

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАСЫПИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Целью работы является исследование особенностей формирования поверхности шихты во время выгрузки материалов лотковым распределителем доменной печи. Показано изменение поверхности шихты после выгрузки каждой порции. Представлены результаты впервые выполненных исследований динамики формирования поверхности шихты на основе информации радиолокационного измерителя профиля. Выполнена оценка влияния выпусков продуктов плавки на форму поверхности шихты и изменение скоростей ее опускания.

**доменная печь, шихта, выгрузка, профиль поверхности, радиолокационный профилемер**

**Современное состояние вопроса.** Основными показателями, по которым осуществляется управление загрузкой современных доменных печей, являются распределение рудных нагрузок и объемов шихтовых материалов по радиусу и окружности колошника печи [1]. Для расчета показателей и обоснованного выбора программы загрузки используют математические модели радиального распределения шихты (РРШ). Алгоритмы моделей РРШ описывают выгрузку шихтовых материалов из бункеров загрузочного устройства, включающую движение материалов от шихтового затвора по наклонной выпускной воронке и центральной трубе до поверхности лотка; движение по вращающемуся распределителю и сход с его поверхности; падение на поверхность засыпи; распределение материала по поверхности засыпи; опускание материалов в печи с учетом заданного распределения скоростей опускания шихты [2]. Выбор основных входных параметров моделей основан на собственной базе знаний, полученной в результате экспериментальных исследований и литературных данных. Поэтому математические модели разных исследователей и выходные параметры моделей могут отличаться друг от друга.

В настоящее время в связи с оснащением доменных печей современными средствами измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике разработка и совершенствование технологических приемов управления распределением шихтовых материалов по сечению печи может выполняться с учетом фактического состояния поверхности засыпи для условий конкретной доменной печи и используемых на ней шихтовых материалов. Эта информация позволяет технологическому персоналу контролировать ход печи и принимать обоснованные решения по корректировке режима загрузки печи шихтовыми материалами с целью уменьшения расхода топлива и продления кампании печи [3].

Исследования формирования поверхности шихтовых материалов с использованием информации радиолокационного профилемера, выполненные в последние годы сотрудниками отдела технологического оборуду-

дования и систем управления ИЧМ, были направлены на изучение особенностей изменения скоростей опускания шихты и параметров поверхности засыпи в среднем за определенный период работы доменной печи – час, цикл загрузки, 8 и 24 часа. Периоды усреднения параметров поверхности засыпи шихты обусловлены инерционностью влияния управляющих воздействий на ход доменной печи, таких как изменение дутьевых параметров, режима загрузки, а также влияния параметров поверхности засыпи на тепловое состояние горна доменной печи [3–7].

**Основные результаты исследований.** Результаты исследований формирования поверхности засыпи, выполненных с использованием установленной на ДП №9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» радиолокационной системы измерения профиля поверхности засыпи шихты, позволили заключить, что обрабатывая по специальным алгоритмам получаемую от системы информацию можно фиксировать изменения профиля поверхности засыпи шихты во время выгрузки порций шихтовых материалов в цикле загрузки печи. Это позволяет получить информацию о распределении объемов кокса и железосодержащих материалов по радиусам колошника при заданных их значениях по угловым позициям распределителя в точках измерения профиля. Полученная информация необходима для оценки процессов перераспределения материалов по поверхности засыпи и контроля фактически выгруженных на поверхность засыпи из каждого углового положения лоткового распределителя объемов шихтовых материалов в рамках выгрузки порций шихты.

Для обоснования возможности получения информации о формировании поверхности засыпи шихты в точках измерения после выгрузки шихтовых материалов из каждого углового положения лоткового распределителя шихты в рамках выгрузки каждой порции материалов разработан алгоритм определения параметров профиля поверхности засыпи шихты в точках измерения, который включает следующую последовательность выполняемых операций (при этом построение профиля поверхности засыпи шихты осуществляется согласно разработанному ранее способу [8]):

1. регистрация средних показаний профилемера за интервал времени 1–3 секунды после поступления команды на начало открывания шихтового затвора (ШЗ) перед выгрузкой каждой порции в цикле загрузки шихты в выбранном периоде, соответствующих исходному профилю поверхности засыпи;

