

- том доменной печи и его влияние на расход кокса / Грабе К., Де Хаас Г. // Черные металлы. – 1986. – № 5. – С.25-32.
6. Доклад о разработке содержимого доменной печи № 1 завода Амагасаки / К.Нарита, Т.Сато, М.Маекава [и др.] // Тецу то хагане. – 1980. – № 13. – С.1975-1984.
 7. Оценка протяженности и формы полостей фурменных очагов доменной печи / Г.Ю.Крячко, Р.В.Авдеев, Ю.В.Беляев, Ю.К.Лебедь // Черные металлы. – 2009. – № 9. – С.17-22.
 8. Крячко Г.Ю. Оценка качества дутья и технической работы газа в доменном процессе / Крячко Г.Ю. // Черные металлы. – 2002. – № 10. – С.11-15.
 9. Влияние распределения шихты на разгар металлоприемника доменной печи / В.И.Большаков, С.Т.Шулико, В.В.Канаев, Ф.М.Шутылев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С.4-9.

Поступила в редколлегию 16.02.2015.

УДК 669.162

КРЯЧКО Г.Ю., к.т.н., доцент
БАРСУКОВ Е.Е., инженер
МАСТЕРОВЕНКО Е.Л., к.т.н., доцент
СЕДЫХ А.А., инженер

Днепродзержинский государственный технический университет

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗОВАНИЙ В СТОЛБЕ ШИХТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Введение. Результаты исследований столба шихты замороженных на ходу доменных печей [1-4] обратили внимание специалистов на ранее нереализованные возможности организации доменного процесса. Это касается, прежде всего, рациональной организации зон когезии и кокса, обеспечивающей достижение заданных технико-экономических показателей. При расстройках хода доменной плавки в коксовой зоне горна на лещади могут возникать устойчивые монолитные образования, состоящие из коксового массива, связанного застывшими расплавами [5]. В технической литературе такие образования получили название «тотерман».

Рациональная организация высокотемпературных зон в рабочем пространстве печи возможна при наличии количественной информации о размерах этих зон. Не менее важной является также количественная оценка новообразований в зонах высоких температур. Это касается гарнисажа, настылей и тотермана в частности, как долгоживущей настыли в металлоприёмнике. И если качественная информация о размерах характерных зон благодаря разборке содержимого охлажденных доменных печей имеется, то количественная – практически отсутствует, за исключением отдельных попыток [6], основанных не на экспериментальных, а на расчетных данных.

Постановка задачи. Задачей настоящего исследования является количественная оценка абсолютных и относительных объемов коксовых зон и тотермана, замороженных на ходу [1-4], остановленных на ремонт [5] и одной работающей доменной печи [6].

Результаты работы. Методика исследования. Поскольку и коксовая зона и тотерман представляют собой массивы геометрически неправильной формы, то для нахождения объемов этих массивов использовали методику Симпсона [7], согласно которой тело с переменным поперечным сечением разбивается на отдельные отрезки, разделенные одинаковым интервалом шириной d , причем отдельные части исследуемого тела разбиваются необходимым количеством параллельных плоскостей (рис.1).

Если известны площади поперечных сечений $A_1 + A_2 + A_3 \dots$, разделенные интервалом шириной d , то объем тела неправильной формы будет определен по формуле

