

## Математическая оценка движения жидких продуктов плавки при наличии малоактивной зоны в центре горна доменной печи

Разработан метод математической оценки параметров движения продуктов плавки в горне при наличии малоактивной зоны в его центре (тотерман), который позволяет определить высоту слоя шлака по вертикальному сечению нижней части доменной печи, в период накопления и выпуска расплава.

**Ключевые слова:** доменная печь, горн, математический метод, шлак, продукты плавки, высота слоя, малоактивная зона, тотерман

Современная доменная плавка в значительной мере зависит от работы горна, на которую влияет величина объема слоя продуктов плавки, остающихся в печи на момент закрытия чугунной летки. Увеличение объема остаточного шлака, особенно при наличии малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи, приводит к уменьшению вместимости горна для накопления продуктов плавки в период между закрытием и открытием чугунной летки, что сопровождается ухудшением технико-экономических показателей доменной плавки.

Для исследования работы горна в периоды накопления и выпуска продуктов плавки специалисты

разных стран разработали математические модели, позволяющие анализировать процессы движения расплавов в нижней части доменной печи [1-3]. Однако они не учли наличие в центре горна малоактивной зоны, оказывающей значительное влияние на процесс движения расплавов к чугунной летке в период выпуска продуктов плавки, который уменьшает производительность металлургического агрегата.

*Цель работы* – разработать метод математической оценки движения продуктов плавки в горне действующей доменной печи при наличии в его центре малоактивной зоны.

На физической модели горна доменной печи получили линии тока и равных скоростей движения расплава в ней в период открытого выпускного канала (рис. 1) [4]. При этом учтено наличие в ее центре малоактивной зоны.

В результате проведенных экспериментов определено, что в период выпуска продуктов плавки по характеру движения расплавов горн доменной печи делится на три зоны: свободного истечения, влияния тотермана и перелива между ними (рис. 2).

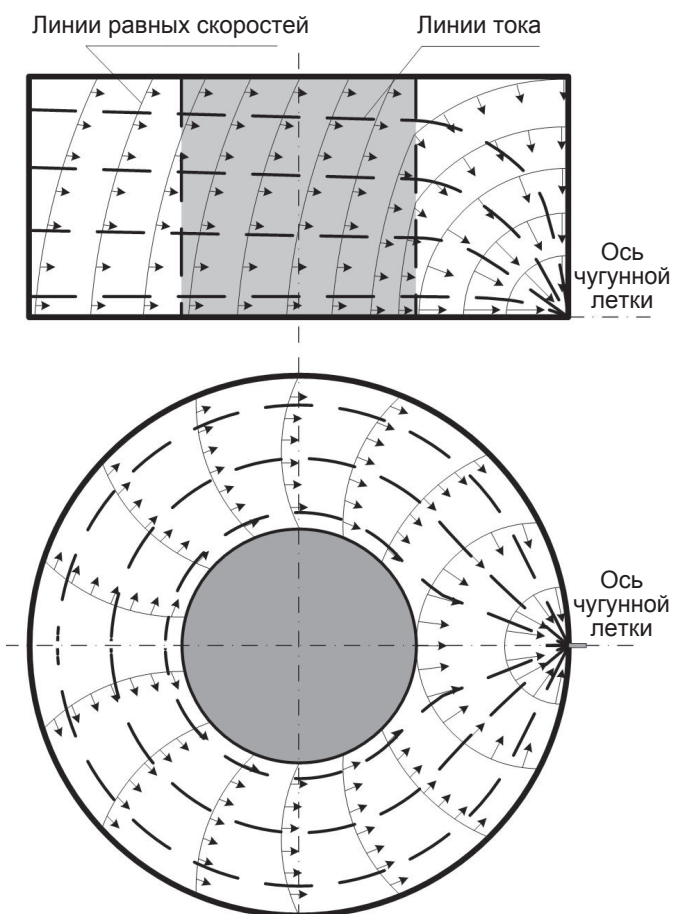


Рис. 1. Линии тока и равных скоростей, полученные на физической модели горна доменной печи

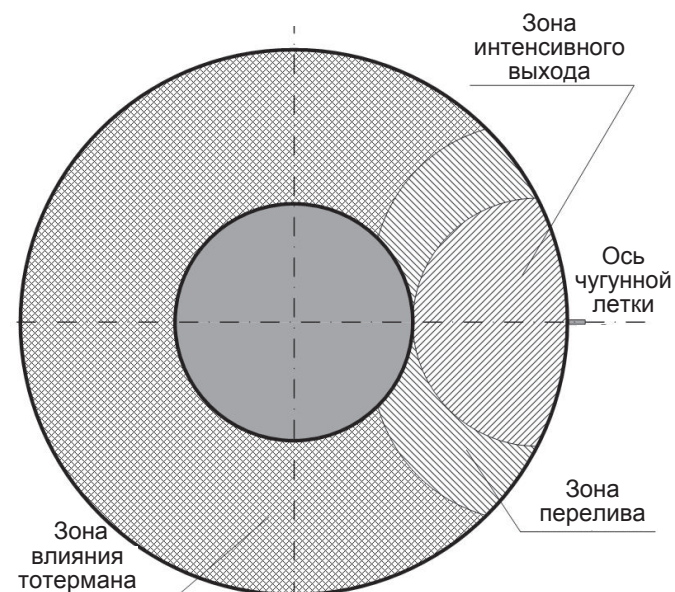


Рис. 2. Деление горна доменной печи на зоны по характеру движения потока жидкости в период ее выпуска

