

УДК 004.023

А.В. Сучков

## Алгоритмическое и программное обеспечение системы поддержки принятия решений в доменном производстве

Описаны основные процедуры системы поддержки принятия решений, реализующие формирование рекомендаций для управления доменным процессом, рассмотрен интерфейс системы.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, доменная печь, математическая модель, программное обеспечение.

Система поддержки принятия решений (СППР) предназначена для формирования рекомендаций по выбору значений управляющих воздействий по управлению объектами различного класса и назначения. Проблемы построения такой системы для доменного процесса рассмотрены автором в [1]. В данной статье рассматривается подход к созданию СППР, которому соответствует следующая постановка задачи. Необходимо определить такие величины управляющих параметров доменного процесса, которые обеспечивают достижение желаемых значений выходных параметров и оптимизируют выбранный критерий качества.

Входные параметры могут быть заданы как точечной, так и интервальной оценкой. Очевидно, что задача оптимизации имеет смысл только в том случае, если имеется возможность варьирования значений каких-либо управляющих параметров. К числу таких параметров можно отнести, например, содержание кислорода в дутье, температуру и влажность дутья, количество подаваемого природного газа и угольной пыли, количество кокса в подаче, характеристики шихты, в том числе содержание в ней железа.

Допустимые интервалы значений параметров либо их точечные оценки уточняются оператором на основе информации о ходе процесса.

Для выходных параметров также могут быть заданы двусторонние ограничения. В качестве этих параметров часто рассматриваются производительность печи, температура и состав колошникового газа, чугуна на выпуске, в том числе содержание в нем кремния.

В качестве критерия оптимальности в задаче выбран удельный расход кокса как дефицитного и дорогостоящего топлива.

В настоящее время нет единого подхода к описанию функциональных связей между переменными доменного процесса. В то же время имеется ряд моделей, основанных на различных принципах, с помощью которых можно оценить те или иные характеристики этого процесса [1]. В данном случае для реализации СППР выбрана модель, разработанная в институте металлургии УрО РАН, основанная на учете зональных тепловых балансов, характеризующих физико-химические процессы в печи [2]. Проведенные многочисленные эксперименты доказали ее практическую полезность.

Общий алгоритм программной реализации СППР приведен на рис. 1.

Идея алгоритма заключается в следующем. Задаются значения входных (управляющих) и выходных параметров печи в виде точечной оценки, полученной на основе данных эксплуатации, и для некоторых из них – с использованием двух видов интервалов. В одном случае интервал характеризует предельные значения характеристик, при которых процесс может быть реализован, а в другом – рекомендуемые специалистом (оператором) значения, основанные на его опыте (рис. 2). Очевидно, что интервал второго типа не должен выходить за границы первого.

Производится дискретизация рекомендуемых значений параметров внутри каждого заданного интервала (рис. 3). Затем осуществляется поиск выходных характеристик для всех вариантов комбинаций значений управляющих параметров из числа интервальных с использованием модели процесса (блок 3, рис. 1). Если такие варианты найдены, т.е. получены предварительные решения, то из них выбираются те, которые оптимизируют, с заданной погрешностью, критерий качества. Таким образом, получаются допустимые решения. В случае их большого количества осуществляется разбиение на кластеры и подкластеры, определяется множество характерных представителей этих подкластеров, которые представляются оператору в качестве рекомендаций по управлению (рис. 4). Этот процесс реализуется блоками 5–9 алгоритма.