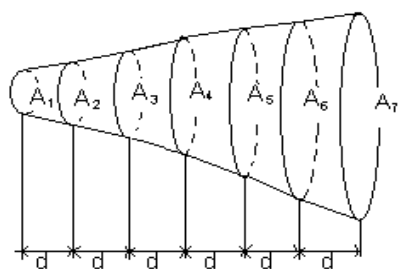
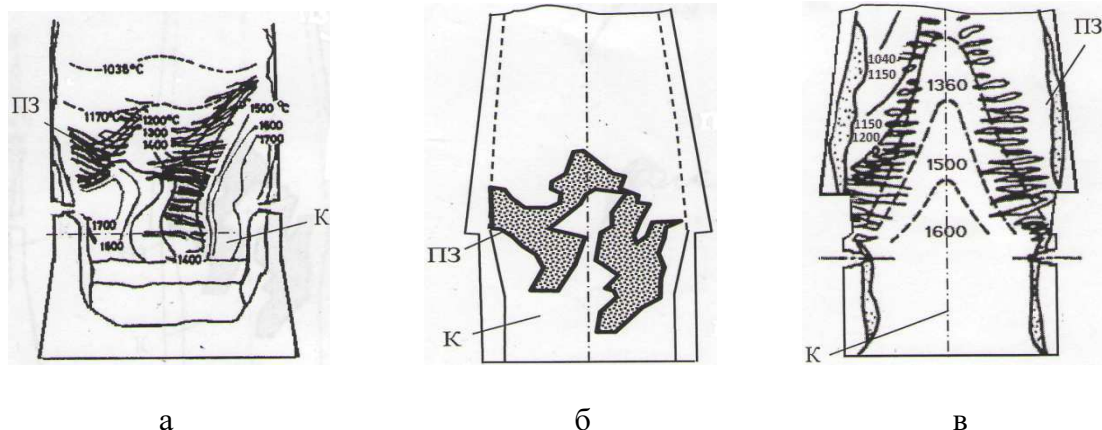


Рисунок 1 – Схема определения объема тела с переменным поперечным сечением

$$V = (d/3) [(A_1 + A_7) + 4(A_2 + A_4 + A_6) + 2(A_3 + A_5)].$$

При определении объема коксовой насадки ДП № 1 Амагасаки [4] вначале для упрощения расчетов находили объем массива коксовой насадки вместе с частью зоны пластичности, просевшей в насадку (рис.2, а). Затем, предварительно определив объем просевшей части зоны пластичности, рассчитали объем коксовой зоны за вычетом объема пластичной. Результаты расчета приведены в табл.1, откуда видно, что зона свободного кокса в исследуемом случае занимает 1/5 полезного объема печи.



а) Амагасаки, ДП № 1; б) Хукинген, ДП № 5; в) Хирохата, ДП № 1;
ПЗ – пластичная зона; К – коксовая зона

Рисунок 2 – Используемая в расчетах конфигурация зон когезии и кокса в замороженных доменных печах разных заводов

Для определения объема зоны когезии, просевшей в насадку, разделили пластичную зону по высоте на 35 элементарных сечений с интервалом разбиения 0,15 м. Установленный объем этой зоны составил 11 м³ или 7,8% общего объема коксовой насадки, что составляет 1,5% полезного объема печи.

Для доменной печи № 5 завода Хукинген [3] (рис.2, б) объемы коксовой насадки и зоны пластичности, находящейся в массиве насадки, определили по другой методике. Профили сечения зон по высоте разделили на простейшие геометрические фигуры, с учетом масштаба нашли их площади, а затем определили объемы тел вращения, исходя из предположения о симметрии зон относительно центра печи. Согласно расчету объем части зоны когезии, просевшей в коксовый массив ниже горизонта воздушных фурм, составил 17 м³, а части зоны когезии, находящейся выше фурм, – 80 м³. Объемы коксовой насадки по частям профиля доменной печи № 5 распределились следующим образом:

Элемент профиля	Абсолютный объем, м ³	Относительный объем % объема печи
горн	127	12,7
заплечики	80	8,0
распар	16	1,6
шахта	2	0,2
рабочее пространство от горна до шахты	225	22,5

Таблица 1 – Результаты расчета объема коксовой насадки охлажденных на ходу доменных печей

