

*Диментьев А.О.,  
д.т.н. Новохатский А.М.,  
к.т.н. Дорофеев В.Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ В МЕТАЛЛОПРИЕМНИКЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГОРНА

*Разработана методика для расчета объема продуктов плавки в горне доменной печи на основе данных о уровне расплава по его окружности, полученных с помощью системы контроля состояния горна.*

*Ключевые слова:* объем, продукты плавки, горн, доменная печь, уровень, расплав.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При закрытии выпуска, в горне доменной печи остается не большое количество чугуна до 10% [1] и значительное количество шлака которое может достигать 50-80%, от исходного объема находящегося в горне перед открытием выпуска.

На рисунке 1 приведена схема расположения датчиков системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи №1 ПАО «АМК» [2], и результаты определения высоты слоя остаточного шлака.

Поверхность слоя остаточных продуктов плавки в горне доменной печи, в момент закрытия выпуска чугуна, как видно на рисунке 1 имеет сложную форму [3,4].

**Постановка задачи.** Чтобы рассчитать объем продуктов плавки в металлоприемнике доменной печи по данным системы контроля состояния горна необходимо разработать специальную методику.

**Изложение материала и его результаты.** Доменная печь №1 ПАО «АМК» имеет полезный объем 3000 м<sup>3</sup>, оснащена тремя чугунными летками. Система контроля уровня расплава по окружности

горна доменной печи, которая установлена на ней, включает в себя 14 датчиков.

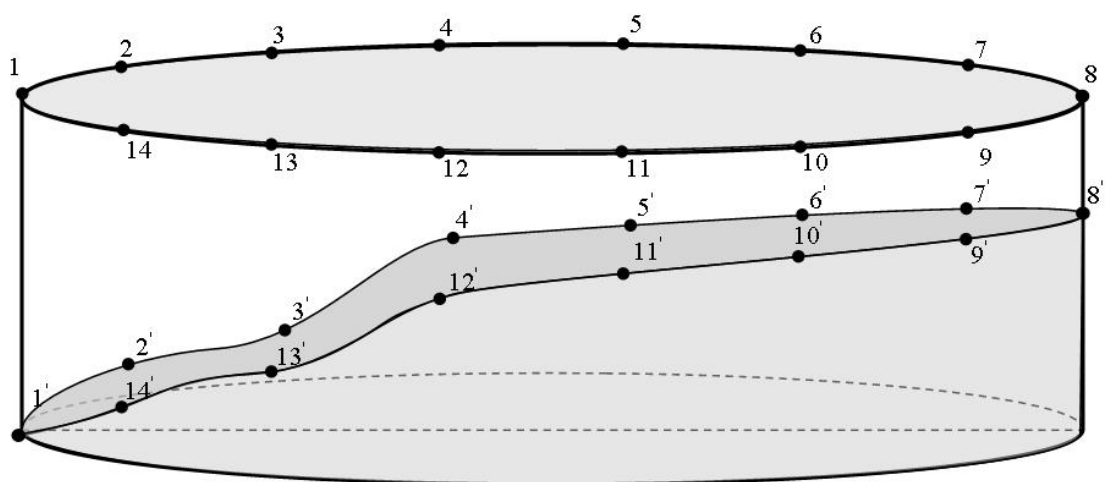
Для удобства расчета, как показано на рисунке 2, разделим горн печи на 7 участков от датчика установленного над леткой до датчика, установленного на против летки. Объем продуктов плавки в горне доменной печи по данным системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи должен составить сумму объемов продуктов плавки на всех участках

$$V_{\text{прод.пл.}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где  $V_{\text{прод.пл.}}$  – это общее количество продуктов плавки в горне доменной печи по данным системы, м<sup>3</sup>;

$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$  – объемы продуктов плавки в горне доменной печи на каждом из участков, м<sup>3</sup>.

Принцип расчета объема продуктов плавки на разных участках совпадает, если разделить каждый участок на 6 составных частей, как показано на рисунке 3. Не значительно будет отличаться расчет участков №1 и №7.



1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – датчики системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи;

1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11', 12', 13', 14' – уровни слоя шлака по окружности горна доменной печи.