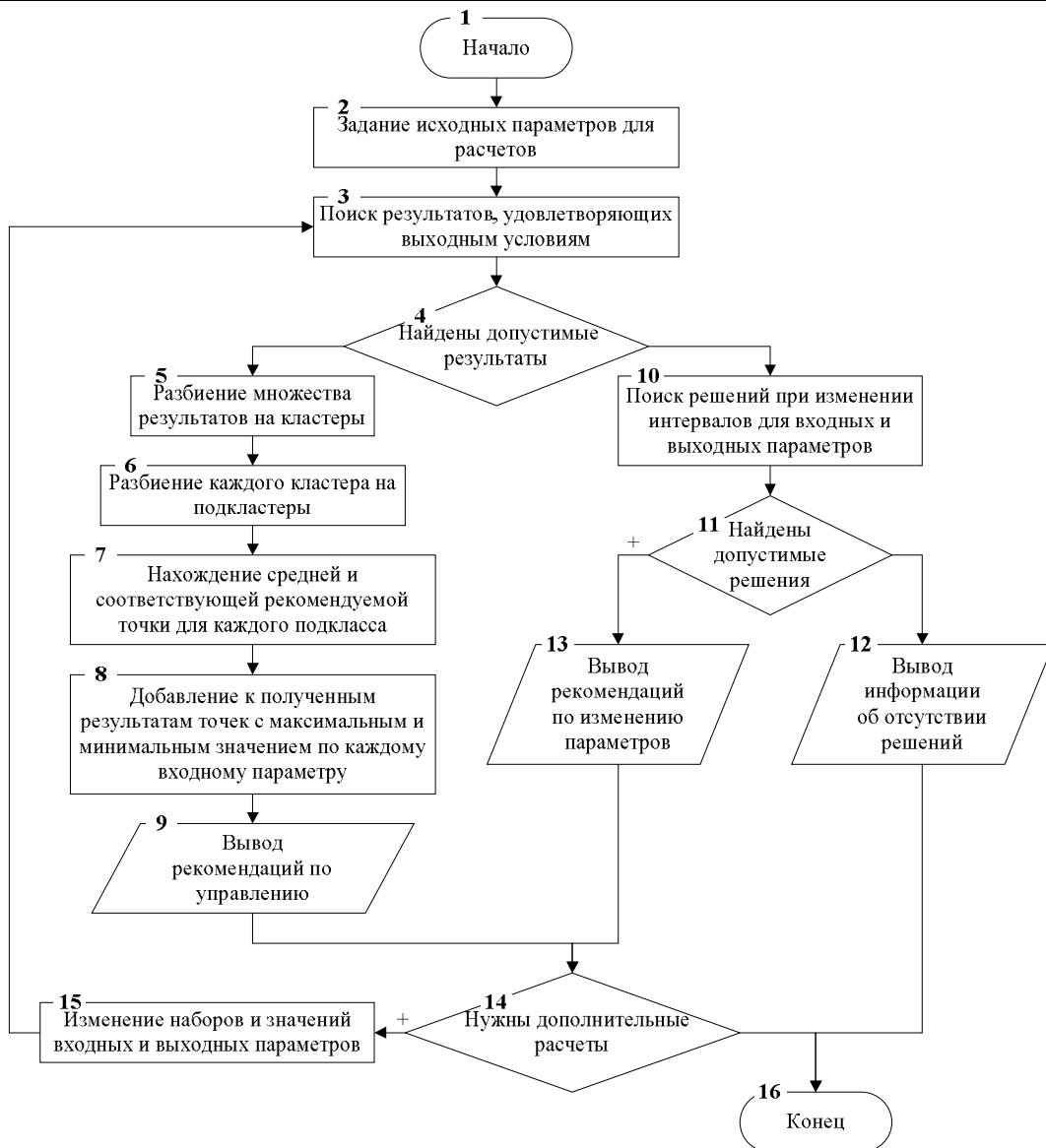


Рис. 1. Алгоритм формирования реализации СППР

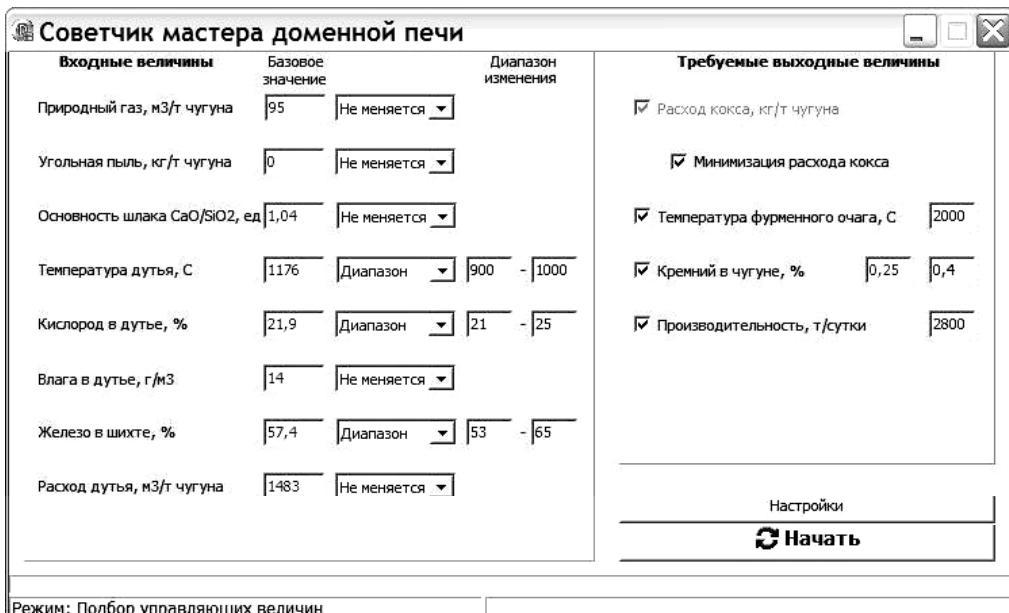


Рис. 2. Основное окно программы СППР

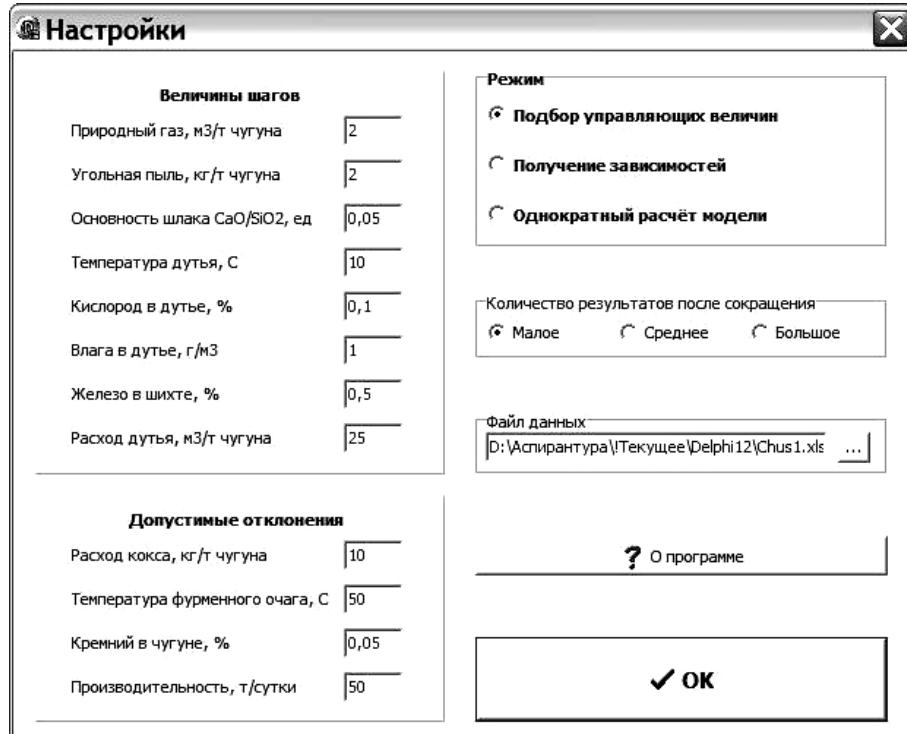


Рис. 3. Окно настроек программы СППР

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Т дутья(°C)	Fe в шихте	Дутьё(м <sup>3</sup> /т)	Кокс(кг/т ч.)	Т фурм. очага	Si в чуг.(%)	Производ.	Шлак(кг/т ч.)		
2	916	59,2	1701	548	1907	0,27	550	358		<-- Базовый вариант
3	990	50,0	1640	543	1957	0,4	600	406		
4	990	51,5	1636	542	1957	0,4	600	395		
5	990	55,5	1627	541	1956	0,4	600	370		
6	990	57,0	1652	545	1959	0,4	550	363		
7	990	59,5	1619	539	1955	0,4	600	349		
8	990	60,5	1646	544	1958	0,4	550	345		
9	990	63,0	1613	538	1954	0,4	600	332		
10	990	63,5	1641	543	1957	0,4	550	331		
11	990	65,0	1639	543	1957	0,4	550	324		
12	1000	53,5	1652	545	1966	0,4	550	383		
13										