Показатели	Страна, завод, № печи	
	Япония, Амагасаки, № 1	Япония, Хирохата, № 1
Полезный объем печи, м ³	721	1407
Диаметр горна, м	6,0	7,8
Интервал разбиения сечений, м:		
в горне и заплечиках	0,15	2,2
в распаре и шахте	-	1,25
Количество сечений:		
в горне и заплечиках	23	6
в распаре и шахте	-	5
Радиус сечения массива коксовой насадки, м:		
в горне и заплечиках, min/max	0,3/3,0	0,3/3,9
в распаре и шахте, min/max	-	0,3/1,7
Площадь сечения коксовой насадки горизонтальной плоскостью, м ²		
в горне и заплечиках, min/max	0,2/28,2	0,3 / 47,7
в распаре и шахте, min/max	-	0,28 / 9,0
Объем коксовой насадки, м ³ / % объема печи		
в горне	100/13,9	235 / 16,7
в заплечиках	40/5,5	133 / 9,5
в распаре	-	133 / 9,5
в шахте	-	23 / 1,6
общий	140/19,4	391 / 27,8

Таким образом, объем зоны когезии, находившийся в исследуемой доменной печи ниже горизонта фурм, составил 5,9% от общего объема коксовой насадки или 1,7% полезного объема печи.

Как видно из приведенных расчетов, с увеличением полезного объема печей с 721 до 1000 м³ величина объема зоны когезии, просевшей в коксовую насадку без последствий для ровного хода печей, отнесенная к объему свободной коксовой насадки, снизилась с 7,8 до 5,9%. Полученные данные подтверждают известное мнение о том, что с увеличением полезного объема печей роль величины объема и чистоты коксовой насадки должны возрастать.

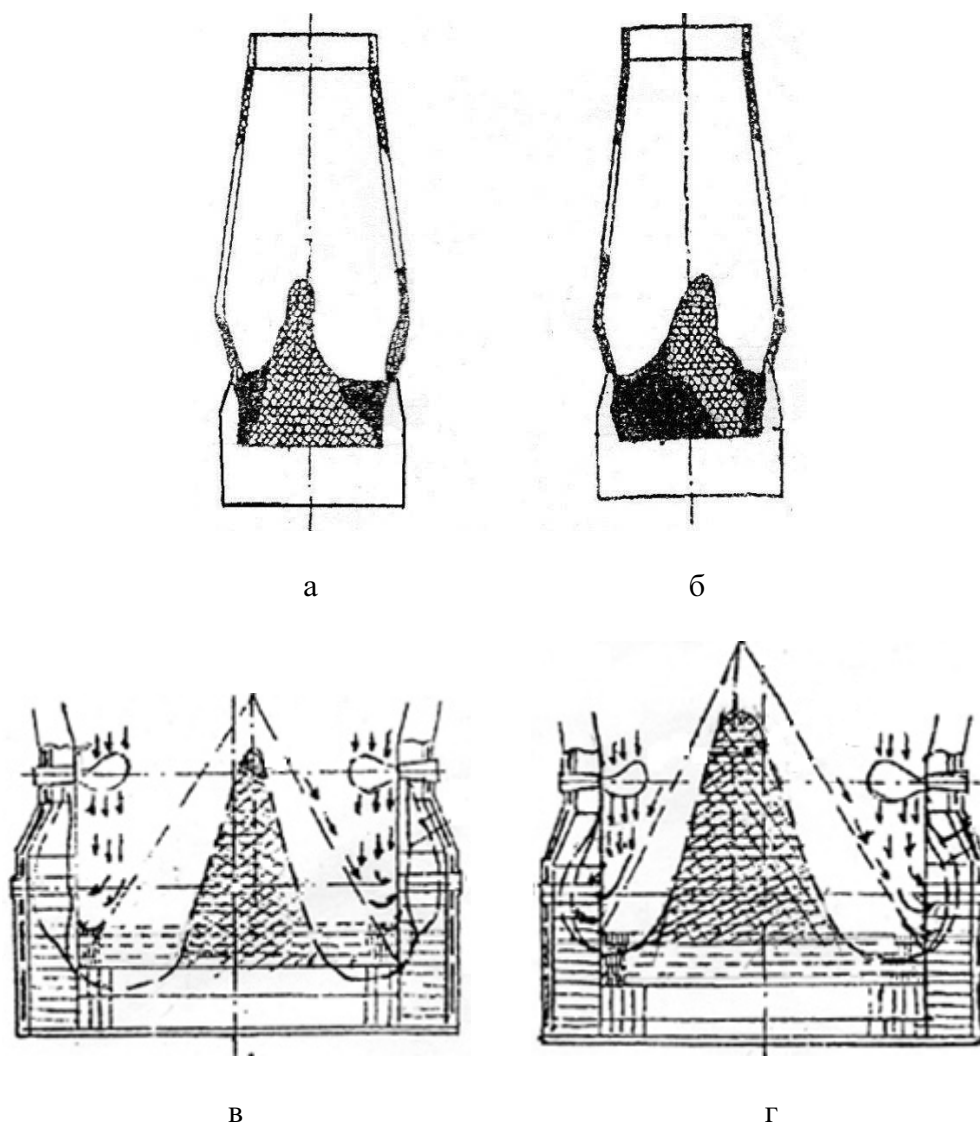
Определение размеров коксовой насадки доменной печи № 1 завода Хирохата [2] (рис.2, в) по методике Симпсона трудностей не вызывало ввиду отсутствия проникновения пластичной зоны в коксовую (табл.1). Расчетом установлено существенное превышение относительного объема коксовой насадки по сравнению с рассмотренными печами меньшего объема.