Рисунок 1 – Схема расположения датчиков системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи №1 ПАО «АМК» и высоты слоя остаточного шлака

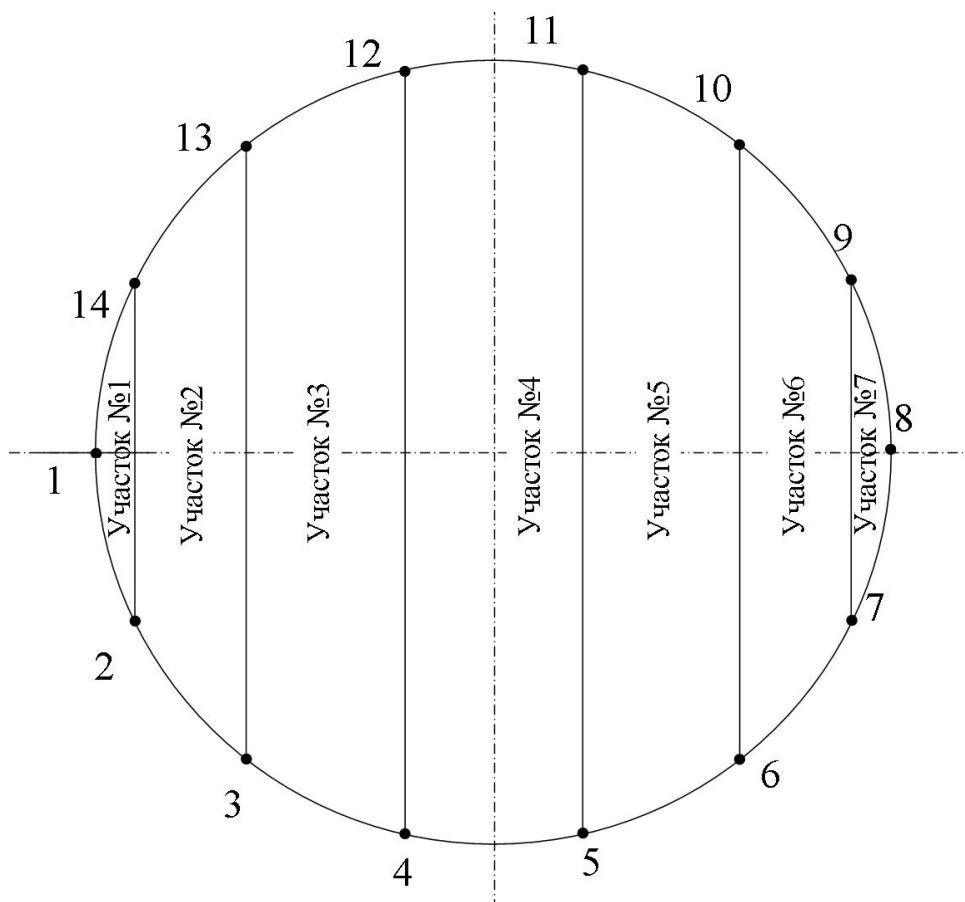


Рисунок 2 – Горн доменной печи №1 ПАО «АМК», вид сверху

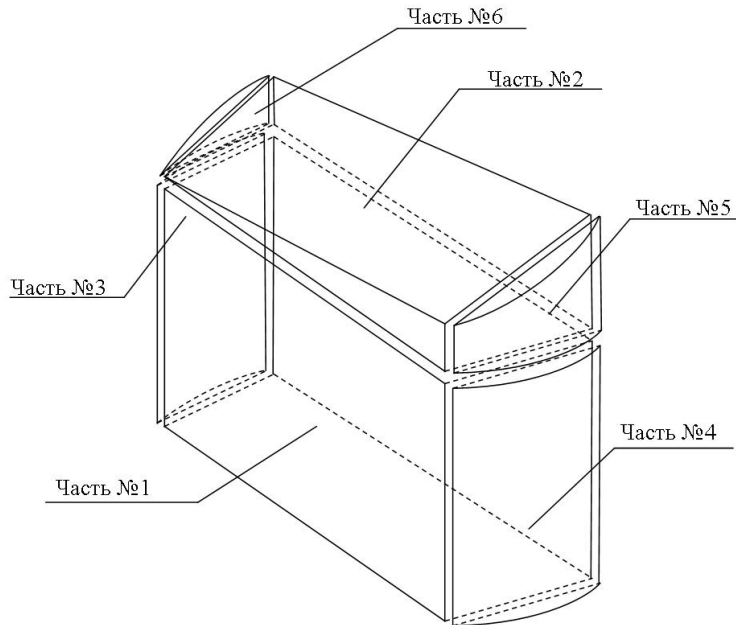


Рисунок 3 – Деление на части рассматриваемого участка горна доменной печи

Рассмотрим участок №2, который разделен на 6 составных частей, как показано на рисунке 3. У частей №1 и №2 в основании находится равносторонняя трапеция. Части №3, №4, №5 и №6 имеют в своем основании одинаковые сегменты.

Объем участка №2 можно рассчитать по формуле

$$V_2 = V_{21} + V_{22} + V_{23} + V_{24} + V_{25} + V_{26}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $V_{21}, V_{22}, V_{23}, V_{24}, V_{25}, V_{26}$  – объемы продуктов плавки оставшихся в горне доменной печи в частях данного участка №1, №2, №3, №4, №5, №6 соответственно,  $\text{м}^3$ .

