

УДК 669.042

В. И. Матюхин, О. В. Матюхин, С. А. Дианов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Институт материаловедения и металлургии,

кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии», г. Екатеринбург, Россия

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ШАХТНОЙ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Аннотация

На основании системного анализа развития теплофизических процессов в шахтных агрегатах обоснована методика оптимизации показателей его тепловой работы. Показана возможность его применения на примере шахтной плавильной печи ОАО «Медногорский медно-серный комбинат».

Ключевые слова: системный анализ, тепломассообмен и газодинамика, реконструкция, материальный и тепловой балансы.

Abstract

Based on the system analysis of the development of thermal processes in mine aggregates performance optimization technique proved its thermal performance. The possibility of its use as an example of a shaft melting furnace «Mednogorsky copper and sulfur plant».

Keywords: system analysis, heat and mass transfer and gas dynamics, reconstruction, material and heat balances.

В основе создания высокоэффективного производства материалов с заданными свойствами и использованием слоевых установок является системный анализ, который позволяет решать проблемы оптимизации сложных технологических процессов в тесной взаимосвязи определяющих систем и явлений, объединенных общей стратегией и целью.

Определение рациональных конструктивных и технологических параметров металлургических агрегатов основывается на результатах комплексных исследований (рис. 1), которые позволяют оптимизировать условия достижения поставленной цели, который включает несколько основных этапов.