Сравнивая показатели исследованных печей (табл.2), можно видеть, что относительный объем коксовой насадки возрастал не только с увеличением объема печей, но и с повышением интенсивности плавки и, разумеется, с возрастанием расхода топлива.

Таблица 2 – Показатели интенсивности хода исследуемых доменных печей

Показатели	Завод, номер печи		
	Амагасаки, №1	Хукинген, №5	Хирохата, №1
Удельная производительность, т/м ² сут	48,8	47,6	53,2
Расход топлива, кг/т чугуна	451	516	542
Интенсивность плавки по сожженному топливу, кг/м ³ сут	863	944	1003

Количественная оценка массивов тотермана произведена по данным замеров, выполненных ИЧМ [5]. Результаты расчета объема этих образований (рис.3), вызванных нарушениями технологии плавки, обусловленных как конструктивными факторами,



а – 1977 г.; б – 1989 г.; в – 1995 г.; г – 1997 г.

Рисунок 3 – Используемые в расчетах схемы размещения тотермана в доменных печах № 9 комбината «Криворожсталь (а, б) и № 5 комбината «Северсталь (в, г)

так и сырьевыми, приведены в табл.3. При наличии осевого потока газов и формировании Λ-образной зоны когезии в ДП № 9 по типу ДП №1 завода Хирохата объем активной коксовой насадки должен составлять 1390 м³ (27,8% полезного объема печи). Эксплуатация печи с конусным засыпным аппаратом и недостаточной мощностью дутьевой струи привела к образованию тотермана объемом 642 м³. Это составляет 46%, почти половину коксовой насадки, приемлемой для мощной печи.

Таблица 3 – Результаты расчета объема тотермана, обнаруженного в доменных печах, остановленных на ремонт

Показатели	Страна, завод, печь, год остановки на ремонт			
	Украина, Криворожсталь ДП № 9		Россия, Северсталь, ДП № 5	
	1977	1989	1995	1997
Полезный объем печи, м ³	5000		5500	
Диаметр горна, м	14,7		15,1	
Засыпной аппарат	клапанно-конусный ВНИМЕТ МАШ-УЗТМ	Пауль Вюрт	Пауль Вюрт	
Воздушные фурмы: количество диаметр в свету, мм	36 190	42 150	40 150	
Скорость истечения дутья, м/с	150-175	190-215	225-230	195-210
Линейные размеры тотермана, м: ширина у основания наибольшая ширина по высоте высота	12,6 12,6 16,6	1,8 6,8 4,4	7,0 7,0 9,3	8,2 8,2 10,7
Абсолютный (числитель) и относительный (знаменатель) объемы тотермана в элементах профиля печи, м ³ /%:				
шахта	7 / 0,25	17 / 0,5	-	-
распаре	13 / 3,7	15 / 4,3	-	-
заплечиках	116 / 16,8	94 / 13,6	-	7 / 1,0
горне	386 / 51,7	75 / 10,0	40 / 5,4	138 / 13,5
зумпфе	120 / 64,5	4 / 2,1	104 / 55,1	107 / 49,8
общий	642	205	144	252

