

## Определение размеров и причин образования малоактивной зоны в центре горна доменной печи

*Разработан метод определения радиуса малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи (так называемого тотермана). Расчет ее размера основан на использовании данных об уровне продуктов плавки по окружности горна в момент закрытия чугунной летки. Проведен анализ причины образования малоактивной зоны в доменной печи № 1 ПАО «АМК» и № 2 ПАО «Азовсталь». Определено, что в основном тотерман появляется из-за нарушения теплового и шлакового режимов работы горна и недостаточного количества выпусков продуктов плавки в сутки.*

**Ключевые слова:** доменная печь, горн, малоактивная зона (тотерман), размер, причины образования тотермана, уровень продуктов плавки

**И**ntenсивность доменной плавки на современных доменных печах зависит от размера горна, на который основное влияние оказывают объем шлака, оставшийся в металлургическом агрегате в момент закрытия чугунной летки, и наличие малоактивной зоны.

Значительное влияние на объем остаточного шлака оказывает малоактивная зона в центре нижней части доменной печи, которая затрудняет выход продуктов плавки от противоположной стороны горна по отношению к чугунной летке.

Определение размера малоактивной зоны на действующей доменной печи предоставит возможность провести анализ причин ее образования и изменения размеров, на основании чего в дальнейшем можно будет разработать технологические мероприятия для предотвращения появления тотермана в горне или борьбы с этим явлением до полной его ликвидации.

Основным недостатком предыдущих исследований, направленных на определение размера малоактивной зоны в центре горна, является отсутствие возможности получить на действующей доменной печи усредненные данные о фактической порозности коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, а также о вязкости и плотности доменного шлака [1-3]. Причины образования малоактивной зоны в центре горна детально не исследованы, так как учеными в основном интересовало влияние тотермана на работу доменной печи [3-5].

*Цель работы* – определение размеров и причины образования малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи на основе анализа изменения уровня остаточных продуктов плавки по окружности горна доменных печей № 1 ПАО Алчевского металлургического комбината («АМК») и № 2 ПАО «Азовсталь».

Для разработки метода расчета радиуса тотермана использовали разработанную ранее математическую модель движения продуктов плавки в горне при наличии малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи [6].

В математической модели горн по характеру движения продуктов плавки, в период между открытием и закрытием чугунной летки, делится на три зоны: свободного истечения, влияния тотермана и перелива между ними. Расчет высоты слоя шлака по окружности нижней части доменной печи произведен отдельно для каждой зоны.

На основании показателей работы доменной печи № 1 ПАО «АМК» и при помощи математической модели [6] рассчитаны уровни остаточного шлака по окружности горна при наличии в его центре малоактивной зоны разных размеров (рис. 1).

