

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ОКОУКНИ Патрик Ибара

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ САПР  
ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СТАЛИ

Специальность 05.16.02 — «Металлургия  
черных металлов»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ДОНЕЦК — 1993



Диссертационная работа  
"Донецкого политехнического института"

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор *Пономаренко А.Г.*

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор *Козаков А.А.*; кандидат технических наук, доцент *Зборишк А.М.*

Ведущее предприятие - Производственное объединение "Новокраматорский машиностроительный завод".

Защита состоится « 24 » июня 1993 г. в 12 часов в аудитории 353 пятого учебного корпуса на заседании специализированного совета Д 068.20.01 в Донецком политехническом институте (340000, г. Донецк, ул. Артема, 58).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан « 21 » мая 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
Д 068.20.01, доктор технических  
наук, профессор

Ярошевский С.Л.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

### Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Решающим показателем уровня развития производства является совершенство технологии, определяемое сочетанием высокого качества продукции, производительности, экономичности, экологических и других показателей. Одним из основных средств, позволяющих максимально реализовать имеющиеся возможности для такого развития, является информатизация производства на базе современной вычислительной техники.

В области производства стали этот процесс до последнего времени сводился, в основном, к переходу от традиционных систем автоматизации к компьютерным системам управления, а сам технологический процесс (ТП) плавки оставался вне сферы информатики, если не считать отдельных его элементов.

Даже наиболее совершенные системы компьютерного управления плавкой, из числа реализованных к настоящему времени, ориентированы почти исключительно на исполнение технологических схем и режимов, предварительно разрабатываемых металлургами. Собственно технология не охватывалась системами автоматизации, если не считать создания различных автоматизированных рабочих мест (АРМ) технолога.

Причиной этого до последнего времени оставалась принципиальная нерешенность ряда теоретических вопросов построения обобщенной модели сталеплавильного процесса. Прежде всего это касается термодинамического и кинетического описания системы "металл-шлак-газ", основанного на традиционном представлении системы в виде некоторой суммы стехиометрических уравнений частных химических реакций". Дискуссионность вопроса о виде химических соединений, образующихся и разрушающихся в предполагаемых химических реакциях, отсутствие прямых физических методов их идентификации, не позволяло формализовать описание процесса в целом.

Теоретические разработки последних лет позволили существенно продвинуться в этом направлении, главным образом благодаря последовательной реализации метода Гиббса, выразившейся в замене представления о высокотемпературной физико-химической системе как сумме стехиометрических соединений и реакции между ними, представлением ее в виде системы реагирующих фаз. Это позволило резко упростить и сделать однозначной запись условия химического равновесия, как простого равенства химических потенциалов компонентов сосуществующих

ших фаз; в химическом описании процессов отказ от рассмотрения частных реакций позволил естественным образом учесть взаимодействие потоков вещества, приводящее, например, к восходящей диффузии, эффекту накачки и другим явлениям, играющим существенную роль в реальных процессах, но остающихся вне поля зрения традиционной кинетики и, наконец, дать строгое описание систем, включающих элементы переменной валентности, к числу которых относится большая часть легирующих и сама основа стали - железо.

На основании указанных теоретических результатов на кафедре электрометаллургии ДПИ разработан интегрированный пакет прикладных программ "ОРАКУЛ", позволяющий синтезировать решение широкого круга теоретических и прикладных задач, связанных с взаимодействием металлургических расплавов. Этим была подготовлена основа для построения обобщенной модели сталеплавильного процесса и конкретных алгоритмов автоматического проектирования технологии. Таким образом, к началу работы были созданы предпосылки, позволяющие сделать очередной шаг в информатизации сталеплавильного производства.

**Цель исследования.** В настоящей работе ставились следующие задачи:

1. Введение в термодинамическую модель оксидной фазы (уравнение состояния) учета переменной валентности и определение численных значений параметров, характеризующих валентность важнейших легирующих элементов (хром, марганец, ванадий).

2. Синтез алгоритма классической технологии плавки стали с полным окислением, позволяющего на основании технического задания (ТЗ) на плавку автоматически выдавать полную технологическую карту (ТК) плавки как оптимизированный результат комплекса взаимосогласованных расчетов материального и энергетического балансов, термодинамического и экономического расчетов, учета кинетических сдвигов.

3. Контрольный расчет ТК плавки на примере выплавки одной из легированных марок стали в условиях Производственного объединения "Новокраматорский машиностроительный завод" (ПО "НКМЗ") для оценки перспектив внедрения системы на этом заводе.

#### **Научная новизна.**

1. Уточнено уравнение квантовой статистики, связывающее валентность (степень окисления) элемента с окислительно-восстановительным потенциалом системы.