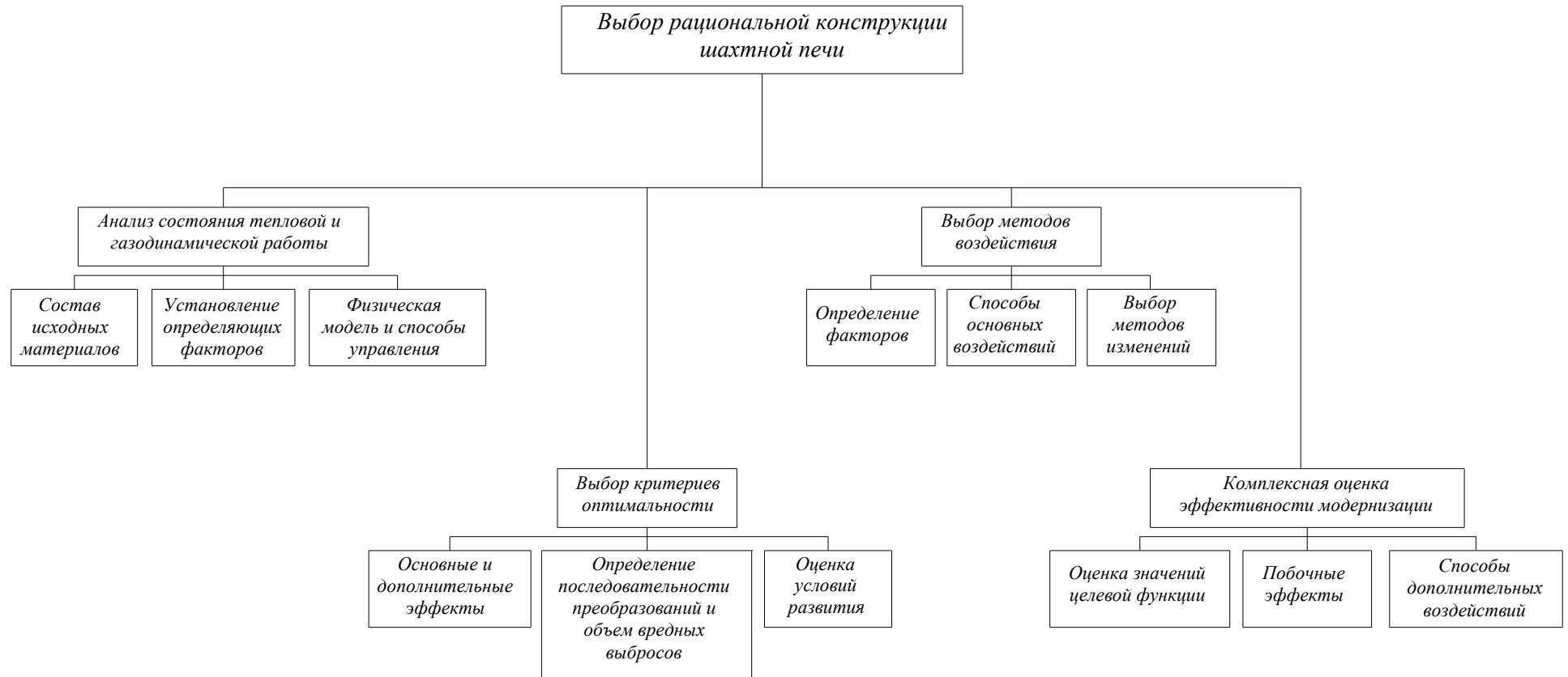


Рис. 1. Схема выбора рациональной конструкции шахтной печи

1. Анализ состояния и особенностей развития тепловой и газодинамической работы, основанный на результатах комплексного исследования реального состояния конструкции и технологии плавки или обжига кусковых материалов с применением расчетного и экспериментального анализа химического и гранулометрического составов основных компонентов, участвующих в процессе с определением их расходных характеристик для получения конечного продукта и установление его качественных показателей. Здесь устанавливаются реальные соотношения материальных потоков в рабочем пространстве печи, производится корректировка состава шихты. Для этого применяют методики балансовых испытаний и термодинамических расчетов в соответствии с принципами:

а) **рационализации** соотношений между химическими компонентами, которые позволяют обеспечить решение общей задачи энерго- и материалоэффективного производства. В качестве таких критериев чаще всего используют модуль основности или кислотности, степень превращения или селективности. Их рациональные значения устанавливаются на основании фундаментальных законов физики и химии;

б) **минимизации** количества используемых расходных компонентов с получением твердых и газообразных отходов;

в) **максимизации** величины возникающих в процессе тепловой обработки экзотермических тепловых эффектов;

г) **ограничения** количества технологических операций для завершения основных физико-химических преобразований.

Результатом этой части исследований является установление необходимых корректирующих воздействий на подготовку исходных материалов в виде использования дополнительных включений, операций по их подготовке и обеспечения условий получения конечного продукта заданного качества. При этом, исходя из требований технологии, следует установить целевую функцию или параметры для реализации оптимальной технологии (производительность, расход топлива, температура перегрева получаемого расплава и др.).

Как правило, это комплексный показатель, способный объединить свойства исходных материалов и конечных продуктов, характеристики тепловой обработки и экономичности всего производства.

2. Идентификация существующих или намечаемых отдельных физико-химических систем на основании термодинамических и кинетических исследований позволяет установить рациональные значения основных параметров процесса, исходя из требуемых значений целевой функции. Здесь на основе физической сущности процесса, детального изучения и анализа его механизма составляется физическая модель для каждого иерархического уровня производства в виде математических или статистических уравнений, описывающих его. Физическая модель процесса должна учитывать многосторонность его отражения с учетом тепловых, физико-химических, кинетических и газодинамических явлений.

После определения рациональных условий реализации технологического процесса устанавливаются регламентируемые значения свойств всей системы в рабочем диапазоне изменения ее параметров.

Анализ возможностей их достижения в условиях исследуемого агрегата позволяет установить лимитирующие стадии преобразований исходных материалов, возможности реализации его оптимальных параметров и выявить факторы, оказывающие существенное влия-

ние на изменения процесса тепловой обработки. Это в первую очередь касается диффузионных явлений, зависящих от геометрических и температурных факторов.

Полученные данные позволяют произвести подбор физико-химических эффектов, позволяющих управлять скоростными и режимными параметрами технологического процесса. К таким явлениям следует отнести закономерности процессов теплогенерации, газо- и гидродинамики, тепломассообмена. Более детальные исследования величины этих эффектов на основе данных физического и математического моделирования обеспечивают выбор методов воздействия для увеличения положительной эффективности.