Переход ДП № 9 Криворожстали на загрузку лотковым распределителем шихты и воздушные фурмы меньшего выходного сечения способствовал снижению высоты тотермана почти в 4 раза и уменьшению его объема в 3 раза. Отсутствие возможности усиления газового потока в центре при использовании клапанно-конусного загрузочного устройства привело к загромождению горна тотерманом более чем на 50% и зумпфа на 64% (рис.3, а). Раскрытие центра с помощью лоткового распределителя шихты и повышение мощности дутьевой струи во второй кампании печи существенно увеличило ёмкость горна и зумпфа – потеря ёмкости составила только 10 и 2% соответственно (рис.3, б).

На ДП № 5 Череповецкого комбината, работавшей в более благоприятных сырьевых условиях, но с нестабильным обеспечением, объем тотермана (рис.3, в, г) соста-

вил 144-252 м³, при этом был значительно загромождён зумпф – примерно на 50% полезной проектной емкости.

Оценку влияния условий доменной плавки на параметры пластичной и коксовой зон произвели с использованием данных НПО «Черметавтоматика», МИСиС и Магнитогорского металлургического комбината, полученных на доменной печи объёмом 2000 м³ [6]. Геометрические размеры и место размещения (горизонт нахождения) пластичной зоны в работе [6] определяли с помощью трех, логически связанных между собой математических моделей, исходными данными для которых служили измерения параметров газового потока по диаметру верхней части шахты и измерения фактических перепадов давления в рабочем пространстве печи.

Исследуемая печь работала на шихте, состоящей из 52-56% агломерата и 44-48% окатышей. Печь была оборудована типовым двуконусным засыпным аппаратом. В марте 1986 г. на печи на протяжении двух суток было проведено 16 полных зондирований по диаметру верха шахты с определением состава газа, на основе которых была рассчитана конфигурация зоны пластичности за 8 периодов, приуроченных к последовательным выпускам чугуна (рис.4).

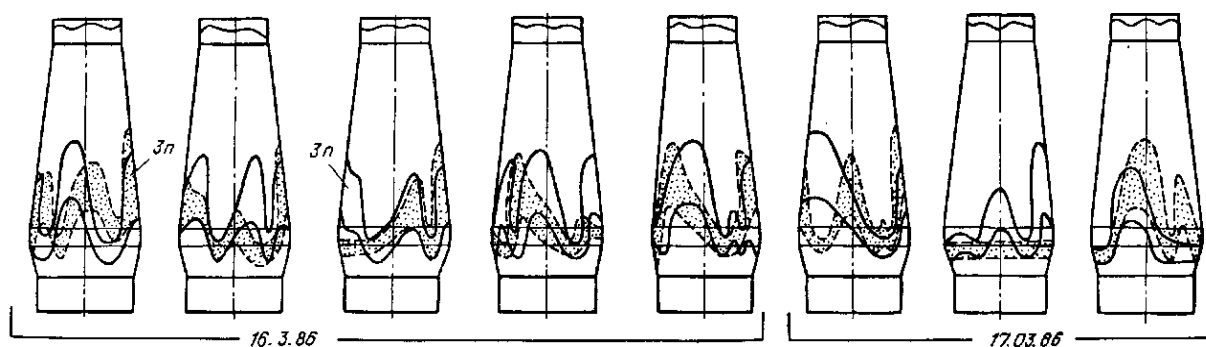


Рисунок 4 – Колеблемость очертаний пластичной и коксовой зон в доменной печи объёмом 2000м³, обусловленная нестационарностью доменного процесса

