

УДК 002:669

Зарецкий М.В., Соколова Е.В., Власова П.С.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и мировом рынках ПАО «ММК» решает взаимосвязанные задачи увеличения объемов производства, повышения качества продукции и непрерывного обновления сортамента в соответствии с требованиями потребителей.

Решение перечисленных задач возможно при условии постоянного совершенствования технологических процессов на всех этапах металлургического производства. Частью такого совершенствования является внедрение систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих находить наиболее приемлемые решения на основе сочетания теоретических знаний и практического опыта.

Рассмотрены проблемы разработки систем поддержки принятия решений в сталеплавильном процессе с использованием методологии инженерии знаний. Описан прототип системы поддержки принятия решений, включающий расчетные модули и базу знаний для металлургических процессов, основанную на онтологической парадигме.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений (СППР), модель, база знаний, онтология.

Публичное акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат» является крупнейшим предприятием чёрной металлургии России. За 2018 год производство стали достигло 12,7 млн т [1].

В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и мировом рынке ПАО «ММК» решает взаимосвязанные задачи увеличения объемов производства, повышения качества продукции и непрерывного обновления сортамента в соответствии с требованиями потребителей.

Решение перечисленных задач возможно при условии постоянного совершенствования технологических процессов на всех этапах металлургического производства. Частью такого совершенствования является внедрение систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих находить наиболее приемлемые решения на основе сочетания теоретических знаний и практического опыта.

Основой современных СППР в металлургии являются модельные системы принятия решений. В доменном переделе ПАО «ММК» успешно используются модельные системы поддержки принятия решений, разработанные специалистами ММК и УрФУ [2-4].

Аналогичные по сфере использования системы разрабатываются для сталеплавильного передела. В 2014 году на кафедре металлургии и химических технологий была создана обновленная математическая модель выплавки стали в кислородном конвертере для условий ККЦ ПАО «ММК». На основе данной модели была разработана компьютерная программа, обеспечивающая расчет основных параметров конвертерной плавки [5].

Новая модель была апробирована в промышленных условиях цеха при производстве трубных ма-

рок стали класса прочности К60(Х70). Для настройки системы были использованы реальные производственные данные (50 паспортов плавок). Для адаптации математической модели использовалась модель В.Н.Селиванова (рис. 1) [6].

Программа позволила более полно учитывать влияние всех материалов на ход и результаты технологического процесса.

Разработка данного программного продукта позволила не только модернизировать работу оператора конвертера, но и создать условия для решения исследовательских задач.

Работа программы состоит из нескольких этапов:

- Подготовительный этап: вводятся исходные данные.
 - На первом этапе составляются балансовые уравнения, рассчитываются углерод чугуна, масса чистых металлических материалов, расход кислорода на продувку, количество окислившихся элементов.
 - На втором этапе рассчитывается окисление железа.
 - На третьем этапе рассчитывается газообразование.
 - На четвертом этапе рассчитывается количество и состав шлака конца продувки с учетом расхода каждого материала.
 - На пятом этапе рассчитывается количество и состав шлака для нанесения гарнисажа.
 - На шестом этапе получают выход жидкого металла по балансу железа.
 - На седьмом этапе составляется материальный баланс плавки.
 - Восьмой этап — тепловой баланс плавки.
- На рис. 2 представлен интерфейс программы.