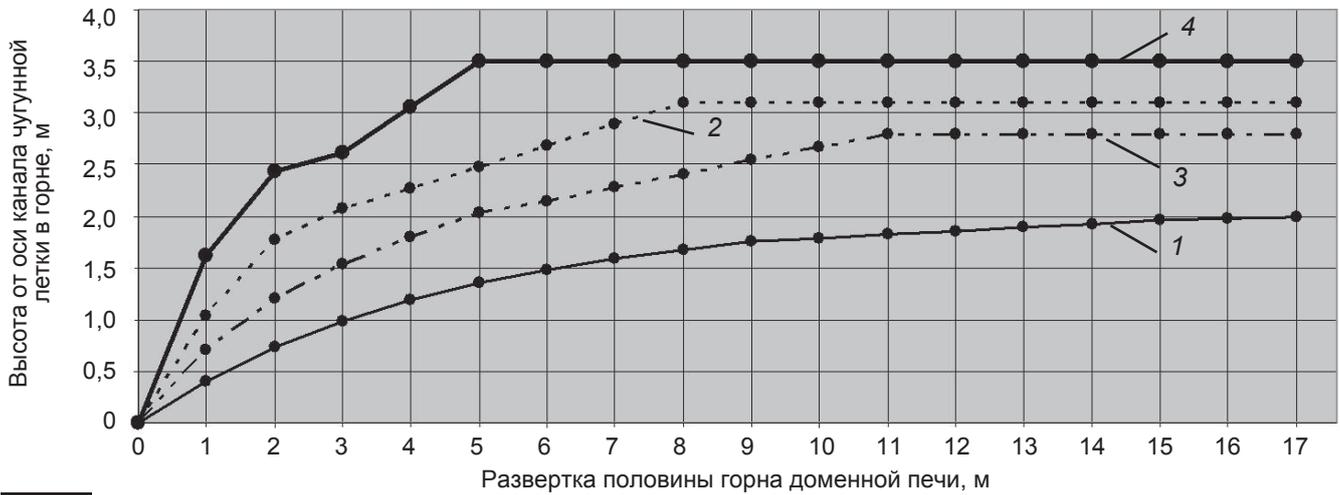
Так как в математической модели движение шлака относительно чугунной летки считается симметричным, то на рис. 1 показана только половина развертки горна доменной печи № 1 ПАО «АМК». Границы зоны перелива и свободного истечения проявляются более четко на уровне продуктов плавки по окружности горна при наличии большой малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи, чем при ее малом размере, как показано на рис. 1, по которому также видно, что увеличение радиуса малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи приводит к уменьшению размеров зоны свободного истечения и зоны перелива, а также к изменению местоположения последней. При этом возросла высота слоя остаточных продуктов плавки и снизилась вместимость горна для накопления расплава в период между закрытием и открытием чугунной летки.

Основное влияние размера малоактивной зоны на изменение уровня продуктов плавки проявляется в изменении местоположения точки начала зоны влияния тотермана по окружности горна (рис. 2).

Точная форма малоактивной зоны до сих пор не известна, поэтому приняли, что она находится в центре горна, в виде цилиндра. В связи с этим радиус тотермана можно рассчитать по формуле

$$R_T = R_r \cdot \cos\left(\frac{45l_{\text{ост}}}{\pi R_r}\right), \quad (1)$$

где  $R_T$  – радиус тотермана, м;  $R_r$  – радиус горна



**Рис. 1.** Уровни остаточных продуктов плавки на половине развертки горна доменной печи № 1 ПАО «АМК» при различных диаметрах тотермана: 1 – малоактивная зона коксовой насадки отсутствует в печи; 2–4 – радиусы малоактивной коксовой насадки (соответственно 4 м, 3 м, 5 м)

доменной печи, м;  $l_{\text{ост}}$  – длина окружности горна, которая находится вне зоны влияния тотермана, м.

На доменной печи № 1 ПАО «АМК» установлена система контроля за состоянием горна, которая дает возможность определить уровень слоя шлака по окружности нижней части металлургического агрегата [7] путем измерения разности электропотенциалов, полученных с кожуха. Снятие электропотенциала с кожуха горна осуществляется на двух горизонтах: на верхнем уровне датчики системы установлены в районе каждой нечетной воздушной фурмы, а на нижнем – в поддоменнике (находятся они в четырех точках).

На рис. 3 представлены уровни остаточного слоя шлака в доменной печи № 1 ПАО «АМК» по оконча-