В основании части №1 лежит равносторонняя трапеция, поэтому ее объем будет равен произведению площади трапеции на высоту части

$$V_{21} = S_{\text{тр}} \cdot h_1 = \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{2} \cdot h_1, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где  $S_{\text{тр}}$  – площадь трапеции,  $\text{м}^2$ ;  
 $a, b$  – верхняя и нижняя сторона равносторонней трапеции,  $\text{м}$ ;

$h_{\text{тр}}$  – высота трапеции, проведенная от меньшей стороны трапеции к большей,  $\text{м}$ ;

$h_1$  – высота данной части, которая равна наименьшей высоте из 4 точек,  $\text{м}$ .

Для упрощения расчета объема части №2, было принято, что она делится на две равные части между наибольшей и наименьшей точками. Тогда объем части №2, в основании которой лежит равносторонняя трапеция, будет рассчитываться по формуле

$$V_{22} = \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{2} \cdot \frac{h_2}{2} = \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{4} \cdot h_2, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где  $h_2$  – разница между наибольшей и наименьшей точками, из четырех точек участка,  $\text{м}$ .

В основании частей №3, №4, №5 и №6 лежит сегмент, площадь которого определяется выражением

$$S_{\text{сег}} = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha), \text{ м}^2, \quad (5)$$

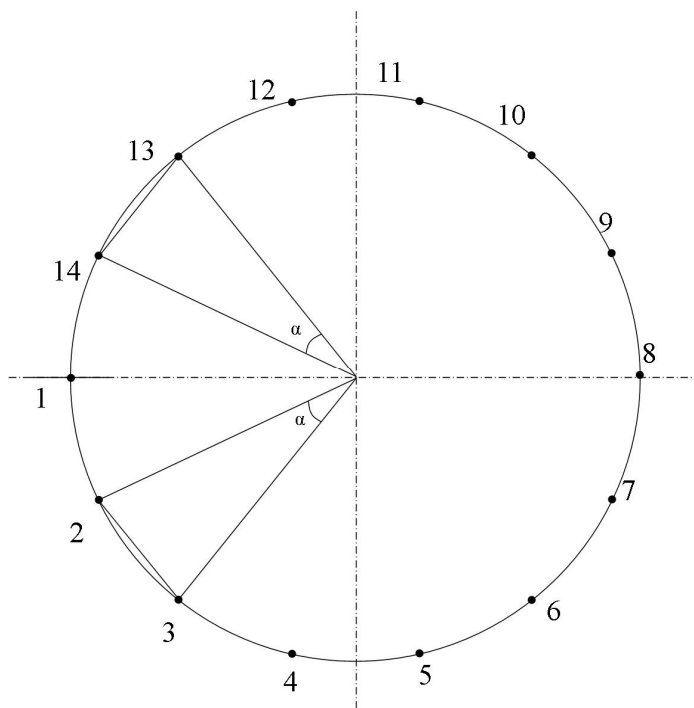


Рисунок 4 – Угол, который образует данный сегмент

где  $\alpha$  – угол между двумя точками, которые образуют данный сегмент, рисунок 4, рад;

$R$  – радиус горна доменной печи, м.

Части №3 и №4 одинаковы, так имеют равные основания и высоту. Их высота равна высоте части №1, поэтому объем части №3 и части №4 будет равен

$$\begin{aligned} V_{23}, V_{24} &= S_{\text{сег}} \cdot h_1 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_1, \text{ м}^3, \end{aligned} \quad (6)$$

Объем части №5 можно рассчитать по формуле

$$\begin{aligned} V_{25} &= \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_5 + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_{51}, \text{ м}^3, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $h_5$  – разность максимальной и минимальной высот части, м;

$h_{51}$  – разность минимальной высоты части №5 с минимальной высотой всего участка, м.

Объем части №6 определяем по формуле

$$\begin{aligned} V_{26} &= \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_6 + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_{61}, \text{ м}^3, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $h_6$  – разность максимальной и минимальной высот части, м;

$h_{61}$  – разность минимальной высоты части №6 с минимальной высотой всего участка, м.

Полный объем участка №2 можно найти подставив в выражение (2), формулы нахождения объемов всех его частей

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{2} \cdot h_1 + \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{4} \cdot h_2 + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_1 + \\ &+ \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_5 + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_{51} + \\ &+ \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_6 + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot h_{61} = \end{aligned}$$

$$= \left( \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{2} + R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \right) \cdot h_1 + \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{4} \cdot h_2 + \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot (h_5 + h_6) + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot (h_{51} + h_{61}), \text{ м}^3. \quad (9)$$