2. На основании обработки массива имеющихся литературных данных определены численные значения параметров, характеризующих степень окисления хрома, марганца и ванадия в металлургических шлаках.

3. Впервые синтезирован полный алгоритм автоматического расчета оптимизированной по затратам ТК плавки стали в ДСП с полным окислением на базе интегрированного пакета прикладных программ "ОРАКУЛ".

Алгоритм предназначен для предварительного планирования как отдельной плавки (технико-экономический анализ вариантов технологии, согласование работы обеспечивающих служб и т.д.), так и перспективного планирования материально-технического снабжения участка, цеха и т. д. Высокое быстродействие пакета "ОРАКУЛ" позволяет использовать тот же алгоритм в АСУ для оперативной корректировки технологии плавки в реальном масштабе времени при возникающих отклонениях, ошибках и сбоях.

**Практическая значимость работы.** Введенный в модель фазы учет переменной валентности повышает точность расчетов системы "ОРАКУЛ" и расширяет круг решаемых задач (расчет свойств нестехиометрических соединений, распределение примесей и другие).

Алгоритм автоматического планирования технологии одобрен ПО "НКИЗ" и рекомендован для внедрения в мартеновском цехе этого завода на хозяйственной основе в режиме советчика сталевара с перспективой последующего интегрирования в общезаводскую компьютерную систему.

**Публикация работы.** По материалам диссертации опубликовано две статьи.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованной литературы (123 наименования), приложения; содержит 17 рисунков, 20 таблиц.

#### Основное содержание работы

В первой главе проанализировано состояние исследуемого вопроса.

При проектировании таких сложных процессов, каким является

технологический процесс плавки, удобным является многоуровневый подход, согласно которому технологический процесс представляется как некоторая структура, состоящая из элементов трех уровней:

- 1) принципиальная схема технологического процесса, определяющая состав и последовательность технологических этапов (периодов);
- 2) технологические этапы (периоды) плавки, в которых определяются состав и последовательность технологических операций;
- 3) технологические операции, представляющие собой пространственно-временное выполнение определенного действия в каждом периоде.

Обычно, для облегчения процесса проектирования технологии и исключения грубых ошибок, предварительно разрабатываются заводские технологические инструкции, регламентирующие принципиальную схему и основные параметры технологического процесса. Проектирование каждой конкретной плавки сводится к расчету лишь тех величин, которые отличны на каждой плавке и могут изменяться по ситуации.

Для заданной схемы технологического процесса основная задача инженера-технолога при проектировании заключается в синтезе оптимальных управляющих параметров процесса. При этом решающую роль играет способность технолога предвидеть результаты тех или иных воздействий на технологический процесс. Именно здесь проявляются опыт и интуиция технолога при традиционном проектировании. Возникающие при этом трудности минимальны при крупном производстве сталей однородного сортамента и хорошо организованной подготовке сырья, однако они часто становятся серьезной проблемой при мелкосерийном производстве продукции широкого сортамента, нестабильном по качеству сырье, работе в условиях изменяющейся конъюнктуры. Здесь важно отметить то обстоятельство, что указанные трудности чаще всего связаны не с невозможностью качественной работы печей в тех или иных условиях, а с резко возрастающей сложностью оптимизации технологии. Именно такие задачи эффективно решаются на основе информационных технологий с применением современных средств вычислительной техники (ВТ), к числу которых относятся системы автоматического проектирования (САПР). САПР ТП в основном имитирует работу технолога, она "держит в памяти" и оперативно использует огромный объем теоретических знаний, практического опыта, справочных материалов, наиболее современных методов расчета, может "проиграть" множество вариантов плавки и выбрать лучший. Однако применение этих знаний в САПР требует их представления на машинном языке в виде алгоритмов и

программ.

Информация о физико-химических процессах, протекающих в сталеплавильной ванне, вводится с помощью специально разработанной математической модели плавки. В настоящее время подавляющее большинство математических описаний сталеплавильных процессов опирается на статистические модели, не учитывающие физико-химические закономерности процесса. Такие модели не эффективны для прогнозирования, тем более проектирования из-за необходимости учета слишком большого числа эмпирически определяемых параметров.

Рациональная математическая модель сложных процессов, таких как сталеплавильные, должна опираться на физико-химические законы и строиться в терминах обычных термодинамических переменных (включая описание кинетических явлений). В этом случае модель полностью опирается на надежные базы фундаментальных термодинамических констант, и лишь недостающие параметры определяются статистически, при адаптации модели к конкретному объекту.