3. После установления определяющих факторов побочных явлений необходимо оценить методы и степень их воздействия на технологический процесс. Их влияние должно проявляться как сопутствующее основному эффекту и усиливающее его за счет нейтрализации отрицательных последствий с получением существенно положительного результата при минимальных материальных и энергетических затратах. В противном случае использование такого мероприятия прекращается.

4. Основным же критерием выбора методов и способов интенсификации любого процесса являются результаты промышленной реализации с оценкой экономических показателей всего производства.

Эти принципы были реализованы при реконструкции шахтной печи № 2 ОАО «Медногорский медно-серный комбинат»

Исследования существующего состояния тепловой и газодинамической работы шахтной плавильной печи проведены в 2010 г. объединенной бригадой сотрудников УрФУ и ОАО «Медногорский медно-серный комбинат».

Было установлено, что наиболее благоприятные параметры работы печи (рис. 2) создаются в поперечном сечении печи со стороны подачи теплоносителя (1) и в районе выпуска продуктов плавки (2). Тепловая работа шахтной печи отличается наличием существенной неравномерности распределения газового потока по объему нагреваемой шихты. При этом наблюдается присутствие слабопродуваемой зоны (3), где происходит движение газов с ограниченной скоростью и небольшой интенсивностью, развиваются процессы газификации твердого топлива, замедляется процесс плавки шихты. Эта область располагается в центральной части печи и занимает 2/3 ее объема. Кроме того, существует неравномерность распределения газового потока, связанная с распределением шихты.

Горение кокса в слое медьсодержащей шихты происходит при различных окислительно-восстановительных условиях и наличии существенной неравномерности распределения газов с коэффициентом расхода воздуха 0,93–1,099, что обеспечивает температуру в зоне горения кокса на уровне 1474–1637 °С. Образование настывей в этой области печи является следствием недостаточного количества поступающего воздуха. Присутствующий химический недожог связан с образованием монооксида углерода и элементарной серы в количестве 757,3 кг/ч.