Нами, на основе выше указанных данных о параметрах зоны пластичности в этих периодах, были рассчитаны параметры коксовой зоны, исходя из допущения, что коксовая зона ограничивается сверху нижней границей когезивной зоны, а снизу – горизонтом размещения чугунных леток. При расчетах объемом прифурменных полостей пренебрегли, поскольку кокс, затопленный в чугун, находится и ниже оси чугунных леток, что с избытком компенсирует неучтенный объем прифурменных полостей.

Результаты определения объема коксовой зоны и соотношение объемов зон пластичности и кокса приведены в табл.4. Установлено, что в начале выпуска объем зоны когезии был больше, чем в конце выпуска, а зона свободного кокса, наоборот, при открытии летки была меньше. Так относительный объем пластичной зоны до выпуска составлял 57% объема зоны кокса, а после выпуска – 48%. Отсюда следует важный для технологии вывод: нижний перепад давлений газа перед выпуском может возрастать не только в результате подпора фурменных очагов продуктами плавки, но и в результате увеличения объема пластичной зоны – увеличения количества материалов, находящихся в труднопроницаемом размягченном состоянии.

Было установлено, что объем коксовой зоны, рассчитанный с использованием данных моделирования [6], изменялся в пределах 14-35% полезного объема печи и в среднем составил 29%. Эти значения отвечают данным, полученным нами расчетом для замороженных доменных печей (19-29%).

Для выявления воздействия технологии доменной плавки на характерные высокотемпературные зоны, усреднили данные о структуре столба шихты в отдельные су-

точные периоды, отличающиеся, прежде всего, расходом природного газа (табл.5). В результате изменений тепломассообмена, при увеличении расхода природного газа, средняя глубина образования зоны пластичности от уровня засыпи снизилась больше, чем на 1 м, объёмы зон пластичности и кокса уменьшились. Полученные данные вполне соответствуют воззрениям о влиянии природного газа на распределение температур по высоте печи.

Таблица 5 – Показатели работы доменной печи ММК объемом 2000 м³ в разные периоды исследований (1, 2)

Показатель	Периоды	
	1	2
Производительность, т/сут	3761	4596
Состав подачи, т:		
кокс	11,2	11,0
агломерат	21,3	19,9
окатыши	17,1	18,5
Доля окатышей в шихте, %	44,5	48,2
Рудная нагрузка	3,45	3,49
Содержание Fe (агломерат/окатыши), %	53,48 / 62,50	53,62 / 62,50
Порядок загрузки	РККР	РККР
Дутье:		
расход, м ³ /мин	4040	4100
температура, °С	1070	1070
концентрация кислорода, %	26,5	26,0
Расход природного газа:		
% к дутью	4,8	5,8
м ³ /мин	195,9	239,4
Структура столба шихты:		
объем зоны когезии (ЗК), м ³	341,6	255,8
средняя глубина ЗК от уровня засыпи, м	16,8	17,9
средняя толщина ЗК, м	3,52	3,0
объем коксовой зоны (КЗ), м ³	611,2	550,2
средняя глубина верха КЗ от уровня засыпи, м	20,32	20,9

Анализ изменения очертаний зоны когезии в динамике работы печи (рис.4) свидетельствует о том, что при оснащении печи типовым конусным засыпным устройством и форсированном ее ходе единым возможным вариантом является образование W-образной когезивной зоны.