2. регистрация средних показаний профилемера за интервал времени 5–7 секунд после поступления команды на закрытие ШЗ после выгрузки каждой порции материалов в цикле загрузки в выбранном периоде, соответствующих изменению уровня поверхности засыпи в точках измерения после выгрузки порции;

3. корректировка масс материалов, выгружаемых из каждого углового положения лоткового распределителя каждой выгружаемой порции, определяемых из протокола загрузки БЗУ в соответствии с массой

материалов соответствующей порции, взвешенной на шихтоподаче ( $M_{II}^{шт}$ ). (Корректировка обусловлена меньшей точностью взвешивания материалов в бункерах БЗУ. Так, например, для исследуемого периода работы печи погрешность составила: для порций КСкр 8–4–12,4%, для АОШо 9–3–11,3%, для К 2–1 –3,1%);

4. определение времени выгрузки материалов из каждого углового положения лоткового распределителя ( $T_{поз}$ ), с:

5.  $T_{поз} = \frac{M_{поз}^{кор} \cdot T_B}{M_{II}^{шт}}$ , где  $M_{поз}^{кор}$  – скорректированная масса материалов,

выгружаемых из каждого углового положения лоткового распределителя,  $T_B$  – время выгрузки порции шихты,  $M_{II}^{шт}$  – масса порции;

6. определение изменений уровней поверхности засыпи в точках измерения по радиусу колошника после выгрузки материалов из каждого углового положения лоткового распределителя;

7. определение координат поверхности засыпи шихты в точках измерения перед выгрузкой порции шихтовых материалов (исходного профиля) с учетом его изменения во время выгрузки (т.е. корректировка с учетом скорости опускания поверхности засыпи);

8. согласно разработанному и представленному в работе [9] методу производится корректировка изменения профиля поверхности засыпи после выгрузки материалов из каждого углового положения лоткового распределителя с учетом их изменений во время выгрузки.

9. Исследования динамики изменения профиля поверхности засыпи шихты с использованием разработанного алгоритма были выполнены для периода работы ДП №9 14–15.01.2008 г. Состав шихтовых материалов и программа загрузки, используемые в исследуемом периоде работы печи, представлены в табл.1,2. Результаты определения профиля поверхности засыпи шихты по четырем контролируемым радиусам во время выгрузки порций, полученные в соответствии с разработанным алгоритмом для порций цикла загрузки печи (КСкр 8–4, АОШо 9–3 и К 2–1) представлены на рис.1,2.

Как следует из рисунков, приращенные слои шихты, происходящие после выгрузки материалов из каждого углового положения лоткового распределителя, наблюдаются, в основном, на участках радиуса, соответствующих центрам потоков шихтовых материалов, представленных на графиках штрихпунктирными линиями.

Для порций КСкр 8–4 с воронкообразным исходным профилем поверхности засыпи для центральной и промежуточно–центральной зон радиуса колошника (0–2,5 м от оси печи) характерно расположение участка, образованного после выгрузки, ниже исходного профиля, что вызвано влиянием скорости опускания шихты в указанных зонах. Следует также отметить, что в порциях КСкр 8–4 и АОШо 9–3, за исключением порции «осевого» кокса, визуально наблюдается нехватка объемов материалов

после выгрузки материалов из крайних (8-е для порций кокса и 9-е – для железосодержащих материалов) угловых положений распределителя шихты.