Рис. 1. Модель адаптации математической модели В.Н.Селиванова

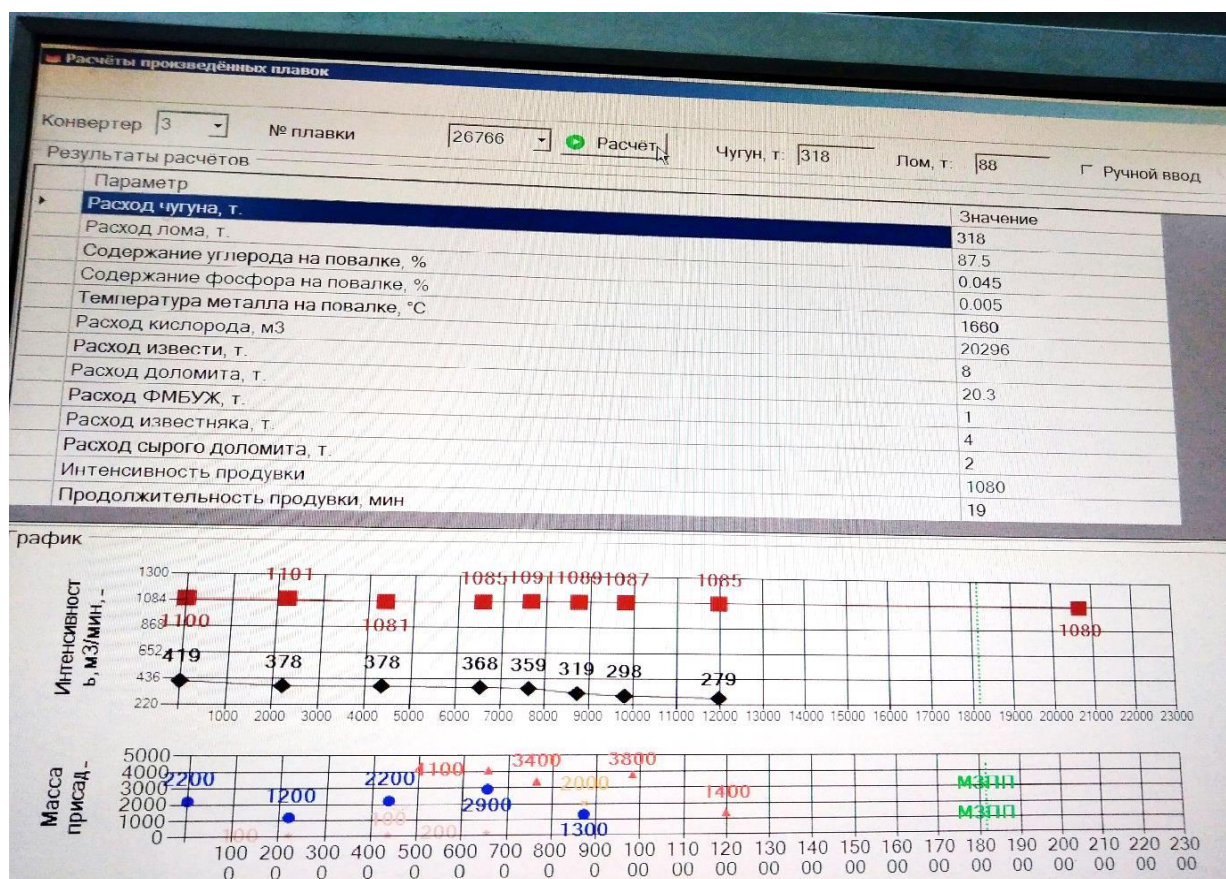


Рис. 2. Интерфейс программы поддержки принятия решения оператора кислородного конвертера

Для разработки и внедрения СППР необходимо систематизировать и единообразно формализовать теоретические и эмпирические знания в предметной области. Эта работа выполняется на основе современ-

ных методов инженерии знаний — теоретической основы современных баз знаний [7-9].

В 2018 году научной группой представителей кафедр металлургии и литейного производства и вы-

числительной техника и программирования была разработана база знаний процессов внепечной обработки стали [10].

База знаний описывалась на основе онтологической парадигмы [11]:

$$\text{Onto}=\{C,Pr,V,I,R,A,D\}$$

где C – множество классов;

R – множество отношений;

Pr - свойство классов;

V - значение свойств;

I - множество экземпляров класса;

A - множество аксиом;

D - множество алгоритмов вывода.

Рассматривались классы:

C1 - сталь, выплавленная в конвертере (электросталеплавильной печи);

C2 - сталь в процессе переработки;

C3- сталь, поступающая на машину непрерывного литья заготовки (МНЛЗ);

C4 - технологический процесс;

C5 - технологическая операция;

C6 - нормативы.

