



The experience of implementation into the electrical steel production technological process of optimization models and logical principles of costs control is shown.

В. В. ПИКУЛЬ, А. Е. ЕРОШЕНКО, РУП «БМЗ»

УДК 669.

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЛЕГИРОВАНИЕ И РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ ФЕРРОСПЛАВАМИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙСТВЕННЫМ СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ РУП «БМЗ»

В алгоритм решения задачи снижения затрат заложен оптимизационный расчет двойственным симплекс-методом, выраженный в виде математической модели, который в дальнейшем реализован в виде программы, позволяющей производить расчет отдачи легирующих материалов с наименьшей суммарной стоимостью, обеспечивая при этом соблюдение всех технологических условий и физико-химических параметров конечной продукции.

Одной из основных статей в структуре материальных затрат электросталеплавильного цеха являются ферросплавы, используемые для раскисления и легирования стали. В зависимости от марки стали и сортамента выпускаемой продукции эти затраты составляют 3–40% от общей стоимости материальных затрат.

Рассмотрим три основных фактора снижения затрат на раскисление и легирование стали:

1) ценовой — поиск поставщиков, готовых реализовать ферросплавы на приемлемых условиях, по разумным ценам и с необходимым качеством;

2) технологический — связан с технологией производства и направлен на снижение удельного расхода ферросплавов за счет снижения его угара путем изменения схемы введения материала в плавку;

3) комбинационный — использование взаимозаменяемости ферросплавов.

Подробнее остановимся на комбинационном факторе снижения затрат на раскисление и легирование. Выплавка стали с заданным химическим составом и механическими свойствами возможна путем введения в нее различных комбинаций ферросплавов. В настоящее время конъюнктура рынка такова, что цены на материалы, имеющие в

своем составе одни и те же чистые элементы, только в разном процентном отношении значительно различаются по стоимости. Соответственно более реальную картину стоимости ферросплавов можно увидеть только в том случае, если произвести пересчет цены 1 т ферросплава в цену входящих в него чистых элементов.

Вместе с тем, даже пересчет стоимости ферросплавов на чистый элемент не дает объективной картины об экономической целесообразности использования различных видов ферросплавов. Ферросплавы представляют собой комплексные материалы, большинство из которых содержит более одного полезного элемента, и уравнивание их стоимости в рамках одного вида не будет являться верным решением задачи по снижению затрат. Кроме того, каждый материал имеет свои специфические физико-химические свойства, такие, как содержание углерода, примесей, степень усвоения элементов, раскисляющую способность и ряд других, которые, в конечном итоге, влияют на количество расхода рассматриваемого материала относительно его аналогов и ограничивают возможность его использования (например, по содержанию углерода).

Следовательно, решение проблемы по подбору оптимальных вариантов расхода ферросплавов выходит за рамки арифметической задачи и требует более сложного расчета, который бы обеспечил как экономическую целесообразность, так и технологическую приемлемость полученной в результате расчета рецептуры раскисления и легирования стали.

Для перехода к оптимальному решению необходимо разработать оптимизационную модель. Отличительные признаки данной модели:

- алгоритм расчета изменения химического состава стали в результате ее легирования и

раскисления ферросплавами с учетом заданных технологических параметров;

- наличие критериев оптимизации – минимальная суммарная стоимость использованных ферросплавов;

- система ограничений – химический состав заданной марки стали, углеродный эквивалент, значение отношения Mn/Si и др.

В результате реализации данной модели была разработана программа расчета, планирования и анализа затрат на ферросплавы “FerroCalc”. Изначально упрощенный вариант программы был создан в приложении MS Office “Excel”, а затем в среде программирования DELPHI.

В алгоритм решения заложен оптимизационный расчет двойственным симплекс-методом, выраженный в виде математической модели:

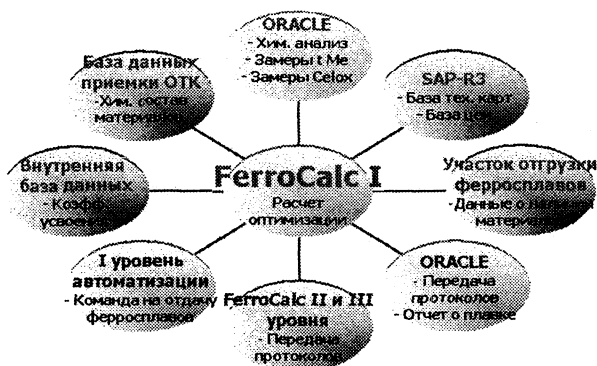
$$\sum_{i=1}^m c_i x_i \rightarrow \min,$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \geq b_j, j = \overline{1, n},$$

$$x_i \geq 0, i = \overline{1, m},$$

где c_i и x_i – соответственно цена и масса материала; a_{ij} – содержание химических элементов в материале; b_j – ограничения по химическому составу.