Таблица 1. Состав шихтовых материалов в исследуемом периоде работы печи

Вид материала	$\gamma, \text{м}^3$	№ порции, вид материала, масса, т, %									
		1-КСкр <sup>1)</sup> 8-4		2-АОШо 9-3		3-КСкр 8-4		4-АОШо 9-3		5-К 2-1	
		т	%	т	%	т	%	т	%	т	%
I батарея 1-2	,5	,89	1,62	-/-	-/-	,16	2,17	-/-	-/-	-/-	-/-
I батарея 5-6	,5	,19	3,55	-/-	-/-	,35	6,49	-/-	-/-	-/-	-/-
Бельгийский кокс	,5	,42	7,23	-/-	-/-	,32	,44	-/-	-/-	,66	3,55
Пег	,5	,65	,87	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Шлак	,5	-/-	-/-	,65	,37	-/-	-/-	,38	,17	,22	,45
Грацит		-/-	-/-	,13	,91	-/-	-/-	,10	,91	-/-	-/-
<b>Коксовая часть</b>		,15	0,27	,78	,28	,83	0,10	,48	,08	,88	0,00
Агломерат НГОК II	,7	-/-	-/-	,42	0,07	-/-	-/-	,38	0,54	-/-	-/-
Агломерат НГОК II (склад)	,7	-/-	-/-	,47	,89	-/-	-/-	,59	6,02	-/-	-/-
ОК	95	-/-	-/-	,65	3,46	-/-	-/-	,43	3,60	-/-	-/-
Кустяк обыкновенный	,3	-/-	-/-	,13	,11	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Шлак чугунный	,4	,46	0,73	-/-	-/-	,43	0,90	-/-	-/-	-/-	-/-
Шлак обогащенный	,6	-/-	-/-	,45	,19	-/-	-/-	,94	,76	-/-	-/-
<b>Железосодержащая часть</b>		,46	0,73	7,12	5,72	,43	0,90	5,34	5,92	,00	,00
<b>Σ</b>		,61	0,00	1,90	0,00	,27	0,00	9,81	0,00	,88	0,00
<b>Σ <math>\gamma</math>, т/м<sup>3</sup></b>		<b>0,87</b>		<b>1,70</b>		<b>0,88</b>		<b>1,70</b>		<b>0,50</b>	
<b>ΣV, м<sup>3</sup></b>		<b>25,85</b>		<b>65,91</b>		<b>25,36</b>		<b>64,53</b>		<b>29,74</b>	

<sup>1)</sup> – К – кокс, Скр – скрап чугунный, А – агломерат, О – окатыши, Шо – обогащенный шлак