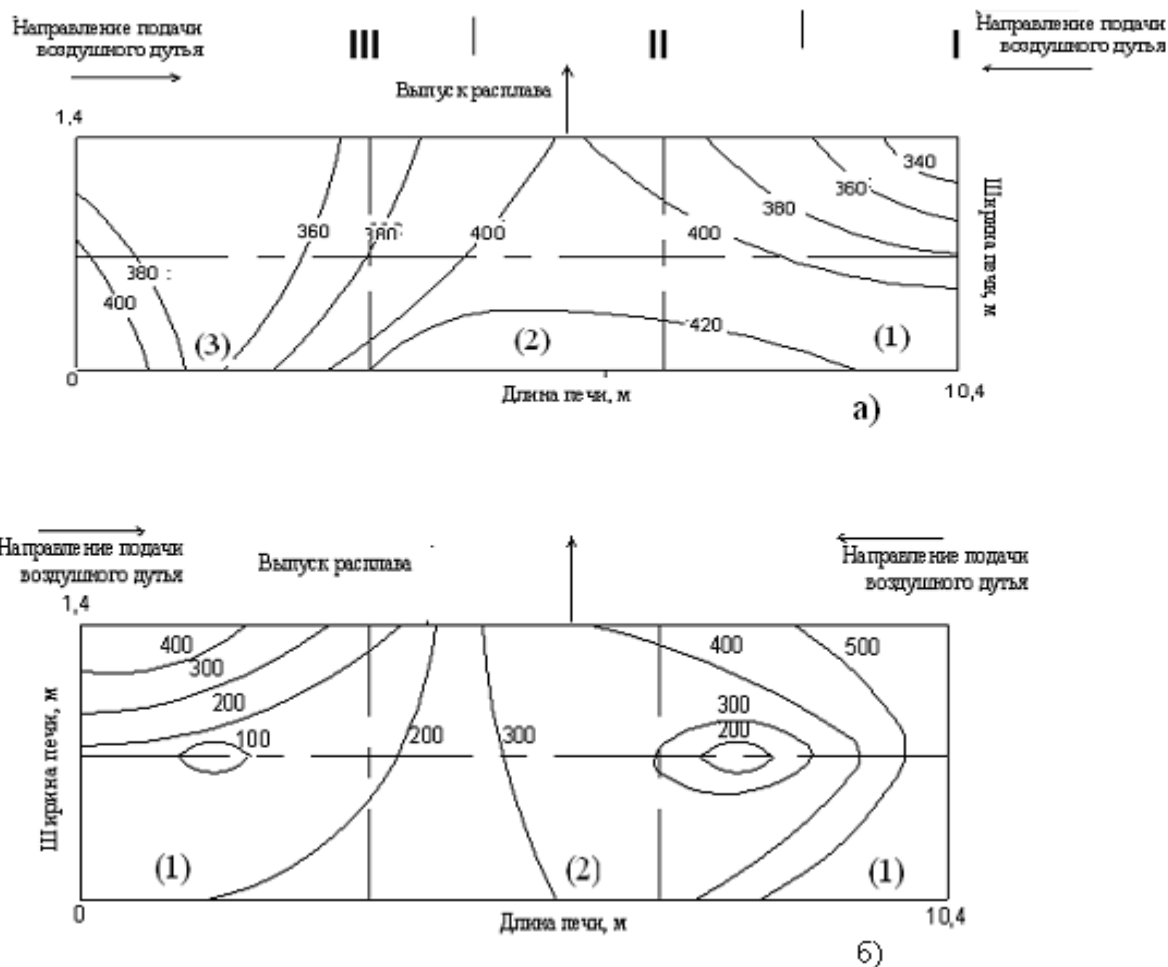


Рис. 2. Изменение средней температуры слоя шихты в шахтной печи после модернизации – а и до ее реконструкции – б на уровне засыпи (цифры у кривых, °С). (1), (2), (3) – зоны распределения воздушного дутья

В процессе плавки тепловой режим работы агрегата осуществляется при соотношении теплоемкостей потоков материалов и газов равным 0,285, что обеспечивает благоприятное распределение температур газа и материала по высоте печи.

Для совершенствования конструкции шахтного агрегата и обеспечения более рациональных условий шахтной плавки были изучены вопросы оптимизации их параметров на основании результатов математического и физического моделирования, которые позволили установить, что:

- для плавильных шахтных печей с точки зрения равномерности газораспределения следует считать оптимальным вертикальный профиль рабочего пространства;
- отношение радиуса пережима к радиусу шахты не должно превышать 0,85;
- количество фурм в рядах для шахтных печей прямоугольного сечения выбирается из условия обеспечения расстояния между осями, равного 0,5 м по внутренней поверхности шахты печи. С учетом длины рабочего пространства 10,44 м количество фурм для основного ряда должно быть равно примерно 21 шт.;
- диаметр фурм основного ряда следует выбирать из условий обеспечения скорости истечения 35 м/с при общей высоте шахты не ниже 5 м. Для реальных условий работы шахт-

ной печи при расходе воздушного дутья 10000–30000 м³/ч диаметр фурм основного ряда должен быть равным 0,07–0,12 м;

- оптимальный угол наклона фурм к горизонту от места установки их равен 20°.

Составленное на основании этих данных техническое задание на реконструкции предполагает, что шахтная печь должна быть выполнена в виде водоохлаждаемого металлического ватержакета в форме вертикальной шахты прямоугольного горизонтального сечения со средними размерами по внутреннему контуру на уровне сыпи 1,46x10,44 м и общей высотой от подины внутреннего горна до газослива 5,0 м. В нижней части шахта имеет сужение высотой 3,0 м от размера 1,70 м на уровне газослива до 1,0 м в районе горна. Высота внутреннего горна составляет 600 мм. В нижней части шахты по длинной стороне выше внутреннего горна на 750 мм располагаются 42 фурмы диаметром не менее 120 мм общей площадью 0,475 м². Они устанавливаются равномерно по две штуки в каждом кессоне под углом 20° к горизонту с расстоянием между ними около 500 мм. После обмена мнениями между специалистами ОАО «ММКС» и УрФУ было принято решение об ограничении угла наклона фурм к горизонту не более 12°.