Схематично блок-схема программы «FerroCalc I» приведена ниже.



Программа интерактивно взаимодействует со вторым уровнем автоматизации сталеплавильного производства на базе системы ORACLE. Автоматически в алгоритм расчета поступают данные по химическому анализу отобранных проб металла, замерам температуры и замерам активности кислорода по данным прибора “MultiLab Celox”. Также программа автоматически взаимодействует с существующими в системе SAP R/3 базами технологических карт марок стали, откуда в алгоритм расчета поступают данные по требуемому химическому составу металла согласно действующему марочнику сталей. Кроме того, программа автоматически обращается к базе данных за среднескользящей

стоимостью ферросплавов, сложившейся на момент проведения расчетов.

Также программа контактирует с базой данных внешней приемки ОТК, из которой в алгоритм расчета поступают данные по химическому составу материалов. И, наконец, программа имеет внутреннюю базу данных, в которую заносятся среднестатистические значения усвоения ферросплавов. Расчет влияния угара ферросплавов реализован в двух вариантах: по основному варианту расчет ведется по показаниям замеров активности кислорода системой “MultiLab Celox”, а по вспомогательному варианту – на основании данных внутренней базы данных по среднестатистическим значениям усвоения ферросплавов.

Программа имеет три уровня. Первый уровень установлен непосредственно на пультах управления дугowymi электропечами № 1 и 2. Пользователем программы является сталевар печи либо печь-ковша. В его задачу входит оперативный расчет оптимального расхода ферросплавов непосредственно на текущей плавке. Интерфейс программы показан на рис. 1.

Сталеваром в исполняющем окне задаются лишь три параметра: марка стали, номер плавки и номер пробы для расчета. После ввода параметров программа выдает расчет по рекомендуемой отдаче ферросплавов, который, с одной стороны, является экономически оптимальным, а с другой – обеспечивает попадание в заданный химический состав с учетом таких дополнительных параметров, как $C_{экв}$ и соотношение Si/Mn.

Программа настроена таким образом, что расчет отдачи легирующих материалов обеспечивает попадание в заданный химический анализ по нижнему пределу допуска с учетом поправочного коэффициента на погрешность данных, что обусловлено опять-таки экономической целесообразностью. Вместе с тем, так как выплавка электростали является сложнейшим производственным процессом, то учесть и автоматизировать все возможные факторы, способные повлиять как на конечный, так и на требуемый в силу сложившихся производственных условий химический состав плавки, с одной стороны, невозможно, а с другой – нецелесообразно.

Исходя из этого, в программе реализована возможность корректировки данных по химическому составу цели (требуемого конечного химического состава) в пределах допусков, регламентированных технологическими картами, а также возможность внесения корректировок в химический состав пробы металла, выбранной для расчета. Таким образом, технологическому персоналу предоставлена возможность влиять на ход расчета отдачи легирующих материалов, что позволяет максимально приблизить полученный результат к требованиям сложившихся в текущий момент времени условий технологического процесса. Кро-

ме того, все внесенные технологическим персоналом изменения в виде протоколов сохраняются в базе данных. В дальнейшем формируются отчеты, позволяющие провести качественный анализ работы технологического персонала в части расхода ферросплавов на любом уровне — от отдельно взятой плавки до годового объема производства. Кроме того, когда внесенные технологическим персоналом изменения в расчет отдачи легирующих элементов имеют постоянную тенденцию, можно сделать соответствующие выводы о причинах, приводящих

к необходимости их внесения, и произвести соответствующие корректировки в самой программе путем уточнения исходных данных расчета. Таким образом, программа работает совместно с технологическим персоналом в режиме постоянного взаимного «обучения».

Испытания программы дали положительные результаты. Рекомендуемая программой шихтовка обеспечивает попадание в химический анализ, углеродный эквивалент, а также заданное соотношение Si/Mn. Более того, дальнейший технико-экономический анализ показал, что снижение затрат на легирующие материалы на опытных плавках составляет до 10–15% относительно базовой технологии.