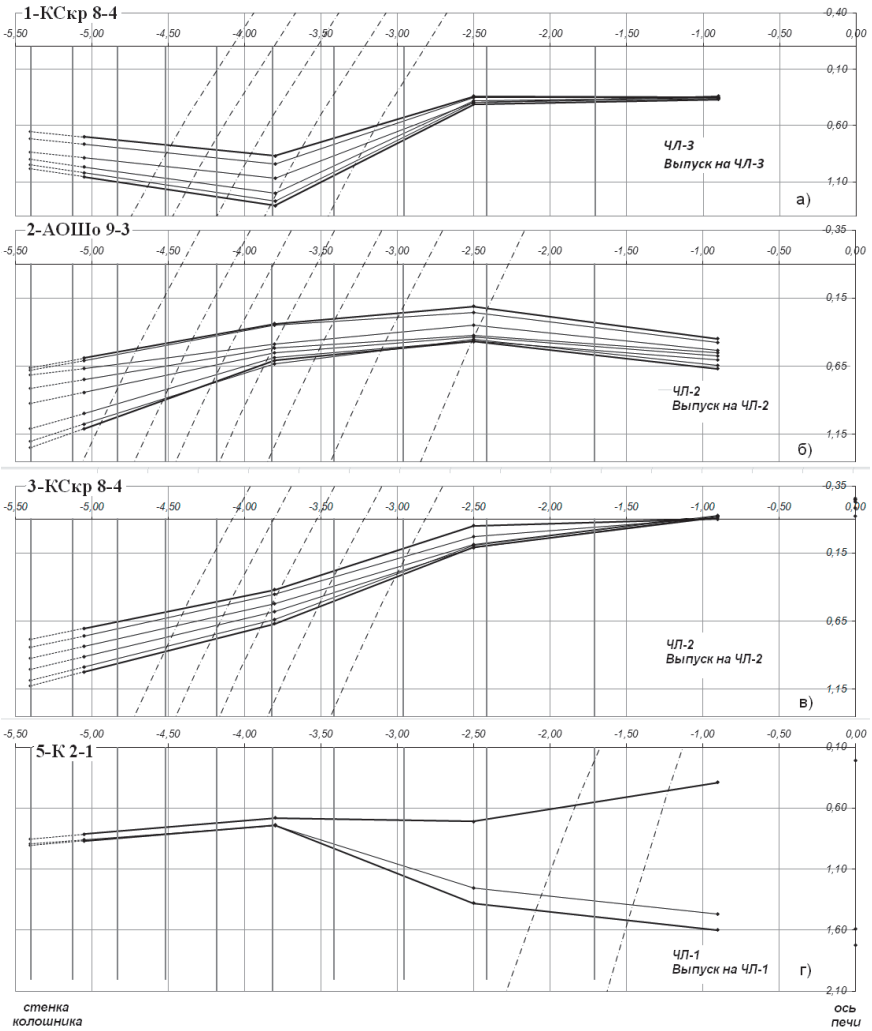


Рис. 1. Динамика изменения профиля поверхности засыпи для исследуемого периода работы печи во время выгрузки порций 1 – КСкр 8-4, 2 – АОШо 9-3, 3 – КСкр 8-4 и 5 – К 2-1. штрихпунктирные линии – центры тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых из угловых положений лоткового распределителя

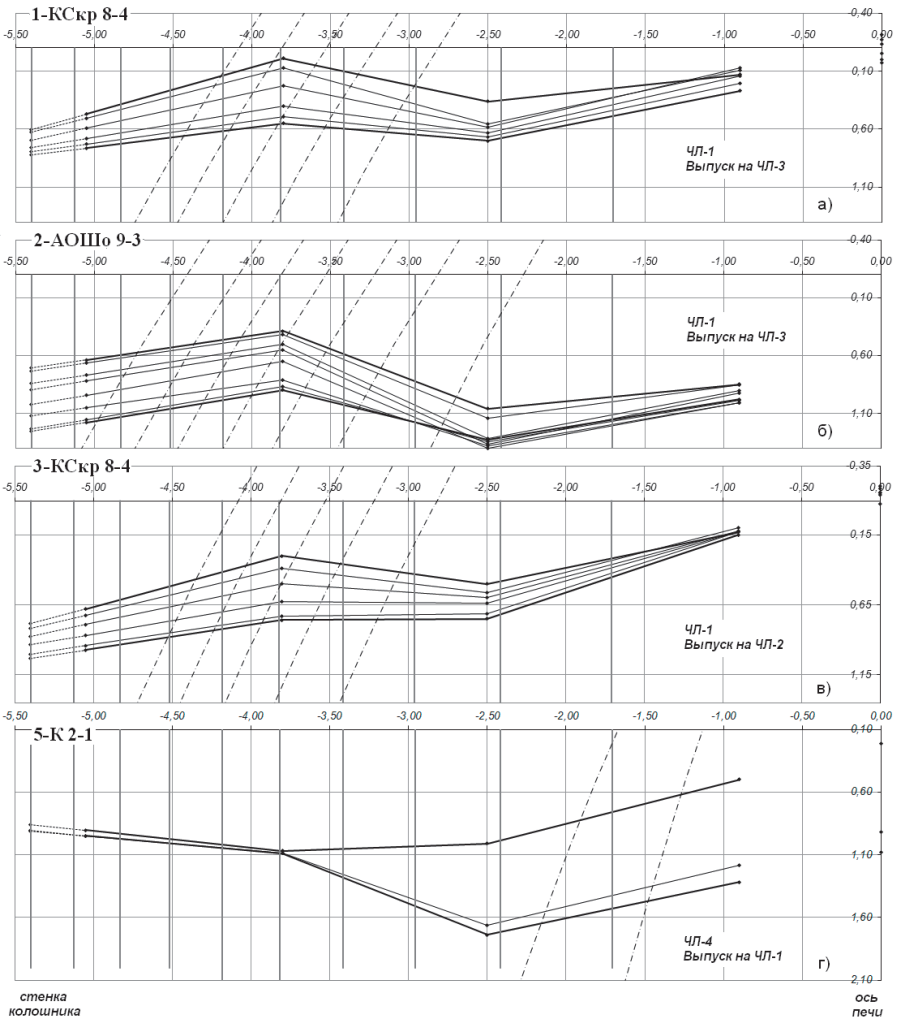


Рис.2.Динамика изменения профиля поверхности засыпи для исследуемого периода работы печи во время выгрузки порций 1 – КСкр 8–4, 2 – АОШо 9–3, 3 – КСкр 8–4 и 5 – К 2–1. штрихпунктирные линии – центры тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых из угловых положений лоткового распределителя