При физическом моделировании геометрическая форма стенок горна и тотермана условно приняты цилиндрическими. В связи с этим на протяжении выпуска в зоне свободного истечения движение шлака происходило с образованием депрессионной воронки. В зоне влияния тотермана между стенками горна и вертикальной поверхностью малоактивной зоны в его центре движение жидкости к чугунной летке равномерно, поэтому скорости уменьшения уровня расплава на протяжении всей зоны одинаковы. В зоне перелива наблюдался переток продуктов плавки между объемами предыдущих двух зон.

Рассчитать изменение высоты слоя продуктов плавки в зоне свободного истечения можно при помощи математической модели, разработанной ранее [2], так как линии тока и равных скоростей, которые определили на физической модели, совпадают с характеристиками движения расплава к чугунной летке, полученными в предыдущей работе [5].

Метод расчета изменения уровня расплава в зоне свободного истечения основан на использовании линейной скорости движения жидкого шлака через канал чугунной летки в период выпуска продуктов плавки, рассчитать которую можно из выражения

$$v_{шл.} = \frac{4V_{шл.}^{вып.}}{\pi d_l^2 \tau_{вып.}}, \quad (1)$$

где  $v_{шл.}$  – средняя скорость движения жидкого шлака через канал чугунной летки в период выпуска продуктов плавки, м/мин;  $V_{шл.}^{вып.}$  – объем налитого шлака за выпуск, м<sup>3</sup>;  $\pi$  – число Пифагора;  $d_l$  – диаметр чугунной летки, м;  $\tau_{вып.}$  – продолжительность выпуска продуктов плавки, мин.

Полученную по формуле (1) скорость можно использовать для построения таблицы скоростей уменьшения высоты слоя расплава в зоне свободного истечения с применением коэффициентов пропорциональности вертикальных скоростей движения шлака в фиксированных точках объема горна.

Рассчитанные скорости необходимо аппроксимировать по каждой части зоны свободного истечения (если производилось ее деление) с получением степенных уравнений, описывающих изменение вертикальной скорости движения шлака в горне в период выпуска продуктов плавки. В результате средние скорости уменьшения уровня расплава в разных частях зоны свободного истечения можно определить из равенства

$$v_{i,cp} = \frac{a}{(H_o - H_k)(\epsilon + 1)} \cdot (H_o^{\epsilon+1} - H_k^{\epsilon+1}), \quad (2)$$

где  $v_{i,cp}$  – средняя скорость уменьшения высоты слоя расплава в определенной части зоны свободного истечения, м/мин;  $a$ ,  $\epsilon$  – коэффициенты степенного уравнения;  $H_o$ ,  $H_k$  – высота слоя шлака в момент открытия и закрытия канала чугунной летки соответственно, м.

Определить высоту слоя расплава в разных частях зоны свободного истечения можно по формуле

$$H_{i,сл} = H_o - H_k - \left( v_{i,cp} - \frac{q_{шл.}}{\rho_{шл.} \pi R_r^2 \epsilon} \right) \tau_{вып.}, \quad (3)$$

где  $H_{i,сл}$  – высота слоя расплава в разных частях зоны

свободного истечения, м;  $H_k$  – высота слоя чугуна в горне в момент открытия выпуска продуктов плавки, м;  $q_{шл.}$  – масса приходящих продуктов плавки, т/мин;  $R_r$  – радиус горна доменной печи, м;  $\epsilon$  – порозность коксовой насадки в горне;  $\tau_{вып.}$  – продолжительность выпуска продуктов плавки, мин.

При движении расплава по направлению к чугунной летке в зоне перелива расстояние между стенками горна и малоактивной зоны в его центре увеличивается, что видно по изменению линий тока и равных скоростей движения шлака, которые получили на физической модели. Величина и местоположение зоны перелива зависят от размера малоактивной зоны в центре горна, поэтому для определения скоростей изменения высоты слоя продуктов плавки необходимо проведение в ней дополнительных исследований. В связи с этим принято, что уменьшение высоты слоя расплава в зоне перелива совершается по линейной зависимости – от края зоны влияния тотермана к началу зоны свободного истечения в период между открытием и закрытием чугунной летки.

Уменьшение уровня шлака происходит равномерно на протяжении зоны влияния тотермана при условии неизменности расстояния между стенками горна и малоактивной зоны в его центре в период выпуска продуктов плавки, исходя из чего скорость снижения высоты слоя продуктов плавки на протяжении всей зоны влияния тотермана можно вычислить по выражению

$$V_{вл.} = \frac{v_{шл.} \pi d_r^2}{4S_{вл.т}}, \quad (4)$$

где  $V_{вл.}$  – скорость снижения высоты слоя продуктов плавки в зоне влияния тотермана, м/мин;  $S_{вл.т}$  – площадь горизонтального сечения зоны влияния тотермана, м<sup>2</sup>.