Последующая работа в данном направлении указала на то, что расчет оптимальной шихтовки — это лишь часть задачи, так как в практической деятельности нужна согласованная работа целого ряда служб и подразделений. Для обеспечения оптимальных результатов не в масштабе отдельно взятой плавки, а месячного производства следует в условии задачи заложить производственную программу выплавки стали, рассчитать объем закупок, а также учесть возможность изменения производственной программы в течение рассматриваемого периода. Таким образом, задача переходит в необходимость согласования работы производственных и технологических служб, служб снабжения, сбыта, ОТК, ЭСПЦ и ряда других производственных подразделений. В результате этого проект переходит на абсолютно новый качественный уровень и постепенно, в процессе решения ряда вопросов уже не в масштабе дуго-

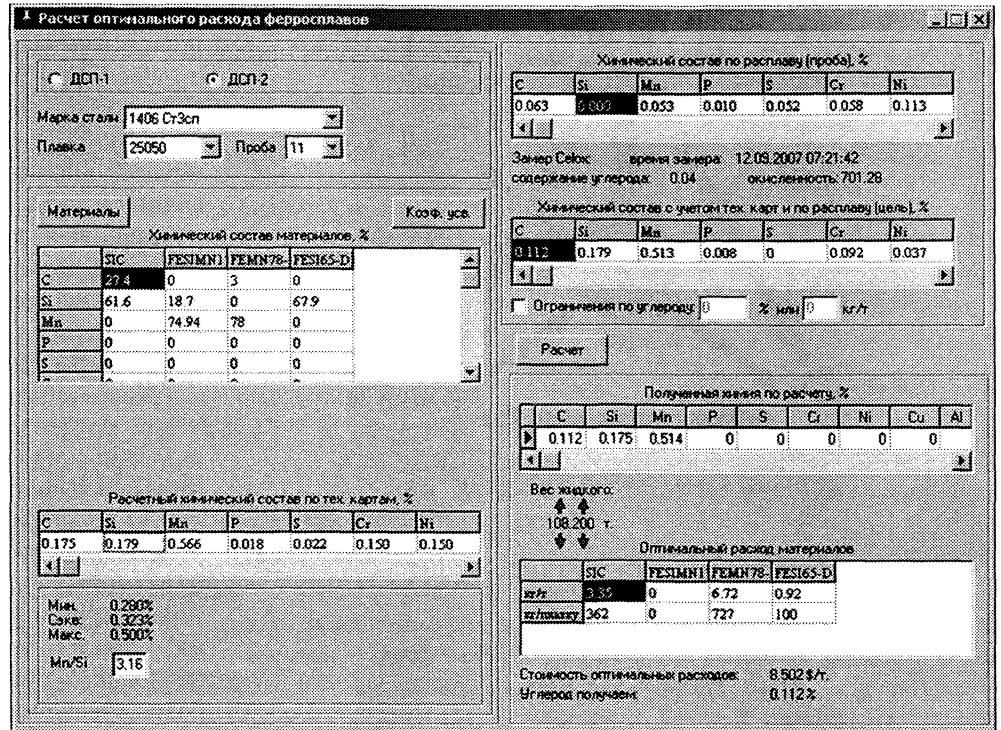


Рис. 1. Интерфейс программы "FerroCalc" первого уровня

вой электропечи, а в масштабе завода, программа, изначально предназначенная для решения достаточно узкой задачи, должна быть преобразована в достаточно сложную систему, способную решать проблемы логистики материальных потоков.

Именно здесь заложен основной резерв снижения затрат, так как для одного хозяйствующего субъекта цепочка движения материального потока состоит из взаимодействия различных служб одного или нескольких предприятий. И в этом состоит основная проблема, так как при традиционном подходе задача совершенствования сквозного материального потока внутри предприятия, как правило, не имеет приоритетного значения ни для одного из подразделений. Соответственно каждый участник цепочки, выполняя лишь одну отведенную ему функцию, не может выполнить ее на оптимальном уровне, так как, во-первых, несет ответственность только за свое звено в цепи материального потока, а, во-вторых, владеет сопутствующими информационными и финансовыми потоками лишь в ограниченных спецификой своей работы объемах или же не владеет ими вообще.

Решение данной проблемы приводит к образованию саморегулирующейся системы, позволяющей максимально оптимизировать рассматриваемые материальные и информационные потоки. В нашем случае данная система показана на рис. 2.