Таблица 2. Программа загрузки шихтовых материалов для исследуемого периода работы печи

№ порции, вид ма- териала	Распределение масс по угловым положениям лоткового распределителя, т									Σ
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1,6– КСкр 8–4		,62	,51	,02	,23	,23				2,61
2,7– АОШо 9–3	9,82	7,65	9,18	1,81	0,48	8,61	34			11,90
3,8– КСкр 8–4		,37	,96	,74	,95	,24				2,27
4,9–АОШо 9–3	9,46	9,01	8,76	1,58	0,20	8,36	44			99,81
5,10– К 2–1								,28	1,59	4,87

Указанная нехватка объемов, по нашему мнению, может являться следствием образования над поверхностью засыпи взвешенного слоя, имеющего место перед выгрузкой порции шихты на слой материалов, образованный после выгрузки предыдущей порции шихты. Явление образования взвешенного слоя было установлено и ранее при проведении исследований особенностей поведения поверхности засыпи в доменной печи и требует особого изучения. Для этого на первом этапе дальнейших исследований предполагается выполнение оценки динамики изменения высоты слоев в точках измерения профиля поверхности засыпи по мере ее опускания в паузах между выгрузками порций шихты. Это позволит определить особенности перераспределения материалов вдоль радиуса колошника, оцениваемое по изменению высоты слоя, а также определить начало и окончание процесса образования над поверхностью засыпи взвешенного слоя.

Информация о формировании поверхности засыпи во время выгрузки порций шихтовых материалов позволит определять отклонения фактических объемов на поверхности засыпи от заданных по угловым положениям лоткового распределителя. Полученные результаты позволят также скорректировать алгоритм построения структуры слоев шихтовых материалов, образованной за цикл загрузки доменной печи.

При выполнении следующего этапа представленных в статье исследований установлено влияние выпусков продуктов плавки на конфигурацию образованных в результате выгрузки порции слоев шихтовых материалов. На рис.1 представлены профили поверхности засыпи шихты по радиусам колошника, расположенным в секторах расположения леток, через которые осуществлялся выпуск продуктов плавки. На рис.2 приведены профи-

ли поверхности засыпи по радиусам, расположенным в секторах печи, соответствующих закрытым леткам.

Как видно из рис.1б, где представлены профили поверхности засыпи во время выгрузки порции АОШо 9–3 по радиусу оси чугунной летки (ЧЛ) №2, на которую осуществлялся выпуск, в периферийной зоне сечения колошника (3,80–5,05 м) наблюдается незначительное понижение уровня засыпи на 0,30 м на указанном радиусе по сравнению со средним уровнем засыпи, определенным для этой порции на другом радиусе (рис.2б). При этом разница между уровнем засыпи в первой промежуточной зоне по сравнению с периферийной на радиусе ЧЛ №2 составила 0,50 м. Из рис.1в, на котором представлены профили поверхности засыпи во время выгрузки порции КСкр 8–4 после выгрузки АОШо 9–3, видно, что разница между уровнем засыпи в первой промежуточной зоне по сравнению с периферийной на радиусе ЧЛ №2 составляет 0,35 м, что также вызвано влиянием выпуска продуктов плавки на ЧЛ №2. Отмечается также и влияние выпуска продуктов плавки на ЧЛ №3. Это иллюстрирует график, приведенный на рис.1а, на котором видно образование воронки профиля поверхности засыпи шихты глубиной 0,58 м в первой промежуточной зоне (3,80 м) для случая формирования поверхности засыпи при выгрузке порции КСкр 8–4. Анализ поверхности засыпи, образованной в результате выгрузки порций «осевого» кокса К 2–1 (рис.1г и 2г), показал, что на изменение формы поверхности засыпи этой порции выпуск продуктов плавки влияния не оказывает. Как следует из рис.2, где представлены профили поверхности засыпи шихты по радиусам сечений колошника, соответствующим закрытым леткам, поверхность засыпи характеризуется явно выраженным «гребнем», расположенным в промежуточной зоне колошника, а также величинами углов откоса поверхности к стенке и к оси печи, находящимися в диапазонах, установленных в выполненных ранее исследованиях [10] и соответствующими ровному ходу печи.