Зная продолжительность выпуска продуктов плавки, рассчитывают высоту остаточного слоя шлака в зоне влияния тотермана, используя уравнение

$$H_{вл.} = H_o - H_k - \left( V_{вл.} - \frac{q_{шл.}}{S_{вл.т}} \right) \tau_{вып.}, \quad (5)$$

где  $H_{вл.}$  – высота слоя расплава в зоне влияния тотермана, м.

В период наполнения расплавом металлоприемника доменной печи происходило выравнивание высоты слоя шлака по окружности горна, при котором депрессионная воронка заполнялась продуктами плавки.

В процессе разработки метода было принято, что уровень остаточного расплава выравнивается по окружности горна в период между выпусками продуктов плавки. Если высота слоя шлака по окружности доменной печи на момент открытия чугунной летки будет не одинакова, – ее определение усложнится, что потребует разработки нового математического аппарата.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что приходящие в нижнюю часть доменной печи продукты плавки приводят к увеличению уровня расплава по окружности горна на одинаковую высоту, поэтому процесс выравнивания зависит от высоты слоя остаточного шлака в печи и скорости

перетока жидкостей. В связи с этим продолжительность периода выравнивания уровня шлака по окружности горна действующей доменной печи рассчитывают по равенству

$$\tau_{\text{выр.}} = (H_{\text{max}} - H_{\text{ср.}}) / v_{\text{из.}}, \quad (6)$$

где  $\tau_{\text{выр.}}$  – продолжительность периода выравнивания уровня шлака по окружности горна действующей доменной печи, мин;  $H_{\text{max}}$  – максимальная высота слоя продуктов плавки в горне на момент закрытия канала чугунной летки, м;  $H_{\text{ср.}}$  – средняя высота слоя шлака в горне на момент закрытия канала чугунной летки, м;  $v_{\text{из.}}$  – скорость изменения высоты слоя продуктов плавки по окружности горна, м/мин.

Среднюю высоту слоя шлака в горне доменной печи на момент закрытия канала чугунной летки определяют по формуле

$$H_{\text{ср}} = \left( \sum_{n=1}^n H_{\text{ср.}} \right) / n, \quad (7)$$

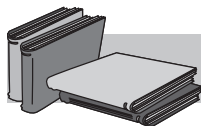
где  $n$  – число секторов горна доменной печи, в ко-

торых системой производят измерение уровня продуктов плавки, шт.

Скорость изменения высоты слоя продуктов плавки по окружности горна в процессе выравнивания уровня расплава будет равна скорости уменьшения высоты слоя шлака в зоне влияния тотермана в период между открытием и закрытием чугунной летки.

### Выводы

Разработан метод математической оценки движения расплавов в горне при наличии малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи в периоды накопления и выпуска жидких продуктов плавки. В дальнейшем запланировано разработать метод определения размера малоактивной зоны в центре нижней части доменной печи с использованием разработанного метода путем анализа изменения уровня остаточного шлака в горне.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Новохатский А. М. Анализ закономерностей протекания массообменных процессов в горне доменной печи // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 6. – С. 5-7.
2. Nishioka K., Maeda T., Shimizu M. A three-dimensional mathematical modeling of drainage behavior in blast furnace hearth // *Tetsu to hagane*. – 2006. – № 12. – С. 967-975.
3. Nouchi T., Sato M., Takeda K. Effects of operation condition and casting strategy on drainage efficiency of the blast furnace hearth // *Tetsu to hagane – J. Iron and Steel Inst. Jap.* – 2006. – № 12. – С. 961-966.
4. Потеря полезного объема горна доменной печи / А. М. Новохатский, А. О. Диментьев, А. В. Карпов, Г. Д. Михайлюк // *Вісник Приазовського державного технічного університету*. – 2012. – Вип. 25. – С. 47-50.
5. Новохатский А. М. Совершенствование режима выпуска продуктов плавки из горна доменной печи // Там же. – 2008. – Вып. 18. – С. 19-22.

### Анотація

Новохатський О. М., Діментьєв О. О.

Математична оцінка руху рідких продуктів плавки за наявності малоактивної зони в центрі горна доменної печі

Розроблено метод математичної оцінки руху продуктів плавки в горні за наявності малоактивної зони в його центрі (тотерман), який дозволяє визначити висоту шару шлаку по вертикальному перетину нижньої частини доменної печі, в період накопичення та випуску розплаву.

### Ключові слова

доменна піч, горн, математичний метод, шлак, продукти плавки, висота шару, малоактивна зона, тотерман

### Summary

Novohatskiy A. M., Dimentev A. O.

Mathematical estimation of melting liquid products under presence of low-active zone in center of blast-furnace well

The method of mathematical estimation of parameters of melting liquid products in blast-furnace well under the presence of low-active zone in its center (deadman) is developed. It allows determine the height of slag layer in the vertical section in the bottom part during the period of melt accumulation and tapping.

### Keywords

blast furnace, hearth, mathematical method, slag, products of melting, low-activity zone, toterman

Поступила 07.08.13