Далее подставляя значения по точкам получим

$$V_2 = \left( \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{2} + R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \right) \cdot a_{\text{мин}} + \frac{(a+b) \cdot h_{\text{тр}}}{4} \cdot (a_{\text{макс}} - a_{\text{мин}}) + \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot (a_{5\text{макс}} - a_{5\text{мин}} + a_{6\text{макс}} - a_{6\text{мин}}) + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha) \cdot (a_{5\text{мин}} - a_{\text{мин}} + a_{6\text{мин}} - a_{\text{мин}}), \text{ м}^3, \quad (10)$$

где  $a_{\text{мин}}$  – минимальная высота участка, м;

$a_{\text{макс}}$  – максимальная высота участка, м;

$a_{5\text{мин}}, a_{6\text{мин}}$  – минимальная высота частях №5 и №6 соответственно, м;

$a_{5\text{макс}}, a_{6\text{макс}}$  – максимальная высота частях №5 и №6 соответственно, м.

Формула (10) подходит для определения объема продуктов плавки на любом из семи участков, а для участков №1 и №7 величина одной стороны трапеции будет равна нулю.

Проведенные расчеты по данным о уровне расплава в горне доменной печи №1 ПАО «АМК» показали, что ошибка разработанного метода расчета составляет от 1,52 до 2,38 %. Для расчетов металлургических процессов протекающих в металлоприемнике печи полученная ошибка приемлема.

Для доменных печей разного объема будет изменяться число датчиков системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи и расстояние между ними. Поэтому, что бы применить эту методику для доменных печей другого объема формулу (1) необходимо изменить так:

$$V_{\text{зан}}^{\text{геом}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n, \text{ м}^3 \quad (11)$$

где  $n$  – число участков на данной доменной печи, шт.

Число участков для разных доменных печей можно определить по формуле:

$$n = \frac{N}{2}, \text{ шт.} \quad (12)$$

где  $N$  – число датчиков системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи, шт.

Используя данную методику и систему контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи можно рассчитать объем продуктов плавки в горне доменной печи в любой момент времени.

### Выводы и направление дальнейших исследований

Разработанная методика позволяет определить объем продуктов плавки в горне доменных печей различного объема, на которых установлена система контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи.

В расчете принято, что горн доменной печи имеет проектный объем для накопления продуктов плавки, однако на практике он имеет тенденцию на протяжении своей работы изменять свой объем. В дальнейшем необходимо скорректировать расчет опираясь на данные о разгаре горна доменной печи.

**Библиографический список**

1. Харлашин П.С. *Металургія (проблеми, теорія, технологія, якість)* / П.С. Харлашин, В.С. Волошин, Г.С. Єршов. – Маріуполь: ПДТУ, 2004.–723 с.
2. Пат.149 Україна, МПК<sup>4</sup> C21В 7/24. Система контролю рівня розплаву по обводу горна доменної печі / В.Н. Дорофєєв, О.М. Новохатський, А.М. Гривко, Г.Д. Михайлик, С.І. Первушин, С.І. Сазонов, К.А. Шумілов; Спільне науково-комерційне підприємство «Патент» при Донбаському гірничо-металургійному інституті. – № 4192498, заявл. 30.12.88; опубл. 30.12.92, Бюл. №1. – 88с.
3. Venturini M.J. *Modele de vidange en temps reel du creuset du haut-fourneau* / M.J. Venturini // *Rev. Met.* – France. – 1994. – №1. – С.130-133.
4. Usui T. *Исследование параметров движения твердой и жидкой фаз в двухмерной физической модели зоны капельного течения доменной печи* / Т. Usui, Н. Kawabata, Т. Sogo, S. Mori, М. Ichida, Z. Morita // *Tetsu to hagane – J. Iron and Steel Inst. Jap.* – 1996. – №11. – С.19-24.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.**

*Статья поступила в редакцию 28.05.13.*

**Диментьев А.О., д.т.н. Новохатский А.М., к.т.н. Дорофеев В.Н. (ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)  
ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРОДУКТІВ ПЛАВКИ У МЕТАЛОПРИЙМАЧІ ДОМЕННІЙ ПЕЧІ ЗА ДАНИМИ СИСТЕМИ КІТРОЛЮ СТАНУ ГОРНА**

*Розроблена методика для розрахунку об'єму продуктів плавки в горні доменної печі на підставі даних про рівень розплаву по його колу, отриманих за допомогою системи контролю стану горна.*

**Ключові слова:** об'єм, продукти плавки, горн, доменна піч, рівень, розплав.

**Dimentev A.O., Novohatskiy A.M., Dorofeev V.N. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)**

**DETERMINATION OF THE AMOUNT OF PRODUCTS IN THE HEARTH BLAST FURNACE ACCORDING TO THE STATE OF A CONTROL SYSTEM**

*Developed a method for calculating the amount of product melting in the blast furnace based on data on the level of the melt along its circumference, obtained through a control of the heart.*

**Key words:** volume, product melting furnace, blast furnace, level, melt.