Для подвода и равномерного распределения воздушного дутья был рекомендован распределительный коллектор площадью 0,475 x 3 = 1,425 м² с двумя патрубками, устанавливаемыми с торцов печи.

Для установления количественных соотношений между компонентами исходной шихты и конечными продуктами после реконструкции были выполнены статистические исследования их количественного состава за период с 1.06 по 16.06.10 г. и с 1.04 по 8.04.12 г. Для этого ежедневно определяли усредненный материальный баланс печи и устанавливали долю каждого компонента плавки. На основании расходных данных на печи был составлен ее усредненный материальный баланс до и после реконструкции (табл. 1).

Представленные данные показывают, что после реконструкции общий расход материалов на печи увеличился на 3670,85 кг/ч (7,65 %) в основном за счет повышения количества твердых компонентов на 14,13 %. При этом общий расход газообразных составляющих увеличился только на 174,73 кг/ч (0,75 %).

В расходной части баланса количество получаемого штейна увеличилось на 1529,95 кг/ч (23,11 %), шлака – на 2520,83 кг/ч (15,29 %) с уменьшением количества выбрасываемой пыли на 295,05 кг/ч (40,11 %) и потерь твердых компонентов на 259,61 кг/ч (28,63 %). При этом выход медного штейна увеличился с 26,75 % до 28,86 % или на 7,89 %. Выход шлака увеличился с 66,61 % до 67,28 % или на 1,0 %. Выход пыли из печи снизился с 2,97 % до 1,56 % или на 47,47 %. Суммарная производительность печи по расплаву увеличилась с 23105,47 кг/ч до 27156,25 кг/ч или на 17,53 %.

Для оценки эффективности тепловой работы шахтной печи на основании данных материального баланса был составлен ее тепловой баланс (табл. 2).

Таблица 1

Усредненный материальный баланс шахтной плавки до и после реконструкции

Исходное сырье, Продукты плавки	Массовый расход, кг/ч		Состав, %			
			По твердому		Общее	
	Поступило		До реконструкции	После реконструкции	До реконструкции	После реконструкции
Брикеты	11421,88	11739,58	46,15	41,56	23,80	22,72
Оборотный шлак	6191,41	7942,71	25,03	28,12	12,90	15,37
Клинкер	1059,9	1830,73	4,28	6,48	2,21	3,54
Руда	2040,89	1327,38	8,25	4,70	4,25	2,57
Кварцит	1552,34	3318,23	6,27	11,75	3,23	6,42
Известняк	1591,93	1179,17	6,43	4,17	3,32	2,28
Антрацит	889,58	906,25	3,59	3,22	1,85	1,76
Воздух	19910,58	20130	–	–	41,49	38,97
Технический кислород	3334,15	3289,46	–	–	6,95	6,37
Итого твердого	24747,93	28244,05	100	100	100	100
Всего поступило	47992,66	51663,51	–	–	–	–
	Получено		По твердому		Общее	
Штейн	6621,09	8151,04	26,75	28,86	13,80	15,78
Шлак	16484,38	19005,21	66,61	67,29	34,35	36,79
Пыль	735,68	440,63	2,97	1,56	1,53	0,85
Потери твердого	906,78	647,17	3,67	2,29	1,89	1,25
Всего твердого	24747,93	28244,05	100	100		
Отходящие газы	23244,73	23419,46	–	–	48,43	45,33
Всего получено	47992,66	51663,51	–	–	100	100