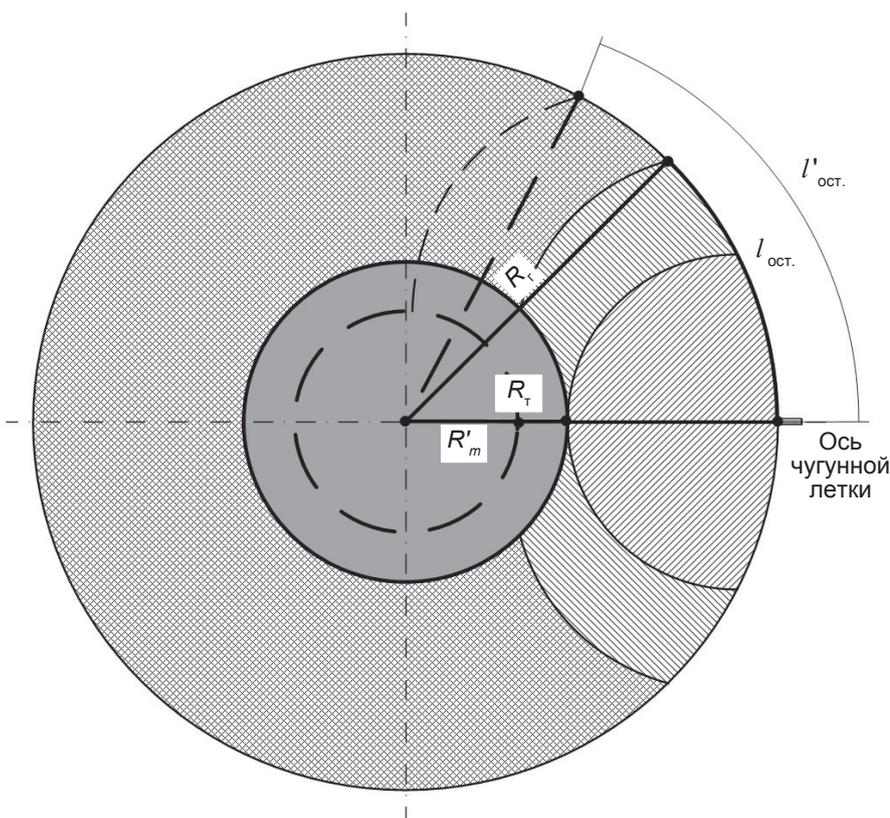
нии выпуска при отсутствии и наличии в ней тотермана, полученные с помощью системы контроля состояния горна. Эти уровни дают возможность сделать вывод о том, что местоположение точки начала зоны влияния тотермана зависит от размера малоактивной зоны в центре горна. По уровню продуктов плавки по окружности горна (рис. 3, б) с использованием формулы (1) рассчитали радиус малоактивной зоны, который составил 3,2 м.

При наличии малоактивной зоны в центре горна доменной печи № 1 ПАО «АМК» произвели выдувку шихтовых материалов по уровень воздушных фурм. Через технологические отверстия в кожухе доменной печи визуально определено, что в центре горна находится холм кокса, который расположен выше оси воздушных фурм на 500 мм, а длина его основания ориентировочно равна диаметру тотермана.

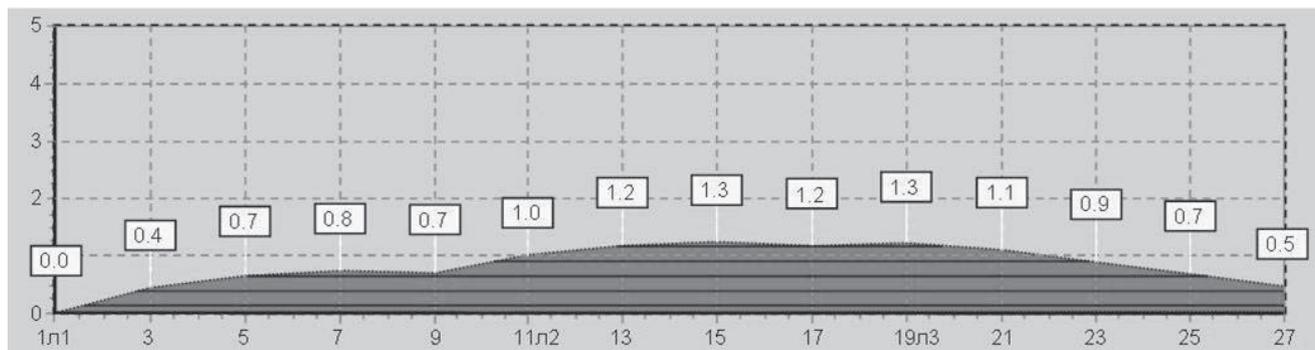
Произвести качественную фотосъемку через технологические отверстия доменной печи не удалось из-за большого отличия яркости между черной верхушкой малоактивной зоны в центре горна и светящегося вокруг нее кокса.