Подтверждением влияния выпусков продуктов плавки на формирование поверхности засыпи шихты явились результаты анализа скоростей опускания шихтовых материалов для исследуемого периода работы печи в трех кольцевых зонах колошника, расположенных в секторах чугунных леток. На рис.3 представлено изменение среднечасовых скоростей опускания шихты в секторах открытых и закрытых леток. Как следует из рис.3, в центральной (Ц) кольцевой зоне (расстояние 4,5 м от стенки печи) скорости опускания в секторах, в которых осуществляется выпуск, имеют большую, по сравнению с секторами закрытых леток, неравномерность изменения, среднеквадратичное отклонение составило для этих секторов 0,020 м/мин, в то время как в секторах закрытых леток среднеквадратичное отклонение составило 0,011 м/мин.

В первой промежуточной зоне (1П, расстояние от стенки печи – 1,6 м) также отмечено увеличение среднеквадратичного отклонения скорости



опускания в секторах действия открытых леток – 0,022 м/мин по сравнению с секторами закрытых леток – 0,016 м/мин.

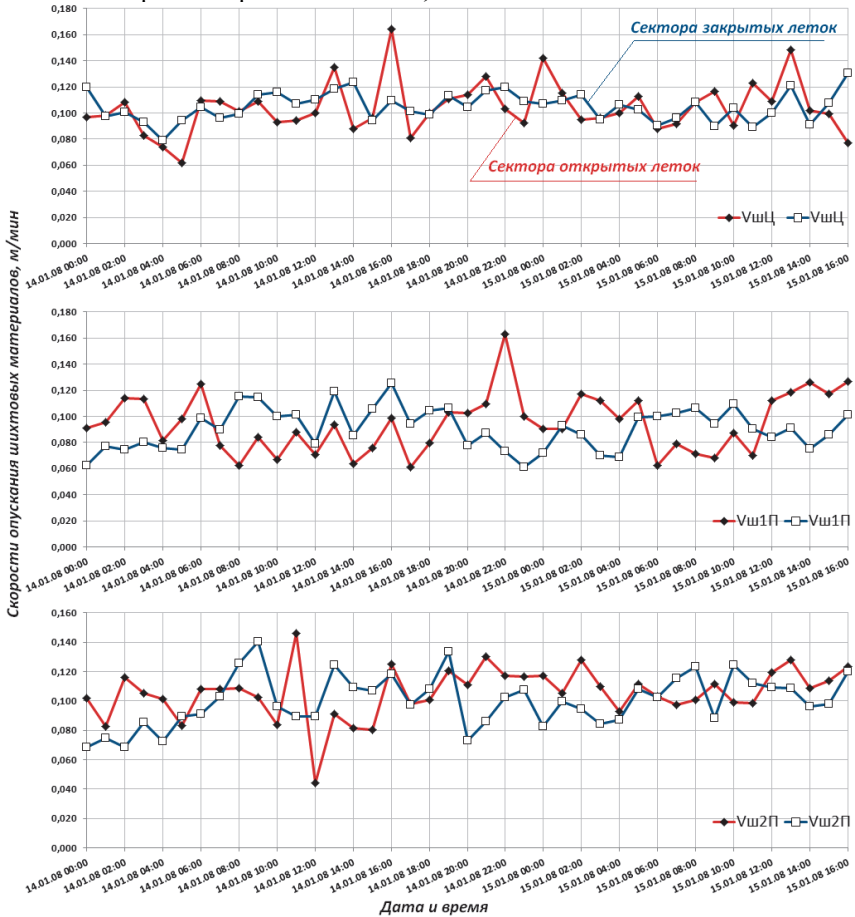


Рис.3.Изменение скоростей опускания шихтовых материалов в секторах расположения леток.

Во второй промежуточной зоне (2П, расстояние от стенки печи – 2,9 м) среднеквадратичные отклонения скоростей опускания шихты одинаковы для секторов открытых и закрытых леток и составили 0,018 м/мин, что обусловлено нивелированием перераспределения материалов на участке профиля поверхности засыпи, расположенного в зоне 2П, который характеризуется наибольшей подвижностью. При этом, в зонах 1П и 2П изменение скоростей опускания в секторах открытых и закрытых леток происходит в противофазе, что свидетельствует о перераспределении газового потока между секторами под влиянием выпусков продуктов плавки.

