и для недопущения ошибок, обусловленных «человеческим фактором», необходимо создание и внедрение системы поддержки принятия решений (СППР). Данная система предназначена для оперативного анализа ситуации и выработки рекомендаций для персонала.

2. СППР металлургических процессов

2.1. Принципы организации СППР металлургических процессов

СППР металлургических процессов являются подсистемами более крупных систем, обслуживающих функционирование цехов, производств и предприятия в целом. Данные в СППР

Труды Седьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-30 мая, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2019

металлургических процессов поступают из систем мониторинга производства, систем оперативного планирования производства, автоматизированных систем технологической подготовки производства, систем автоматизированного проектирования технологических процессов.

СППР для металлургических процессов предназначены для функционирования в условиях действующего производства. Результаты работы СППР персонал, реализующий технологический процесс, должен получать своевременно. Это требование накладывает ограничения на сложность применяемых в СППР алгоритмов. Например, расчеты процессов теплообмена, для выполнения которых в общем случае требуется решение систем нелинейных дифференциальных уравнений с нелинейными краевыми условиями в областях сложной формы, выполняются в рамках системы компьютерного проектирования технологических процессов. В СППР для расчетов используются полученные таблицы значений полученных решений.

Для построения эффективной СППР должна быть в первую очередь разработана методологическая база. Металлургический процесс преобразует исходные материалы в новый продукт. В частности, в процессе внепечной обработки выплавленная в конвертере или электросталеплавильной печи сталь подвергается ряду операций, в ходе которых ее свойства достигают уровня, определяемого требованиями технических условий. Таким образом, на входе и на выходе имеются материальные потоки с различными свойствами. Для проведения процесса необходимы легирующие компоненты, алюминий, известь, плавиковый шпат, аргон и т.д., также образующие материальные потоки.

Всем материальным потокам соответствуют информационные потоки, содержащие сведения о количественных и качественных характеристиках соответствующих материальных потоков. Точность информационных характеристик материальных потоков обусловлена многочисленными факторами и должна учитываться в процессах анализа данных.

Важнейшей компонентой СППР являются знания о технологических процессах и правила принятия решений, основанные на знаниях, применяемых к данным из информационных потоков. Исходя из характеристик данных знаний, выбирается модель принятия решений.

Мы считаем, что задачи, возникающие при выполнении технологических процессов внепечной обработки стали являются плохо структурированными, «требующими использования компьютера совместно с усилиями человека» [3].

Для создания систем поддержки принятия решений в случае характерных для металлургии плохо структурированных задач рекомендуется применение модельных СППР.

«Модельные системы поддержки принятия решений представляют собой вид компьютерных информационных систем, помогающих лицу, принимающему решение (ЛПР), в принятии решений при наличии плохо структурированных задач посредством прямого диалога с компьютером с использованием данных и математических моделей» [3].

За последние годы коллективом специалистов ПАО «ММК» и УрФУ разработаны и успешно внедрены СППР для доменного передела, основанные на парадигме модельных СППР [4 - 6]. Этот успешный опыт подтверждает перспективность модельной парадигмы СППР в металлургическом производстве.

2.2. Принципы построения базы знаний процессов внепечной обработки стали

Перечислим основные компоненты, входящие в систему знаний металлургического предприятия:

- интеллектуальная собственность;
- внутренняя документация;
- источники экзогенной информации;
- компетенции персонала;
- культура знаний предприятия [7].

Под интеллектуальной собственностью понимаются:

- патенты;
- техническая документация;
- результаты научно-исследовательских работ, проводимых в интересах предприятия.

Под внутренней документацией понимаются:

- нормативы;
- стандарты;
- регламенты.

Под источниками экзогенной информации понимаются:

- нормативно-правовые акты;
- государственные стандарты;
- технические условия;
- научно-техническая информация.

Под компетенциями персонала понимаются:

- знания (явные и неявные);
- квалификация персонала;
- профессиональный опыт;
 - навык критического осмысления знаний.

Под культурой знаний понимается:

- базовые установки;

- ценности;
- нормы поведения, способствующие наращиванию знаний.

Отметим, что наш подход несколько отличается от подхода, предложенного в [7]. Мы ввели в рассмотрение тезис о необходимости критического переосмысления знаний. Более того, на наш взгляд, необходима постоянная ревизия имеющихся знаний. Разумеется, речь не идет о ревизии фундаментальных законов естественных наук. В то же время привычные «ноу-хау» не могут не устаревать. Данный процесс должен отражаться на базе знаний СППР.

2.3. Онтологическая формализация базы знаний процессов внепечной обработки стали

Дадим формальное описание базы знаний на основе онтологической парадигмы [8-10].