Обычный алгоритм приложения термодинамики для описания сталеплавильных процессов заключается в написании предполагаемого уравнения реакции и соответствующего выражения закона действующих масс, откуда определяют равновесное содержание компонента в соответствующей фазе:

$$m[R] + n[O] = (R_m O_n) \quad (1)$$

$$\ln K_R = \ln \frac{a_{(R_m O_n)}}{a_{[R]}^m a_{[O]}^n} = \frac{A}{T} + B \quad (2)$$

$$X_{[R]} = \left[ \frac{X_{(R_m O_n)} \gamma_{(R_m O_n)}}{\gamma_{[R]}^m (X_{[O]} \gamma_{[O]})^n K_R} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

где  $X_i$ ,  $a_i$ ,  $\gamma_i$  - мольная доля, активность и коэффициент активности элемента или соединения  $i$  соответственно;  $K_R$  - константа равновесия;  $A, B$  - постоянные коэффициенты.

Однако отсутствие физических методов, позволяющих идентифицировать форму существования компонента в конденсированной фазе приводит к тому, что распределение одного и того же элемента может быть представлено множеством уравнений реакции (т.е. множеством значений стехиометрических коэффициентов  $m$  и  $n$ ), поэтому получаемое

равновесное содержание будет зависеть от принятой реакции. Противоречивость этого метода обостряется при описании распределения элементов с переменной валентностью. Очевидно, что этот путь, получивший название "метод активностей", не может быть формализован.

Общее решение задачи описания равновесия в рассматриваемой системе, свободное от предположений относительно возможных реакций, может быть получено при едином выборе компонентов всех фаз в качестве независимых переменных. Такими компонентами наиболее удобно принять элементы периодической системы. Это позволяет использовать для описания распределения компонентов (элементов) между фазами более общий подход, основанный на методе Гиббса. Этот метод исходит из постулата, согласно которому любая материальная система имеет свое особое уравнение состояния. Зная уравнения состояния фаз, участвующих в плавке, например, в виде

$$G_{\alpha} = G_{\alpha}(P, T, m_1^{\alpha}, m_2^{\alpha}, \dots, m_k^{\alpha}), \quad (4)$$

и используя условие равновесия  $\delta G \geq 0$  или вытекающее из него условие равенства химических потенциалов 1-ого компонента во всех фазах

$$\mu_1^1 = \mu_1^2 = \mu_1^3 = \dots = \mu_1^n, \quad (5)$$

можно по "брутто-массе" каждого компонента в системе

$$m_1^{\text{общ}} = m_1^1 + m_1^2 + \dots + m_1^n = \sum_{\alpha=1}^n m_1^{\alpha} \quad (6)$$

определить состав всех фаз по достижении равновесия при заданной температуре и давлении ( $G$  - энергия Гиббса;  $\alpha$  - индекс фазы,  $\alpha=1+n$ ;  $m_1^{\alpha}$  - масса элемента 1 в фазе  $\alpha$ ,  $i=1+k$ ).

Главной задачей при использовании этого метода для описания сталеплавильного процесса является нахождение уравнений состояния всех фаз, участвующих в плавке. Если известен вид уравнений состояния фаз, то определение свойств каждой фазы и системы в целом сводится к чисто формальным математическим преобразованиям.

Установление точного вида функции состояния для сложных систем, таких как металлические и шлаковые расплавы, практически невозможно. Поэтому приходится создавать приближенные модели, основанные на тех или иных допущениях о строении фазы. Помимо упрощения расчета, модели дают наглядное представление о строении фазы и позволяют интерпретировать полученные результаты.

Принципиальным моментом при создании моделей конденсированных

фаз для количественных расчетов является способ выбора компонентов фазы. В случае металлического расплава существует определенное единогласие по этому вопросу. В качестве компонентов металлического расплава принимаются элементы, составляющие данную фазу. На этой основе разработано большое количество моделей для количественного описания металлических расплавов.

Более сложно обстоит дело в случае шлаковой фазы. Здесь нет единого подхода к выбору компонентов фазы. Существуют различные представления о строении шлакового расплава. В диссертации рассмотрены и проанализированы модели, наиболее часто используемые для описания шлаковых расплавов.

В молекулярных моделях в качестве компонентов шлакового расплава принимают молекулы, в ионных моделях - ионы, в полимерных - полимеры. Эти модели не позволяют применить общий формальный метод Гиббса для описания распределения элементов между металлической и шлаковой фазами, так как принятые в них компоненты (молекулы или ионы) не являются независимыми. Система металл-шлак термодинамически полностью определена, если задан атомный (элементный) состав и внешние условия (давление и температура). Следовательно, за компоненты шлаковой фазы можно также, как и металлической, принимать элементы периодической системы. Именно такой подход применяется в модели коллективизированных электронов (МКЭ), которая рассматривает шлак как непрерывную ядерную матрицу, связанную системой коллективизированных электронов, подобной системе электронов в молекуле. МКЭ приводит к следующему уравнению:

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln \phi_1 X_1 + \mu \nu_1 \quad (7)$$

где  $\mu_1^0$ ,  $\nu_1$ ,  $\phi_1$  - стандартное значение химического потенциала, валентность (степень окисления) и номинальный коэффициент активности элемента 1;  $\mu$  - химический потенциал электронов (уровень Ферми).