Образование малоактивной зоны в центре горна доменной печи № 1 ПАО «АМК» происходило в результате сочетания многих факторов. Низкое число выпусков продуктов плавки, которое составляло 13-15 раз в сутки, не позволяло иметь минимальный уровень остаточных продуктов плавки по окружности горна, что в результате приводило к переполнению его жидким шлаком. При этом печь работала с периферийным ходом, и, как следствие, ее центр на горизонте воздушных фурм плохо прогревался.

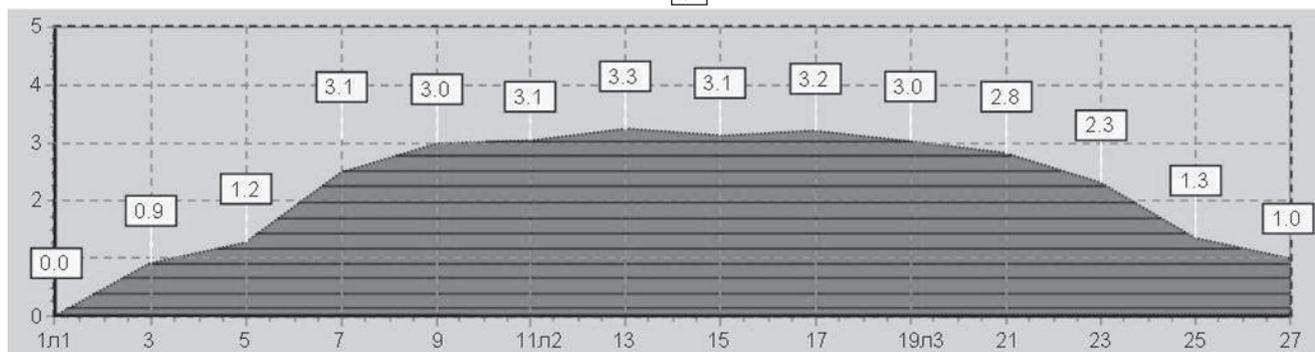
Долговременная работа доменной печи № 1 ПАО «АМК» в данном



**Рис. 2.** Горизонтальный разрез горна доменной печи



а



б

**Рис. 3.** Уровни остаточного шлака в горне доменной печи № 1 ПАО «АМК», полученные при помощи системы контроля за состоянием горна: без наличия малоактивной зоны в доменной печи (а); при наличии в доменной печи малоактивной зоны (б)

режиме привела к образованию тотермана, диаметр которого составил 6,4 м, что было подтверждено визуально в период выдувки шихтовых материалов из металлургического агрегата по уровень воздушных фурм и данными системы контроля за состоянием горна, которые представлены на рис. 3, б.

В дальнейшем, при борьбе с малоактивной зоной в центре горна, произвели «перезадувку» доменной печи, для чего загрузили холостую подачу кокса массой 100 т, что позволило расплавить полученный тотерман и наладить работу нижней части металлургического агрегата.

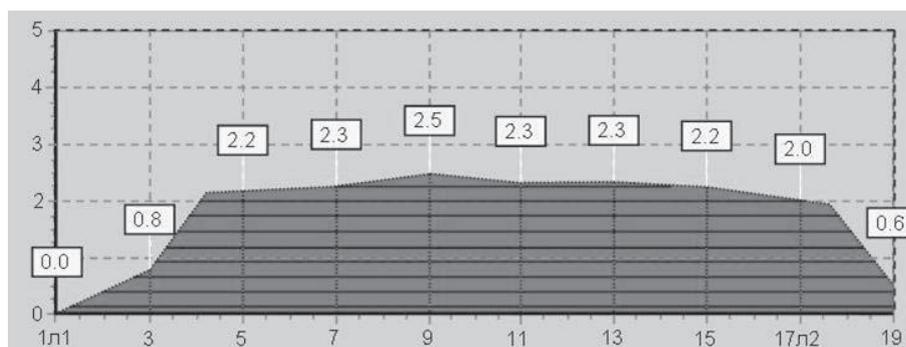
Производительность доменной печи при наличии малоактивной зоны в центре горна составляла не более 4800-5000 т/сутки. После применения технологического решения в виде «перезадувки», а также смены загрузочного устройства на бесконусное (лоткового типа) и применения пылеугольного топлива количество металла, выпущенного за сутки из металлургического агрегата, возросло до 6800 т, при этом расход кокса составил 380 кг/т чугуна, а пыли – 180 кг/т чугуна. Число выпусков увеличили до 18 раз в сутки, благодаря системе контроля состояния горна, что дало возможность уменьшить объем остаточного шлака в печи.