Рассмотрим онтологию

$$Onto = \langle C, Pr, V, I, R, A, D \rangle$$

Здесь:

- C — множество классов;
- R — множество отношений;
- Pr — свойства классов;
- V — значения свойств;
- I — множество экземпляров класса;
- A — множество аксиом;
- D — множество алгоритмов вывода.

Мы рассматриваем классы:

- C_1 — сталь, выплавленная в конвертере (электросталеплавильной печи);
- C_2 — сталь в процессе переработки;
- C_3 — сталь, поступающая на машину непрерывного литья заготовки (МНЛЗ);
- C_4 — технологический процесс;
- C_5 — технологическая операция;
- C_6 — нормативы.

Класс C_1 имеет следующие свойства:

- PO — содержание кислорода (в процентах);
- PH — содержание водорода (в процентах);
- PN — содержание азота (в процентах);
- $PNonMet$ — содержание неметаллических включений (в процентах);
- PS — содержание серы (в процентах);

- PV — содержание ванадия (в процентах);
- PNb — содержание ниобия (в процентах);
- PTi — содержание титана (в процентах);
- PSi — содержание кремния (в процентах);
- PMn — содержание марганца (в процентах);
- PAI — содержание алюминия (в процентах);
- PCa — содержание кальция (в процентах);
- PB — содержание бора (в процентах).

Классы C_2, C_3 имеют те же свойства.

Класс C_4 имеет одно свойство:

- $Proc_Chain$ — последовательность технологических операций (список из экземпляров класса C_5).

Класс C_5 имеет свойства:

- Op_Res — материальные ресурсы для проведения операции;
- En_Res — энергетические ресурсы для проведения операции;
- Op_Mode — режим проведения операции;
- Op_Time — длительность проведения операции

Режим проведения операции представляет собой список характеристик — температуру, процентное содержание необходимых компонент, длительность самой операции. В режим проведения операции также может входить проверка условия возможности ее проведения. При невозможности проведения операции СППР назначает дополнительную операцию для достижения необходимых условий.

Класс C_6 имеет свойства:

- $NormO$ — максимальное содержание кислорода в продукции;
- $NormH$ — максимальное содержание водорода в продукции;
- $NormN$ — максимальное содержание азота в продукции;
- $NormNonMet$ — максимальное содержание неметаллических включений в продукции;
- $NormS$ — максимальное содержание серы в продукции;
- $NormV$ — минимальное ванадия в продукции;
- $NormNb$ — минимальное содержание ниобия в продукции;
- $NormTi$ — минимальное содержание титана в продукции;

- *NormSi* — минимальное содержание кремния в продукции;
- *NormMn* — минимальное содержание марганца в продукции;
- *NormCa* — минимальное содержание кальция в продукции;
- *NormB* — минимальное содержание бора в продукции.

Если содержание какого-либо из легирующих элементов не нормируется, его минимальное значение задается равным 0.

Рассмотрим подробно класс технологических процессов C_4 .

В настоящее время наиболее распространены технологические процессы следующих типов:

- Конвертер — Ковш — Усреднительная установка — Агрегат Печь - Ковш — МНЛЗ;
- Конвертер — Ковш — Агрегат Печь – Ковш — Агрегат вакуумирования — МНЛЗ;
- Конвертер — Ковш — Агрегат Печь – Ковш — Агрегат вакуумирования — Агрегат Печь –Ковш — МНЛЗ.

Технологическая цепочка задается для каждой плавки. Для каждой плавки также заданы значения полей класса C_6 и по результатам экспресс-анализа известны значения полей класса C_7 .

Для расчета первого этапа (общего для всех типов процессов) определяются следующие параметры:

- масса ферросплавов;
- масса алюминия;
- масса извести;
- масса плавикового шпата.

Определяется длительность операции.

Для технологических процессов первого типа производится расчет параметров операций на усреднительной установке — определяется:

- расход аргона;
- длительность операции.

Для операций на агрегате Печь – Ковш определяются следующие параметры:

- параметры операции усреднения;
- по измеренной температуре металла определяется необходимость дополнительного нагрева;
- при необходимости определяется режим нагрева;
- определяется масса добавляемых ферросплавов;

- определяются параметры десульфурации.

При использовании аппарата вакуумирования рассчитываются параметры процессов:

- снижения содержания водорода;
- снижение содержания азота;
- снижение содержания азота;
- снижение содержания азота;
- снижение содержания неметаллических включений.