Несомненным достоинством МКЭ является обоснованный выбор компонентов шлаковой фазы и выделение электронной составляющей  $\mu \nu_1$ , что позволяет наиболее простым способом применить упомянутый выше метод Гиббса для описания равновесия с участием шлака. Вместе с тем, проблема, связанная с формой существования компонента в шлаковой фазе, полностью не решена. В обычно используемых формулах МКЭ выбор формы существования того или иного компонента в шлаке косвенно осуществляется путем принятия значения его валентности. При этом

зачастую принимается целочисленное значение валентности компоненте в шлаковой фазе, исходя из законов классической химии (в частности, закона стехиометрии), точно выполняющихся только в обособленных молекулах.

Однако физико-химические исследования конденсированных фаз и, в частности, шлаков, показывают отступления от закона стехиометрии и возможность дробных значений валентности. Исходя из сказанного, валентность элемента в шлаковой фазе следует рассматривать как статистическую величину, в общем случае не имеющую целочисленного значения. Это особо существенно для элементов с переменной валентностью, характерной для переходных элементов.

На кафедре "Электрометаллургия" Донецкого политехнического института разрабатывается интегрированный пакет прикладных программ "ОРАКУЛ", состоящий из термодинамической модели "металл-шлак-газ", системы адаптации и оптимизационной системы. Центральный элемент этого пакета - термодинамическая модель - построена на основе метода Гиббса, при этом химический потенциал компонента в шлаковой фазе определяется по формулам МКЭ. Отсутствие методов учета переменной валентности ограничивает возможности этой модели при расчете распределения элементов переменной валентности, таких как Cr, V, Mn. В этом случае приходится принимать целочисленное значение валентности, обеспечивающее необходимую точность расчета, что затрудняет применение пакета "ОРАКУЛ" при проектировании.

На основании анализа состояния вопроса сформулированы цели работы:

1. Разработать вариант термодинамической модели фазы с коллективизированными электронами, позволяющий учитывать переменную валентность компонентов легированной стали (Cr, V, Mn).
2. Ввести учет переменной валентности этих элементов в термодинамическую модель "металл-шлак-газ".
3. На основе интегрированного пакета программ "ОРАКУЛ" разработать алгоритм проектирования технологического процесса плавки с полным окислением.
4. Разработать необходимый для этого комплект вспомогательных алгоритмов и программ для САПР ТП плавки с полным окислением.
5. Проиллюстрировать работу САПР ТП на конкретном примере.

Вторая глава посвящена учету переменной валентности в термодинамической модели "металл-шлак". Учет переменной валентности в рамках модели коллективизированных электронов предполагает получение уравнения расчета валентности. Для этого были использованы положения квантовой механики, согласно которым валентность элемента в фазе определяется степенью заселенности электронами соответствующих энергетических уровней и по абсолютному значению равна среднему числу электронов, отданных или полученных атомом данного элемента при образовании фазы. Численное значение валентности элемента определяется путем вычитания из числа электронов в изолированном атоме данного элемента числа электронов на уровнях атомов этого же элемента в фазе:

$$v_i = Z_i - \frac{1}{N_i} \int_{-\infty}^{+\infty} f(E) N_i(E) dE, \quad (8)$$

где  $Z_i$  - порядковый номер элемента  $i$  в периодической системе;  $N_i$  - число атомов сорта  $i$ ;  $f(E)$  - функция Ферми-Дирака;  $N_i(E)$  - плотность энергетических состояний.

После упрощения и преобразования уравнения (8) с целью выражения валентности через параметры, поддающиеся прямому измерению, получено следующее уравнение для валентности  $i$ -ого элемента в шлаковой фазе:

$$v_i = v_i^{\max} - s + \sum_{j=1}^s \frac{1}{1 + \left[ \frac{l_o}{l_{oj}} \right]^{1/2}}, \quad (9)$$

где  $v_i^{\max}$  - максимально возможное целочисленное значение валентности  $i$ -ого элемента в шлаковой фазе;  $s$  - число энергетических уровней, в которых изменяется заселенность электронами;  $l_o$  - коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком;  $l_{oj}$  - параметр уравнения, соответствующий  $j$ -ому энергетическому уровню в энергетическом спектре шлаковой фазы.