Рис. 4. Пример результата работы программы-советчика при наличии решений

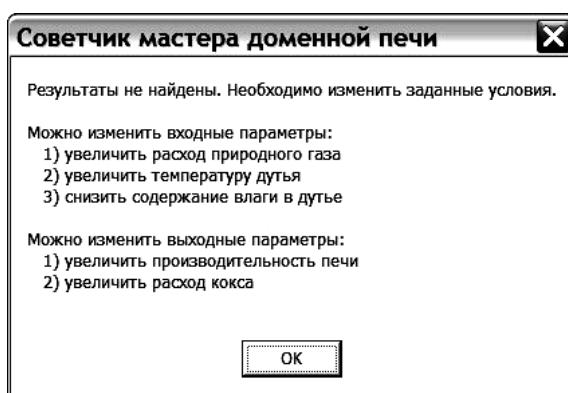


Рис. 5. Пример рекомендаций по изменению параметров при отсутствии решений

В случае отсутствия предварительных решений с заданными пользователем интервалами, осуществляется их поиск с учетом предельных границ параметров (блок 10, рис. 1). Если такие решения есть, то оператору представляется информация (на качественном уровне) в виде рекомендации о возможности изменения ранее заданных им границ параметров (блок 13 алгоритма), вид которой приведен на рис. 5. В противном случае рекомендации по улучшению отсутствуют, о чем оператор информируется.

В алгоритме предусмотрена возможность проведения дополнительных расчетов (блоки 14, 15, рис. 1) в случае изменения границ возможных значений параметров оператором.

Каждый функциональный блок алгоритма реализуется соответствующей программной процедурой. В интерфейсной процедуре «Задание исходных параметров», которой соответствует блок 2 на рис. 1, рекомендуемые значения параметров, границ их изменения, шага дискретизации вводятся оператором (примеры приведены на рис. 2, 3). Заданные

значения сохраняются в соответствующие массивы входных и выходных данных, которые передаются в процедуру поиска результатов (блок 3 алгоритма).

Основным в процедуре поиска результатов является фрагмент программы, реализующий модель доменного процесса. Модель доменной печи оперирует 101 входным параметром, из которых 8 принимаются в качестве возможных управляющих воздействий и присутствуют в интерфейсе описываемой программы, остальные являются параметрами настройки и при необходимости могут меняться оператором.

Как уже указывалось, для определения наборов управляющих воздействий в процедуре используется метод сканирования (полного перебора) вариантов управляющих воздействий из заданных интервалов. Полученное множество предварительных решений, удовлетворяющих условиям оптимальности, является выходным для данной процедуры.

Рассмотрим более подробно работу программных процедур по сокращению числа найденных решений и формированию рекомендаций при отсутствии допустимых решений. Для описания производимых действий используется многомерное пространство, координатами которого являются управляющие воздействия. Тогда точке в пространстве будет соответствовать набор управляющих воздействий.

В процессе кластеризации (блок 5, рис. 1) исходят из следующего положения: если между двумя точками расстояние не превышает одного шага по всем измерениям, то они принадлежат одному кластеру. Очевидно, что точки, принадлежащие разным кластерам, всегда имеют расстояние более одного шага хотя бы по одному измерению. В результате работы этой процедуры каждая точка (решение) получает идентификатор принадлежности определенному кластеру.

Далее производится разбиение кластеров на части (подкластеры) исходя из интервалов точности (блок 6, рис. 1). Интервал точности – это фиксированная величина, заданная в программе для каждого управляющего параметра. В диапазоне от минимального технически реализуемого до максимального значения управляющего параметра обычно находится 5–10 интервалов точности. Например, для расхода природного газа его величина была принята равной  $20 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна, для кислорода в дутье – 1%.