Результаты анализа влияния выпусков продуктов плавки на изменение поверхности засыпи шихтовых материалов позволяют заключить, что оценку влияния применяемых на печи режимов загрузки на параметры поверхности засыпи шихты следует осуществлять по радиусам расположения закрытых чугунных леток. Выполненный анализ является предварительным и требует проведения дополнительных исследований более представительного массива данных, получаемых с помощью профилемера.

**Заключение.** В результате выполненных исследований разработана методика, позволяющая определять параметры профиля поверхности засыпи во время выгрузки порций шихтовых материалов. С помощью разработанной методики выполнена оценка последовательного формирования поверхности засыпи шихты в течение выгрузки каждой порции шихтовых материалов. Сформулированы пути дальнейших исследований, направленных на изучение перераспределения материалов по радиусу колошника в паузах между выгрузкой порций шихтовых материалов, и процессов образования над поверхностью засыпи взвешенного слоя шихты. Выполнена оценка влияния выпусков продуктов плавки на изменение поверхности засыпи шихтовых материалов и скоростей опускания шихты. По изменению скоростей опускания шихтовых материалов установлено, что выпуска продуктов плавки приводят к перераспределению газового потока между секторами расположения открытых и закрытых леток.

1. *Большаков В.И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / В. И.Большаков – К.: Наук. думка, 2007. – 412с.
2. *Математические модели радиального распределения шихты в доменных печах* / [В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Е.А.Белашапка, И.Е.Варивода] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2004. – Вып. 8. – С. 86–102.
3. *Использование информации профилемера для выбора управляющих воздействий на ход доменной плавки* / [В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов, С.Т.Шулико, В.С.Листопадов, К.А.Дмитренко, Г.И.Орел] – «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2006. – № 5. – С.29–34.
4. *Большаков В.И.* Оценка информации, полученной стационарным профилемером / В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2008. – Вып. 16. – С.372–379.
5. *Оценка формирования слоев шихты на колошнике доменной печи с помощью радиолокационного профилемера* / [В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов, С.Т.Шулико] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2006. – №3. – С.5–10.
6. *Методика определения скоростей опускания шихты по сечению колошника в доменной печи* / [В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов, С.Т.Шулико, Е.И.Шумельчик] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2008. – №2. – С.114–118.

7. *Прогнозирование* теплового состояния горна доменной печи / [В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов, С.Т.Шулико, Е.И.Шумельчик] – Сталь, 2009. – №5. – С.7–9.
8. *Декларационный* патент UA 9308U на полезную модель 7С21В7/00 Способ определения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи / В.А. Шеремет, В.С. Листопадов, В.И. Большаков, С.Т. Шулико, И.Г. Муравьева, Ю.С. Семенов. / Бюл., № 9, 2005. Заявл. 17.03.05. Оpubл. 15.09.05.
9. *Семенов Ю.С.* Совершенствование управления доменной плавкой на основе контроля поверхности засыпи шихты: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.16.02 / Юрий Станиславович Семенов. – Днепропетровск. – 2009. – 192с.
10. *Определение* углов откоса поверхности засыпи шихтовых материалов в доменной печи / [Муравьева И.Г., Семенов Ю.С., Шулико С.Т., Шумельчик Е.И.] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2007. – Вып. 14. – С.40–50.

*Статья рекомендована к печати академиком  
НАН Украины Большаковым В.И.*

#### ***Ю.С.Семенов***

#### **Дослідження формування поверхні засипу шихтових матеріалів**

Метою роботи є дослідження особливостей формування поверхні засипу шихти під час вивантаження матеріалів лотковим розподільником доменної печі. Показано зміни поверхні засипу шихтових матеріалів після вивантаження кожної порції. Представлено результати вперше виконаних досліджень формування поверхні засипу на основі інформації радіолокаційного вимірювача профілю шихти. Виконано оцінку впливу випусків продуктів плавки на форму поверхні засипу шихти і зміна швидкостей її опускання.