В период смены поставщика шихтовых материалов на доменной печи № 2 ПАО «Азовсталь» в технологическом режиме допустили ошибку, которая привела к резкому повышению основности конечного шлака до 1,5. В результате снизилась вязкость шлака,

особенно в центре нижней части печи, так как температурный режим в горне рассчитали на более низкую основность расплава.

Значительное ухудшение жидкоподвижности продуктов плавки в центре горна за несколько часов привело к образованию тотермана. Наличие тотермана в доменной печи № 2 ПАО «Азовсталь» определили с помощью системы контроля состояния горна (график уровня расплава представлен на рис. 4). Образование малоактивной зоны в центре горна снизило производительность доменной печи № 2 ПАО «Азовсталь» до 1700 т/сутки, что составило 29 % потерь производства металлургического агрегата при работе без вдувания природного газа. Изменение технологического режима работы доменной печи № 2 ПАО «Азовсталь» с повышением расхода топлива для постепенного плавления малоактивной зоны в центре горна показало, что для полной ликвидации такой зоны потребуется поддерживать данный режим от одного до двух месяцев.

Применение «перезадувки» в доменной печи № 2



**Рис. 4.** Уровни остаточного шлака в горне доменной печи № 2 ПАО «Азовсталь», полученные при помощи системы контроля состояния горна

ПАО «Азовсталь» дало возможность быстро ликвидировать тотерман, при этом размер холостой подачи кокса составил всего 70 т. В результате стоимость данного метода значительно меньше экономических потерь при постепенном плавлении малоактивной зоны.

После проведенного анализа нарушений технологического режима доменных печей № 1 ПАО «АМК» и № 2 ПАО «Азовсталь» можно сделать вывод о том, что образование малоактивной зоны в горне может происходить в течение месяца или нескольких часов (в зависимости от факторов, способствующих этому).

Постепенный вывод показателей доменной плавки на нормальный уровень (после образования малоактивной зоны в центре горна) займет более месяца, что приведет к большим экономическим потерям. Поэтому процесс «перезадувки» доменной печи является более выгодным, так как финансовые затраты будут незначительными (по сравнению с предыдущим методом), а работа металлургического агрегата восстановится за несколько выпусков продуктов плавки.

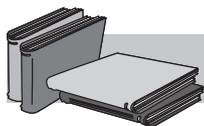
## Выводы

1. Определено, что от размера малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи зависит местоположение точки начала зоны влияния тотермана по окружности горна.

2. Разработан метод определения радиуса малоактивной зоны в центре горна. Расчет диаметра тотермана в доменной печи № 1 ПАО «АМК» с использованием данных об уровне слоя шлака подтвержден визуально при выдувке шихтовых материалов из металлургического агрегата до оси воздушных фурм.

3. Анализ работы доменных печей № 1 ПАО «АМК» и № 2 ПАО «Азовсталь» при образовании малоактивной зоны в центре горна показал, что основной причиной ее появления является ухудшение массообмена в нижней части металлургического агрегата. Кроме того, причинами могут быть долговременная работа доменной печи (с низким числом выпусков продуктов плавки в сутки и периферийным движением газа в ней) либо резкое снижение вязкости шлака.

4. Ликвидация малоактивной зоны в центре горна экономически наиболее выгодна при «перезадувке» доменной печи. Размер холостой подачи кокса при этом может колебаться от 40 до 100 т (в зависимости от размера тотермана и объема металлургического агрегата).