Для разбиения каждого кластера проверяется, сколько соответствующих интервалов точности он включает по каждому измерению. Разделение осуществляется по измерению, включающему наибольшее число таких интервалов. Все полученные подкластеры аналогичным образом оцениваются по другим измерениям и разбиваются до тех пор, пока размер каждого из них не станет равным или меньшим интервала точности по каждому измерению. В результате работы процедуры каждое решение относится к определенному подкластеру, что выражается в присвоении ему соответствующих идентификаторов.

Далее необходимо каждый подкластер заменить одной рекомендуемой точкой (решением). Для этого находится средняя точка каждого полученного подкластера (блок 7, рис. 1). Значения ее координат определяются как средние величины соответствующих координат всех точек группы. Средняя точка может не удовлетворять ограничениям по выходным параметрам, а также величины ее координат могут принимать дробные значения, практически не реализуемые при управлении. Поэтому выбирается точка из уже входящих в число допустимых решений, ближайшая к средней. С этой целью определяются расстояния от каждой точки до средней путем нахождения модуля разности координат данной и средней точек и деления на соответствующий интервал точности, что обеспечивает приведение расстояний к единой безразмерной метрике. Значения полученных величин складываются по всем измерениям, этот результат принимается в качестве суммарного расстояния. В результате работы данного программного модуля создается массив рекомендуемых решений из общего массива, содержащий их номера.

Часто в процессе управления требуется знать крайние значения управляющих параметров, обеспечивающие допустимые результаты из заданного диапазона, например минимальное содержание железа в шихте (что позволяет использовать более дешевую руду). Поэтому итоговый массив рекомендуемых значений дополняется точками из числа найденных решений, имеющими минимальное и максимальное допустимое значение какого-либо параметра (блок 8, рис. 1). Наборы управляющих воздействий, список которых окончательно сформирован на данном этапе, выводятся пользователю (блок 9, рис. 1) в виде сочетаний значений входных параметров и соответствующих им выходных. Эти наборы представляются в виде таблицы формата MS Excel, где строкам соответствуют отдельные решения, а столбцам входные (в левой части) и выходные (в правой части) параметры (см. рис. 4).

При отсутствии решений по запросу пользователя выполняется поиск рекомендаций по изменению входных и выходных параметров (блок 10, рис. 1). Для этого в программ-

ном модуле поочередно меняются входные параметры так, чтобы один из параметров выходил за нижний предел, указанный пользователем, затем – за верхний, но оставался в пределах существующих технических ограничений. Если рекомендуемые решения отсутствуют, но найдены возможности по изменению входных и выходных параметров, они выводятся при помощи стандартной процедуры вывода сообщения (рис. 5).

После завершения работы общего алгоритма поиска пользователь может изменить какие-либо начальные условия, касающиеся входных и выходных параметров, с целью получения других рекомендаций (этим действиям соответствуют блоки 14 и 15, рис. 1). Для окончания работы с программой достаточно закрыть ее главное окно (блок 16, рис. 1).

Рассмотренный вариант СППР используется в доменном цехе Чусовского металлургического завода.

### **Заключение**

Создана система поддержки принятия решений для доменного производства на основе математической модели печи, позволяющая находить все сочетания управляющих параметров, при которых достигаются требуемые значения выходных параметров процесса, имеющая практическое применение.

С развитием вычислительной техники, ростом скорости вычислений предложенный метод создания советчика (системы поддержки принятия решений) становится более актуальным, поскольку появляется возможность увеличить количество управляющих параметров, повысить точность, уменьшить время вычислений.

### *Литература*

1. Сучков А.В. Проблемы построения системы поддержки принятия решений для доменного производства // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. – 2009. – № 10. – С. 72–81.
2. Дмитриев А.Н. Математическое моделирование двумерных процессов в доменной печи // Вычислительные методы и программирование. – 2004. – Т. 5. – С. 252–267.

### **Сучков Андрей Владимирович**

Аспирант каф. автоматики и управления в технических системах радиотехнического института Уральского государственного технического университета – УПИ, г. Екатеринбург

Тел.: (343-3) 75-44-68

Эл. почта: a\_suchkov@list.ru

A.V. Suchkov

**The software of decision support system for blast furnace manufacture**

This article describes the basic procedures for decision support systems that implement the formation of recommendations for management of domain process; the interface of the system is considered.

**Keywords:** decision support system, blast furnace, mathematical model, software.