Решение дифференциального уравнения закона действующих масс

$$\frac{\partial \ln(l_i)}{\partial \ln(l_o)} = - \frac{v_i}{2} \quad (10)$$

с учетом полученного уравнения валентности (9) приводит к уравнению для расчета распределения элементов переменной валентности между

металлом и шлаком:

$$\ln(l_1) = \ln C_1 + \sum_{j=1}^s \ln(l_{Oj}^{-1/2} + l_{Oj}^{-1/2}) + (v_1^{\max} - s) \ln(l_{Oj}^{-1/2}), \quad (11)$$

где  $C_1$  - постоянная интегрирования, зависящая от температуры.

Практическое применение полученного уравнения требует определения его параметров. Для этой цели было собрано большое количество экспериментальных данных (около 300) по распределению элементов переменной валентности между металлом и шлаком, охватывающих широкий диапазон окисленности. Каждая экспериментальная точка представляет собой химические составы металла и шлака, равновесные при известной температуре. Определение расчетных значений параметров уравнения (11) производилось с помощью специально разработанной оптимизационной программы для ЭВМ, составленной на основе метода Ньютона с численным вычислением производных. В таблице приведены полученные результаты, а в рис.1 - экспериментальные точки и соответствующие расчетные зависимости валентностей и коэффициентов распределения элементов от коэффициента распределения кислорода.

Таблица.

Температурные зависимости (A/T+B) параметров уравнения (11).

эл-т	$v_1^{\max}$	s	$\lg C_1$		$\lg l_{O1}$		$\lg l_{O2}$		$\lg l_{O3}$		$\sigma$
			A	B	A	B	A	B	A	B	
Cr	+3	3	112664	-6.34	66686	0.83	66686	0.83	63777	-0.71	0.26
Mn	+3	1	96593	2.41	69346	-5.09	-	-	-	-	0.32
V	+5	2	115227	20.60	30513	15.81	30513	15.81	-	-	0.52

С целью проверки адекватности термодинамической модели распределения компонентов с учетом их переменных валентности, была проведена машинная имитация промышленных плавов нержавеющей стали. Проверка адекватности модели производилась путем сравнения расчетных и табличных значений критерия Фишера.

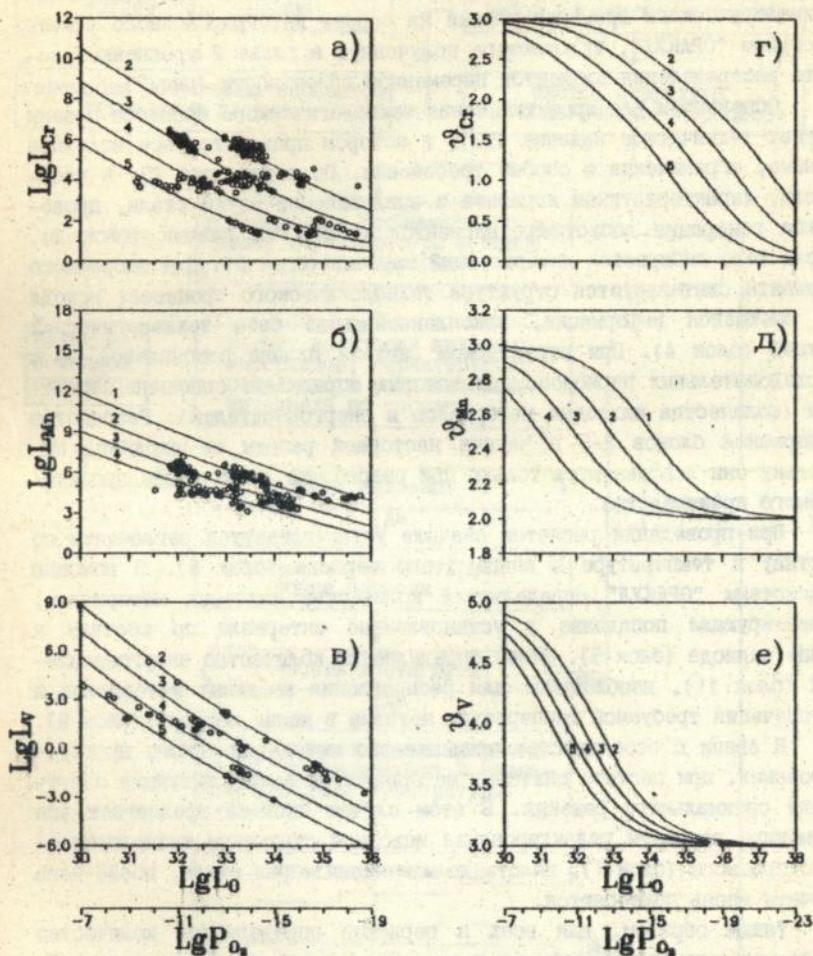


Рис.1. Зависимость коэффициентов распределения элементов между металлом и шлаком (а-в) и их валентности (г-е) от коэффициента распределения кислорода и температуры: а,г - хром; б,д - марганец; в,е - ванадий; 1- 1773К, 2- 1823К, 3- 1873К, 4- 1923К, 5- 1973К.