Класс C1 имеет следующие свойства:

PO - содержание кислорода (%);

PH - содержание водорода (%);

PN - содержание азота (%);

PNonMet - содержание неметаллических включений (%);

PS - содержание серы (%);

PV - содержание ванадия (%);

PNb- содержание ниобия (%);

PTi - содержание титана (%);

PSi - содержание кремния (%);

PMn - содержание марганца (%);

PAI - содержание алюминия (%);

PCa- содержание кальция (%);

PB - содержание бора (%).

Классы C2 C3 , имеют те же свойства.

Класс C4 имеет одно свойство:

Proc_Chain - последовательность технологических операций (список из экземпляров класса C5).

Класс C5 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 представлял 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 C6 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 содержание 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.

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

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

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

Определяется длительность операции.

Предложенная база знаний процессов внепечной обработки стали основана на онтологической методологии. На рис. 3 представлено описание предметной области в виде взаимодействия сущностей посредством онтографа, позволяющего компьютеру делать дедуктивный вывод. В представленном онтографе отображены свойства подклассов и свойств.

В СППР, основанной на данной 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.

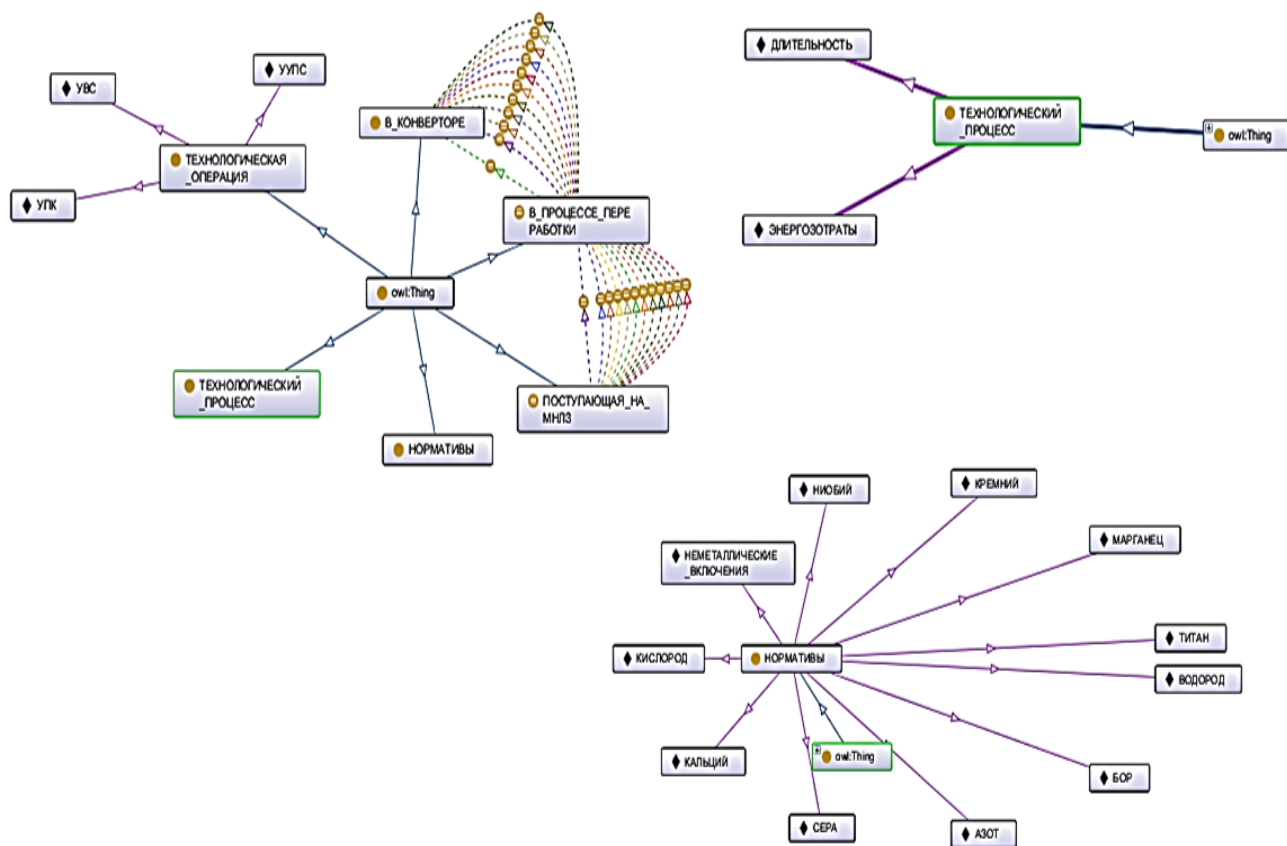


Рис. 3. Онтограф

Список литературы

1. Официальный сайт ПАО ММК. URL: <http://www.mmk.ru/about/> (дата обращения: 07.09.2019)
2. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки в металлургии / Спири́н Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др.; под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 462 с.
3. Лавров В.В., Спири́н Н.А., Гури́н 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.
4. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учеб. пособие / Спири́н Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 558 с.
5. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Моделирование выплавки стали в кислородном конвертере на базе физико-химических и тепловых процессов// Известия вузов. Черная металлургия. 2017;60(9):698-705
6. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Метод моделирования процесса выплавки стали в конвертере с использованием производственных данных // ТИТМП. 2015. №1 (16). С. 53-56.
7. Гаврилова Т.А., В.Ф. Хорошевский Базы знаний интеллектуальных систем. /СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Литвин В.В. Технології менеджменту знань. /Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 260 с.
9. Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко, М.В. Зарецкий База знаний автоматизированной системы технологической подготовки производства для переработки рудного сырья / // Автоматизированные технологии и производства. № 4 2016 (14). С. 70 – 44.