Таблица 2

Усредненный тепловой баланс шахтной плавки

Приход теплоты					Расход теплоты				
Наименование статьи	До реконструкции		После реконструкции		Наименование статьи	До реконструкции		После реконструкции	
	кВт	%	кВт	%		кВт	%	кВт	%
1.Химическая теплота топлива	7247,61	38,29	7383,42	34,4	1.Физическая теплота штейна	1729,64	9,14	2204,8	10,28
2.Физическая теплота воздуха	107,47	0,57	115,16	0,54	2.Физическая теплота шлака	5959,6	31,5	7083,3	33,03
3.Физическая теплота технического кислорода	148,94	0,79	146,94	0,69	3.Физическая теплота отходящих газов	1555,1	8,22	1898,2	8,85
4. Физическая теплота шихты	28,25	0,15	32,25	0,15	4.Физическая теплота пыли	61,05	0,32	35,56	0,17
5. Теплота экзотермических реакций	11396	60,21	13769,5	64,2	5. Теплота химического недожога	5422,8	28,7	6025,4	28,09
					6. Потери теплоты на охлаждение	4200	22,2	4200	19,58
Итого:	18928,3	100	21447,3	100	Итого:	18928,3	100	21447	100

Анализ его статей до реконструкции и после нее показал, что суммарный тепловой КПД агрегата увеличился с 40,63 % до 43,31 % или на 6,6 % за счет более эффективного использования тепла внешнего топлива (антрацит), снижением его доли на 10,08 % и увеличения доли тепла экзотермических реакций на 6,63 % при сокращения доли расходных статей с пылью, с химическим недожогом и потерями тепла на охлаждение. При этом за счет большего количества отходящих газов возрастают потери тепла.

Исследования состояния газодинамики слоя до и после реконструкции показали, что после модернизации системы воздухоподачи шахтной печи общие закономерности распределения газов в слое остаются без изменения и позволяют выделить три характерных участка: два участка от мест подачи воздушного дутья и в районе расположения летки выпуска расплава. При этом колебания средней температуры после реконструкции сократились с 157 до 31 градуса, что указывает на существенное выравнивание температурного и скоростного полей движения газов, т. е. печь работает более равномерно.

Однако визуальные наблюдения за работой печи указывают на возможность проникновения струй воздушного дутья от внутренней поверхности кессонов не более чем на 300–400 мм. Это связано в основном с неудовлетворительной подготовкой шихты, поступающей в агрегат. При этом повышение расхода воздушного дутья выше 17000 м³/ч сопровождается появлением продувов и нарушениями нормального режима работы печи.

В соответствии с теоретическими и экспериментальными данными рекомендуемый удельный расход воздушного дутья для шахтных печей цветной металлургии должен составлять не более 45–50 м³/(м² мин). В нашем же случае эта величина составляет только 18,89 м³/(м² мин), что подтверждает необходимость дальнейшего совершенствования качества подготовки сырья.

Таким образом, проведенная реконструкция фурменных устройств и распределительного коллектора обеспечила улучшение технико-экономических показателей работы плавильной печи, что подтверждает правильность разработанной методики. Однако низкое качество используемых брикетов не позволили получить более существенное их изменение.

УДК 669.045

В. И. Матюхин, А. В. Матюхина, Р. С. Быков

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

институт материаловедения и металлургии,

кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии», г. Екатеринбург, Россия

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ВАГРАНОК

Аннотация

Анализ конструкции минераловатной вагранки позволил установить основные недостатки ее тепловой работы. На основании особенностей развития теплофизических процессов в вагранке обоснованы новые технические решения по увеличению производительности агрегата до 4т расплава/м² ее поперечного сечения при удельном расходе тепла не более 3500МДж/т за счет оптимизации конструктивных параметров, использования режима слоевого сжигания природного газа, подогретого дутья и пульсирующих технологий.

Ключевые слова: минераловатная вагранка, воздушные фурмы, добавки природного газа, энергия акустического поля, технико-экономические показатели.

Abstract

Analysis of the structure of the mineral wool cupola allowed to establish its main disadvantages of thermal work. Based on the characteristics of development of thermophysical processes in a cupola developed new technical solutions to increase the capacity of the unit up to 4m