Третья глава посвящена разработке алгоритма проектирования технологического процесса плавки на основе интегрированного пакета программ "ОРАКУЛ", включающего полученное в главе 2 уравнение расчета распределения элементов переменной валентности (рис.2).

Основанием для проектирования технологического процесса плавки служит техническое задание (ТЗ), в котором приводятся все исходные данные, ограничения и особые требования. По содержанию ТЗ, в частности, характеристикам агрегата и выплавляемой марки стали, проводится генерация допустимых вариантов технологии плавки (блок 2), после чего выбирается интересующий вариант (блок 3). Для выбранного варианта синтезируется структура технологического процесса, исходя из имеющейся информации, накопленной в виде базы технологических знаний (блок 4). При структурном синтезе плавка разбивается на  $n$  последовательных периодов, для которых определяют основные параметры (количества шихтовых материалов и энергоносителей). Разработка содержания блоков 2-3 в задачи настоящей работы не входила, поскольку они используются только при разработке схемы вновь проектируемого производства.

При проведении расчетов сначала устанавливаются регламенты по составу и температуре в конце 1-ого периода (блок 5). С помощью подсистемы "ОРАКУЛ" определяются количества шихтовых материалов, гарантирующие попадание в установленные интервалы по составу в конце периода (блок 6). Далее определяется количество энергоносителей (блок 11), необходимое для расплавления вводимых материалов и обеспечения требуемой температуры металла в конце периода (блок 9).

В связи с особенностью применяемого метода линейного программирования, при расчете шихтовых материалов возможна ситуация отсутствия оптимального решения. В этом случае система предлагает все возможные варианты редактирования исходной структуры технологического процесса (блок 7), вплоть до изменения марки стали, после чего расчеты вновь повторяются.

Таким образом, для всех  $n$  периодов определяются количества требуемых шихтовых материалов и энергоносителей, которые отображаются в документации (технологической карте, блок 12), оформленной в требуемом виде.

Алгоритм расчета количеств шихтовых материалов с применением системы "ОРАКУЛ" приведен на рис.3. Эта система включает две подсистемы - термодинамическую модель "металл-шлак-газ" и оптимизаци-