В базе знаний предусмотрены модули для расчета параметров вспомогательных технологических операций. Например, при выборе операции охлаждения слябом определяется длительность данной операции. Для всех технологических операций предусмотрен расчет потребности в материальных и энергетических ресурсах. Отметим, что разработанные средства не предназначены для решения задач оптимизации.

2.4. Проблема нахождения и настройки эмпирических зависимостей в базе знаний

Для большинства перечисленных видов расчетов используются эмпирические формулы, полученные статистическим путем. В некоторых случаях для задач тепломассообмена использованы результаты решения соответствующих дифференциальных уравнений. Отметим также, что при решении указанных дифференциальных уравнений используются многочисленные эмпирические коэффициенты.

Такое положение было вполне терпимым при консервативном характере производства. Большинство марок сталей производились в больших количествах в течение длительного времени. В таком случае было возможно построить надежные эмпирические зависимости.

В условиях непрерывного обновления сортамента такое положение уже не может считаться удовлетворительным. Необходимо находить способы оперативной и адекватной настройки моделей.

На наш взгляд, в данном случае имеются две различные проблемы:

- подбор эмпирических параметров для обоснованных зависимостей;
- нахождение эмпирических зависимостей.

В первом случае, на наш взгляд, вполне применимы классические методы математической статистики. Кроме того, с учетом возможностей современных средств вычислительной техники успешно может быть применен метод группового учета аргументов (МГУА) [12].

Одним из наиболее популярных в настоящее время средств построения эмпирических зависимостей являются

искусственные нейронные сети. Разнообразие архитектур нейронных сетей позволяет выбрать наиболее удачную из них для конкретной задачи. С помощью искусственных нейронных сетей успешно могут быть решены задачи подбора эмпирических параметров. В то же время часто бывает затруднительно определить границы применимости построенной эмпирической модели, что критически важно при нахождении эмпирических зависимостей. Модель, основанная на применении искусственных нейронных сетей, может давать вполне удовлетворительные результаты для определенных наборов данных, но для достаточно «близких» с содержательной точки зрения данных результаты применения той же модели могут оказаться неудовлетворительными.

В настоящее время все большую популярность приобретает парадигма глубокого обучения [13, 14]. В частности, есть основания полагать, что методы глубокого обучения позволяют эффективно решать проблему построения эмпирических зависимостей. При работе с данными, связанными с металлургическим производством, получены обнадеживающие результаты, что позволяет надеяться на расширение арсенала средств для разработки СППР в металлургии.

3. Заключение

- Рассмотрены проблемы построения СППР технологических процессов черной металлургии.
- Выявлена специфика построения СППР процессов внепечной обработки стали.
- Проанализирован опыт построения модельных СППР доменного процесса.
- Разработано онтологическое описание базы знаний СППР внепечной обработки стали.
- Разработаны функции для эмпирических расчетов в построенной базе знаний.

Сформулированы проблемы, связанные с использованием эмпирических зависимостей в базах знаний.

Список используемых источников

1. Колесников Ю.А. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе.: учеб. пособие / Ю.А. Колесников, Б.А. Буданов, А.М. Столяров; под ред. В.А. Бигеева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – 379 с.
2. Кудрин В.А. Внепечная обработка стали / В.А. Кудрин. М.: Металлургия, 1992. – 336 с.
3. Спирин Н.А., Ипатов Ю.В., Лобанов В.И. и др. Информационные системы в металлургии:

Учебник для вузов / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – 617 с.

4. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки в металлургии / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
5. Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: Учебное пособие / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558
6. Лавров В.В., Спирин Н.А., Гурин И.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В. Современная методология и компьютерные технологии создания программного обеспечения модельных систем поддержки принятия решений в металлургии (на примере доменного производства). *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017; (60): 679-685
7. Пуляева В.Н. Развитие инструментов управления знаниями в металлургии. *Экономика в промышленности*. 2017; 10 (2): 121-127 <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2017-2-121-127>
8. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – Спб.: Питер, 2000. – 384с.
9. Литвин В.В. Технології менеджменту знань / В.В. Литвин – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010 – 260с.
10. Черняховская Л.Р. Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектно-менеджменте / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Информационные технологии и системы: труды Второй междунар. конф. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111 – 114.
11. Горбатова Е.А. База знаний автоматизированной системы технологической подготовки производства для переработки рудного сырья / Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко, М.В. Зарецкий // Автоматизированные технологии и производства - № 4 (14), 2016. – С. 70 – 44.
12. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. Киев: Техніка, 1975. – 312 с.
13. Шолле Франсуа. Глубокое обучение на Python / Франсуа Шалле. СПб.: Питер, 2018. – 400 с.
14. Николенко С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. СПб.: Питер, 2018. – 480 с.