Выводы. Впервые осуществлена попытка определения геометрических объемов коксовых насадок замороженных на ходу доменных печей. Минимальный объем коксовой зоны (19,4% полезного объема печи) зафиксирован на ДП № 1 завода Амагасаки (Япония), работавшей с низким расходом топлива и с наименьшей для исследованных печей интенсивностью плавки. Максимальный объем коксовой насадки (27,8% полезного объема печи) определен для ДП № 1 завода Хирохата (Япония), работавшей с высшей интенсивностью плавки и повышенным расходом топлива. Кроме того, для работавшей доменной печи объемом 2000 м³ по данным моделирования был определен объем коксовой зоны, составивший в среднем 29% полезного объема печи.

Определен также геометрический объем тотермана, образованного в мощных доменных печах СНГ объемом 5000 и 5500 м³ при нарушениях хода, обусловленного конструктивными и эксплуатационными факторами. Минимальный объем тотермана наблюдался на ДП № 5 Череповецкого комбината – 144 м³ (2,6% полезного объема пе-

чи), максимальний – 642 м³ (12,8% полезного об'єму печі) на ДП № 9 «Криворожстали». Образование столь большого застывшего массива на ДП № 9 было обусловлено несоответствием засыпного аппарата и дутьевого режима требованиям эксплуатации печей большого объема.

Анализ изменения соотношения объемов зон пластичности и кокса в работавшей ДП объемом 2000 м³ показал, что относительный объем пластичной зоны до выпуска составлял 57% объема зоны кокса, а после выпуска – 48%. Отсюда следует важный для ведения печи вывод: нижний и общий перепады давления газа в печи перед выпуском могут возрастать не только в результате усиления подпора фурменных очагов продуктами плавки, но и в результате относительного увеличения объема пластичной зоны – зоны железорудных материалов, находящихся в труднопроницаемом для газов размягченном состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фазовые превращения материалов при доменной плавке / Балон И.Д., Буклан И.З., Муравьев В.Н., Никулин Ю.Ф. – М.: Металлургия, 1984. – 152с.
2. Гуденау Г-В. Исследования на охлажденных доменных печах в Японии / Гуденау Г-В., Сасабе М., Крайбих К. // Черные металлы. – 1977. – № 6-7. – С.13-17.
3. Грабе К. Поведение шихтовых материалов при размягчении в «замороженной» азотом доменной печи и его влияние на расход кокса / Грабе К., Де Хаас Г. // Черные металлы. – 1986. – № 5. – С.25-32.
4. Доклад о разборке содержимого доменной печи № 1 завода Амагасаки / К.Нарита, Т.Сато, М.Маекава [и др.] // Тецу то Хагане. – 1980. – № 13. – С.1975-1984.
5. Влияние распределения шихты на разгар металлоприемника доменной печи / В.И.Большаков, С.Т.Шулико, В.В.Канаев, Ф.М.Шутылев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С.4-9.
6. Работа доменной печи в форсированном режиме / Гришкова А.А., Клемперт В.М., Федулов Ю.В., Быльева Л.П. // Сталь. – 1987. – № 9. – С.17-22.

Поступила в редколлегию 07.09.2015.

УДК 622.7:622.785

РУДЕНКО М.Р., к.т.н., доцент
ЗЮЗЬ В.Г.*, директор
РУДЕНКО Р.М., аспирант

Дніпродзержинський державний технічний університет
*ПП «Зевс Еліт», м. Кривий Ріг

УПРАВЛІННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНИМ СКЛАДОМ І МІЦНІСТЮ ГРАНУЛ ОГРУДКОВАНОЇ АГЛОШИХТИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Вступ. Однією з переваг агломераційного виробництва є можливість залучення в переділ залізовмісних матеріалів, що відрізняються як за хімічним, гранулометричним складом, так і за різними поверхневими властивостями. Але при використанні тонкодисперсних залізорудних концентратів, залізовмісних шлаків, пилу погіршуються якість огрудкованої шихти, газодинамічні властивості шару шихти. Спікання таких шихт проходить в надто низьких шарах.

Постановка задачі. Метою роботи є встановлення закономірностей раціонального використання шихтових матеріалів зі значною кількістю тонкоподрібнених мате-