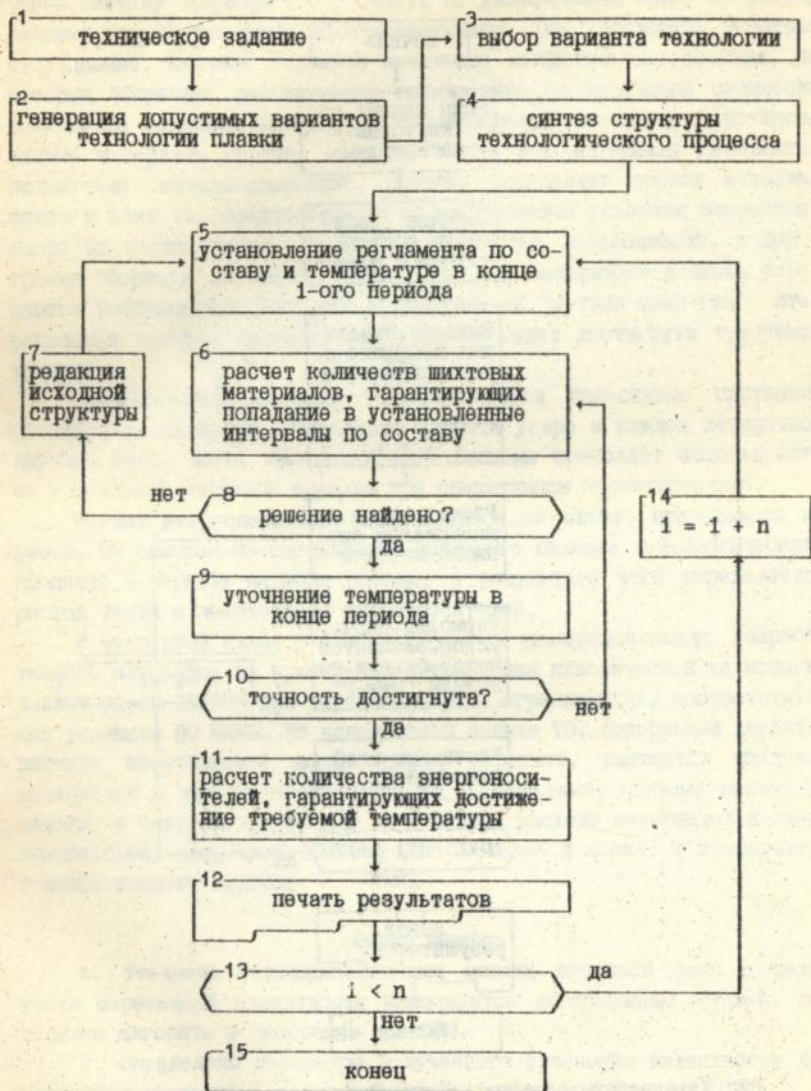


Рис.2. Алгоритм проектирования технологического процесса плавки стали.

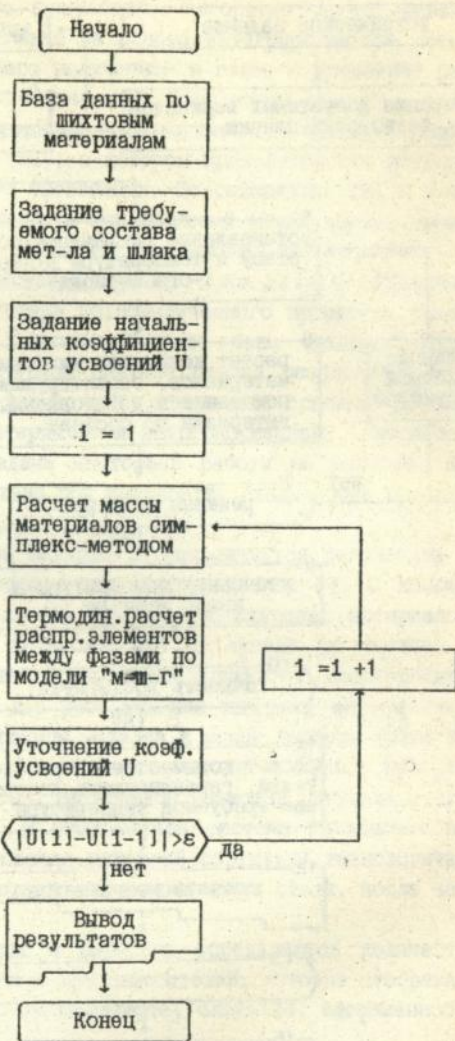


Рис.3. Алгоритм расчета количеств шихтовых материалов, гарантирующих попадание в заданный состав стали.

онную систему "Форвард", основанную на двойственном симплекс-методе решения задачи линейного программирования. Обе подсистемы работают итерационно. Сначала задаются начальные коэффициенты усвоения, по которым "Форвард" рассчитывает оптимальные по суммарной стоимости количества шихтовых материалов, гарантирующих попадание в установленные интервалы состава металла. Затем эти материалы передаются подсистеме "металл-шлак-газ", которая определяет состав металла, шлака и газа (а, следовательно, и коэффициенты усвоения элементов) после их проплавления. Используя уточненные коэффициенты, подпрограмма "Форвард" повторяет расчет шихтовых материалов и вновь уточняются коэффициенты усвоения подпрограммой "металл-шлак-газ". Итерационный процесс повторяется, пока не будет достигнута требуемая точность.

Преимуществом системы "ОРАКУЛ" перед известными системами оптимизации является возможность расчета угаря в каждом конкретном случае. Кроме того, быстрое действие системы позволяет использовать ее в реальном масштабе времени при оперативном проектировании.

Расчет энергоносителей производится по схеме, приведенной на рис.4. Он основан на составлении теплового баланса технологического процесса в каждом периоде плавки, в результате чего определяется расход тепла и необходимых энергоносителей.

В четвертой главе проиллюстрировано функционирование разработанного алгоритма на примере проектирования классической технологии плавки стали 26ХГСН при технологических ограничениях, соответствующих условиям ПО НКМЗ. По заполненной анкете ТЗ, содержащей характеристики выплавляемой марки стали, агрегата, имеющихся шихтовых материалов и других технологических ограничений, система выдает ТК плавки, в которой отображены оптимальные расходы материалов и энергоносителей, ожидаемые составы фаз (металла и шлака) и температура в конце каждого периода.