## ЛИТЕРАТУРА

1. Characterization of the permeability of the blast furnace lower part / P. Nogro, C. Petit, A. Urvoy, D. Sert et. al. // Rev. met. (Fr.). – 2001. – № 6. – С. 521-531.
2. Sophisticated multi-phase multi-flow modeling of the blast furnace / A. Zaïmi Sami, T. Akiyama, J. Guillot, J. Yagi // ISIJ Int. – 2000. – № 4. – С. 322-331.
3. Computation of the iron flow in the hearth of a blast furnace / A. Freuer, J. Winter, H. Hiebler // Steel Res. – 1992. – № 4. – С. 139-146.
4. Sollac Dunkerque. Interprétation des traçages radioactifs dans le creuset du haut-fourneau 4 de Sollac Dunkerque: [Rapp.] «Mini-Congr.» Fonte, Paris. – La Défense, 12 oct., 1993 / F. Didelon // Rev. met. (Fr.). – 1994. – V. 91, № 1. – С. 134-137.
5. Новохатский А. М. Аналитический метод определения изменения размеров шлаковой депрессионной воронки в период выпуска продуктов плавки из горна доменной печи // Металл и литье Украины. – 2008. – № 5. – С. 45-50.
6. Новохатский А. М., Диментьев А. О. Математическая оценка движения жидких продуктов плавки при наличии малоактивной зоны в центре горна доменной печи // Там же. – 2013. – № 8. – С. 15-17.
7. Новохатский А. М., Михайлюк Г. Д. Система контроля состояния горна доменной печи // Чер. металлы. – 2012. – Вып. 8. – С. 25-31.

### Анотація

Новохатський О. М., Діментьєв О. О.

Визначення розмірів і причин утворення малоактивної зони у центрі горна доменної печі

Розроблено метод визначення радіуса малоактивної зони в центрі нижньої частини доменної печі (так званого тотермана). Розрахунок її розміру оснований на використанні даних про рівень продуктів плавки по колу горна в момент закриття чавунної льотки. Проведено аналіз причини утворення малоактивної зони в доменній печі № 1 ПАТ «АМК» та № 2 ПАТ «Азовсталь». Визначено, що в основному тотерман з'являється через порушення теплового та шлакового режимів роботи горна та недостатньої кількості випусків продуктів плавки на добу.

### Ключові слова

доменна піч, горн, малоактивна зона (тотерман), розмір, причини утворення тотермана, рівень продуктів плавки

## Summary

Novohatskiy A. M., Dimentev A. O.

### Determining the size and causes of inactive zones in central hearth blast furnace

A method for determining the radius of inactive zones in centre at the lower part of the blast furnace, a so-called toterman. The calculation of its amount is based on the use of data on the level of the products of melting in the hearth of the blast furnace at the close of iron notch. The analysis of the reasons formation of the inactivity zone in the blast furnace number 1 PAO «AMC» and number 2 of PJSC «Azovstal». It was determined in the main of man appears because of a violation of the thermal and slag regime of the working hearth and an insufficient number of issuance of products of melting per day.

## Keywords

blast furnace, hearth, inactive zone (toterman), the size and the reasons for the formation totermana, level of the products of melting

Поступила 15.10.13

**Предлагаем разместить в нашем журнале  
рекламу продукции или рекламного материала  
о Вашем предприятии**

### **РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ** (цены приведены с учетом налога на рекламу)

2, 3-я страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400 грн.	цветная	1050 грн.
черно-белая	700 грн.	черно-белая	500 грн.
1/2 страницы формата		1/2 страницы формата А4	
цветная	900 грн.	цветная	800 грн.
черно-белая	500 грн.	черно-белая	450 грн.
1/4 страницы формата		1/4 страницы формата А4	
цветная	550 грн.	цветная	300 грн.
черно-белая	300 грн.	черно-белая	200 грн.

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %

**Редакция журнала «Металл и литье Украины»  
может подготовить заказной номер издания**

Ориентировочная стоимость заказного номера – 6750 грн.  
(объем до 5 уч.-изд. л.)

Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера – 13000 грн.  
(объем до 10 уч.-изд. л.)