Естественно, что в основу системы положены программы "Oracle" и SAP R3. "Oracle" на РУП «БМЗ» является основной информационной системой сталеплавильного производства, которая взаимодействует со всеми уровнями автоматиза-

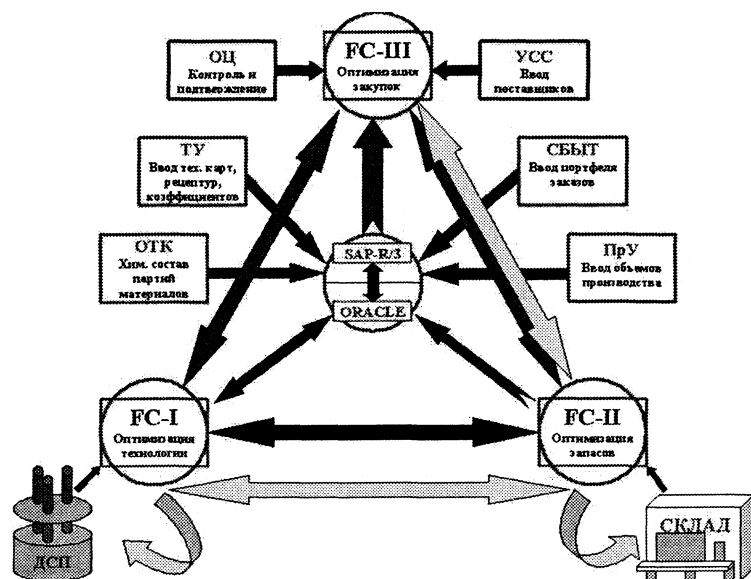


Рис. 2. Схема взаимодействия материальных и информационных потоков в системе оптимизации затрат на ферросплавы: **→** — информационные потоки; **⇄** — материальные потоки

ции технологического процесса. Здесь аккумулируются, анализируются и хранятся данные по всему технологическому циклу производства электростали. Система SAP R3 внедрена на заводе значительно позже, работа по ее внедрению во все структуры предприятия производится и в настоящее время. На SAP R3 возложены гораздо более широкие функции — пользователями системы являются производственные цеха, службы и управления всего предприятия. При внедрении системы SAP R3 в сталеплавильном производстве было принято решение совместить возможности двух систем — “Oracle” и SAP-R3, в результате чего образовался тандем со сложной структурой обмена информацией, автоматизированной передачей протоколов, пакетной передачи данных.

В настоящее время, кроме уже реализованного модуля “FerroCalc-I”, дополнительно создаются еще два уровня: “FerroCalc II” и “FerroCalc III”. Модуль второго уровня предназначен для использования на участке хранения и отгрузки ферросплавов, его основной функцией является учет, управление и оптимизация складских запасов. Вместе с поступлением партий материала автоматически в базы данных модуля из системы SAP R3 заносится информация о поставщике, количестве, химическом составе и стоимости материала. На пользователей модуля возложена обязанность лишь осуществлять контроль за точностью входящих и исходящих данных, соответствие информации по количеству и сортаменту материалов фактическому наличию на складе и высотных бункерах дуговых электропечей.

“FerroCalc III” третьего уровня выступает, с одной стороны, как база данных по поставщикам и в то же время является программой расчета объемов и оптимизации закупок ферросплавов. Основной обязанностью службы снабжения является ввод в систему информации о поставщиках, ценах на материалы, сроках поставки материалов на завод с учетом времени на проведение торгов, оформленные закупки, доставку и таможенное оформление грузов.

Использование системы оптимизации затрат на ферросплавы предполагает кардинальное изменение системы нормирования, а именно переход от общепринятой методики нормирования расхода конкретных наименований ферросплавов в удельных показателях к нормированию в чистых элементах. Данная методика является наиболее прогрессивной и позволяет создать гибкую нормативную базу, обеспечивающую достижение наилучших технико-экономических результатов, возможность более объективно оценивать работу технологического персонала и проводить качественный анализ расхода ферросплавов.

Расчет оптимизации технологии позволил производить расход материалов на каждую плавку с наименьшими суммарными затратами, а также с учетом производственной программы сформировать потребности ферросплавов в объемах, обеспечивающих их оптимальный расход. Последовательное расширение возможностей разработанной программы способствовало построению логистической цепочки, позволяющей рассматривать и анализировать затраты на легирование и раскисление стали как единый материальный поток начиная с процедуры закупки материалов и заканчивая их использованием в производстве на отдельно взятой плавке. Программа расширена до трех уровней, каждый из которых интерактивно взаимодействует между собой, но при этом используется функционально различными субъектами (пользователями), в результате чего получена саморегулирующаяся система, позволяющая производить расчет рецептуры отдачи легирующих материалов, их закупку, создание запасов и использование в производстве с наименьшими суммарными затратами.

Технико-экономический анализ результатов внедрения в технологический процесс описанной системы показал, что снижение затрат на ферросплавы при ее использовании составляет до 10–15% относительно базовой технологии производства и действующей схемы закупок легирующих материалов.