#### Общие выводы

1. Уточнена термодинамическая модель шлаковой фазы с целью учета переменной валентности компонентов легированных сталей, составлен алгоритм и программа для ЭВМ.
2. Определены параметры полученного уравнения валентности для важнейших легирующих элементов (хром, марганец и ванадий).
3. Разработана общая методика учета переменной валентности в

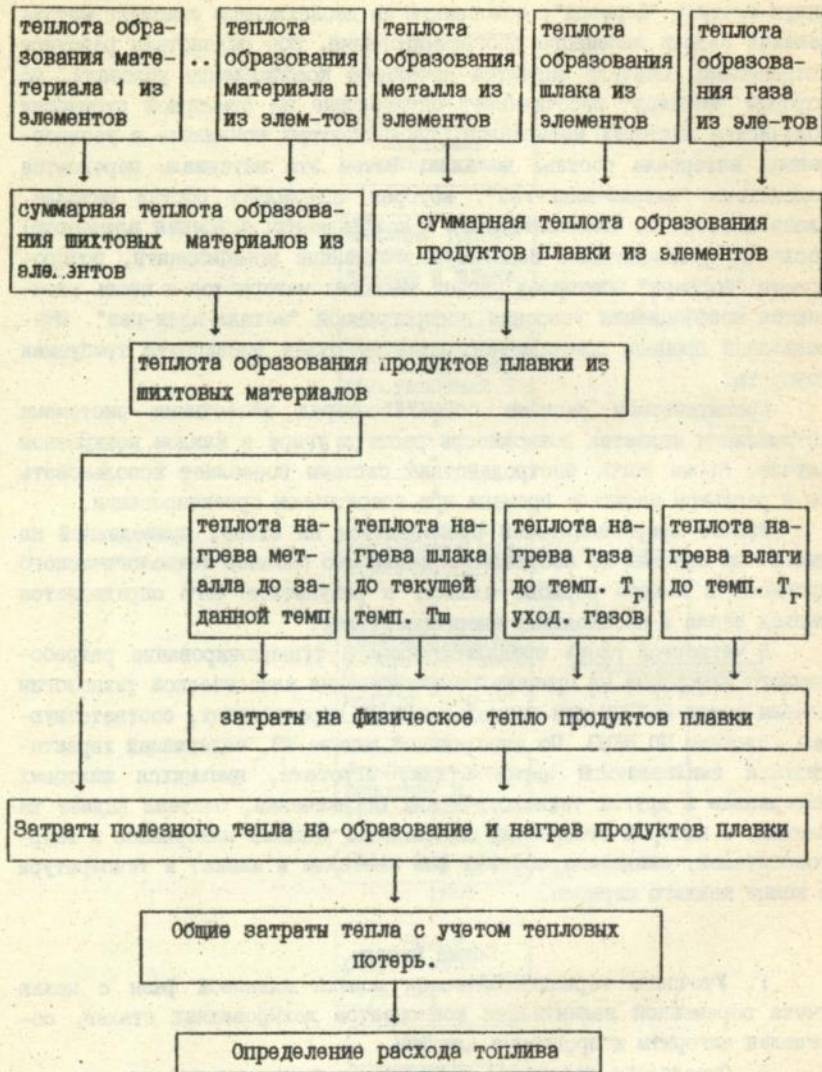


Рис. 4. Укрупненная схема расчета расхода энергоносителей.

термодинамической модели распределения элементов между металлом и шлаком.

4. Статистическим методом установлено, что учет переменной валентности в термодинамической модели "металл-шлак" позволяет адекватно описывать распределение элементов между металлом и шлаком в производственных условиях.

5. Разработан общий алгоритм автоматизации проектирования технологического процесса плавки стали на базе пакета прикладных программ "ОРАКУЛ".

6. Разработаны алгоритмы синтеза оптимальных значений параметров технологического процесса плавки стали в ДСП методом полного окисления с учетом технологических ограничений и особенностей конкретных производственных условий.

7. Проиллюстрирована работа алгоритма на конкретном примере проектирования технологического процесса плавки легированной стали марки 26ХСГН.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Распределение хрома между шлаком и металлом с учетом его переменной валентности./ Окоуconi П.И., Иноземцева Е.Н., Харченко А.В.; Донец. политехн. ин-т. - Донецк, 1992. - 7 с. Рус. - Деп. в УкрИНТЭИ 18.02.93. № 201-У93.

2. Учет переменной валентности элементов для моделирования равновесий в системе металл-шлак/ Окоуconi П.И., Иноземцева Е.Н.; Донец. политехн. ин-т. - Донецк, 1993, - 9 с. Рус. - Деп. в УкрИНТЭИ.

---

Подп. в печать 17.05.93 Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага тип. граф. сл. офсетная печать.  
Усл. печ. л. 0,93 . Усл. кр.-отт. 1,16 . Уч.-изд. л. 0,96 . Тираж 120 экз.  
Заказ № 4-144

Донецкий политехнический институт, 340000, Донецк, ул. Артема, 58.

ДМПН, 340050, Донецк, ул. Артема, 96

1115011

AB 27.654