10. База знаний процессов внепечной обработки стали / В.А. Бигеев, М.В. Зарецкий, Е.А. Соколова, П.С. Власова // Информационные технологии поддержки принятия решений: труды VII Всероссийской научной конференции. Уфа, 2019. С. 125-129.
11. Черняховская Л.Р., А.И. Малахова Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте // Информационные технологии и системы: труды Второй междунар. конф. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111 – 114.

Сведения об авторах

Зарецкий Марк Валентинович – ст. преп. каф. ВТиП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: m-zaretsky@yandex.ru

Соколова Екатерина Владиславовна – аспирант института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Email: katish_moon@mail.ru

Власова Полина Сергеевна – магистрант института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Email: vlasova.polina97@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STEELMAKING PRODUCTION BY METHODS OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

Zaretsky Mark Valentinovich – Assistaut Professor of the Department of "Computer Science and Programming" "Nosov Magnitogorsk State Technical University". E-mail: m-zaretsky@yandex.ru.

Sokolova Ekaterina Vladislavovna - Post-graduate Student of the Institute Of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, "Nosov Magnitogorsk state technical University". Email: katish_moon@mail.ru

Vlasova Polina Sergeevna – Master Degree Student of the Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, "Nosov Magnitogorsk State Technical University". Email: vlasova.polina@gmail.com

***Abstract:** In a highly competitive domestic and global market public joint stock company "Magnitogorsk iron and steel works» solves interrelated problems of increasing production, improving product quality and continuous updating of the range in accordance with the needs of consumers. The solution of the listed tasks is possible on condition of continuous improvement of technological processes at all stages of metallurgical production. Part of this improvement is the introduction of decision support systems (DSS), which allow to find the most appropriate solutions based on a combination of theoretical knowledge and practical experience. The problems of development of decision support systems in the steelmaking process using the methodology of knowledge engineering are considered. A prototype of a decision support system including calculation modules and a knowledge base for metallurgical processes based on the ontological paradigm is described.*

***Keywords:** decision support system (DSS), model, knowledge base, ontology*

Ссылка на статью:

Зарецкий М.В., Соколова Е.В., Власова П.С. Моделирования технологических процессов сталеплавильного производства методами инженерных технологий // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 12-16.

Zaretsky M.V., Sokolova E.V., Vlasova P.S. Modeling of technological processes of steelmaking production by methods of engineering technologies. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 12-16.