

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 м³, оснащена тремя чугунными летками. Система контроля уровня расплава по окружности

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

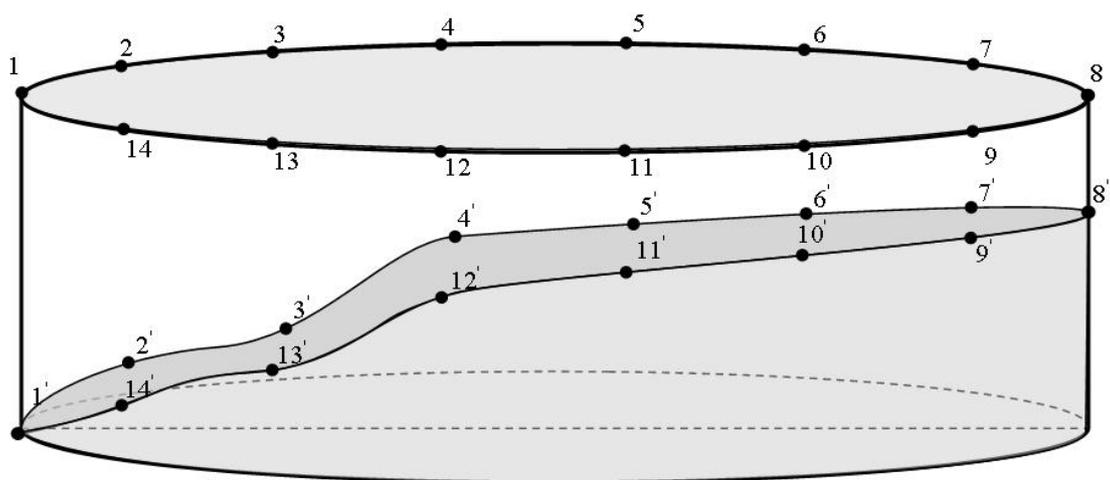
Для удобства расчета, как показано на рисунке 2, разделим горн печи на 7 участков от датчика установленного над леткой до датчика, установленного на против летки. Объем продуктов плавки в горне доменной печи по данным системы контроля уровня расплава по окружности горна доменной печи должен составить 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, м³;

$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ – объемы продуктов плавки в горне доменной печи на каждом из участков, м³.

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

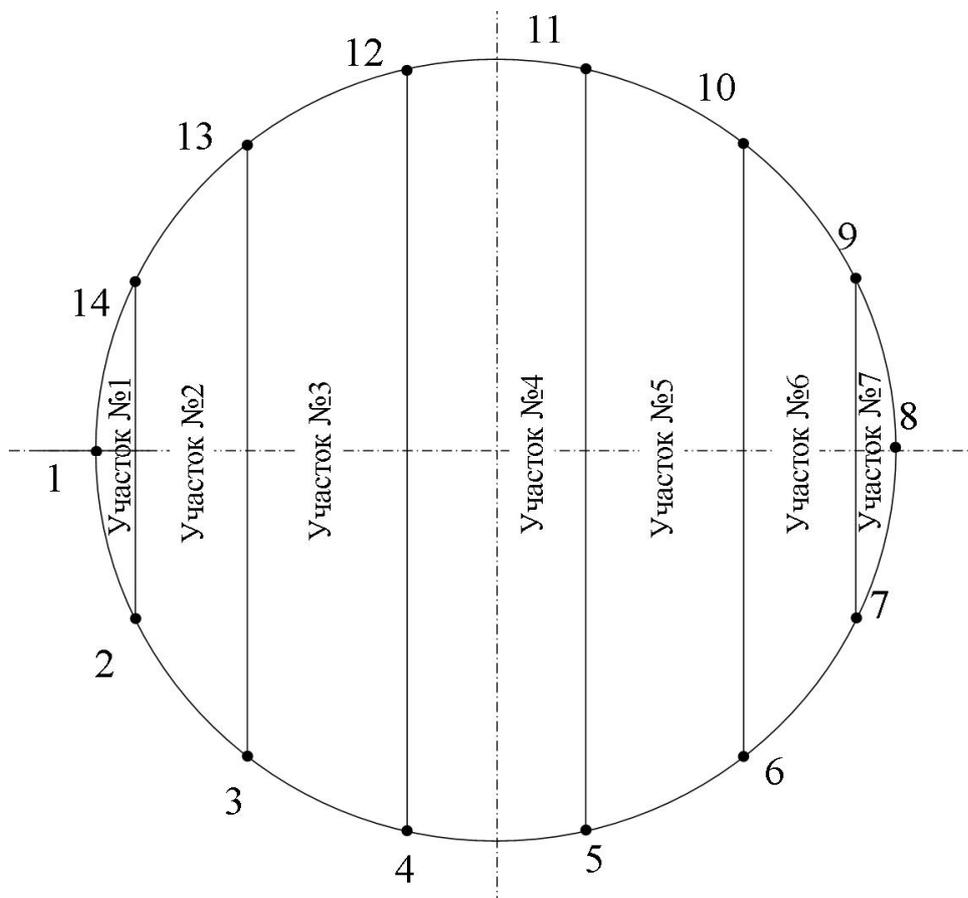


Рисунок 2 – Горн доменной печи №1 ПАО «АМК», вид сверху

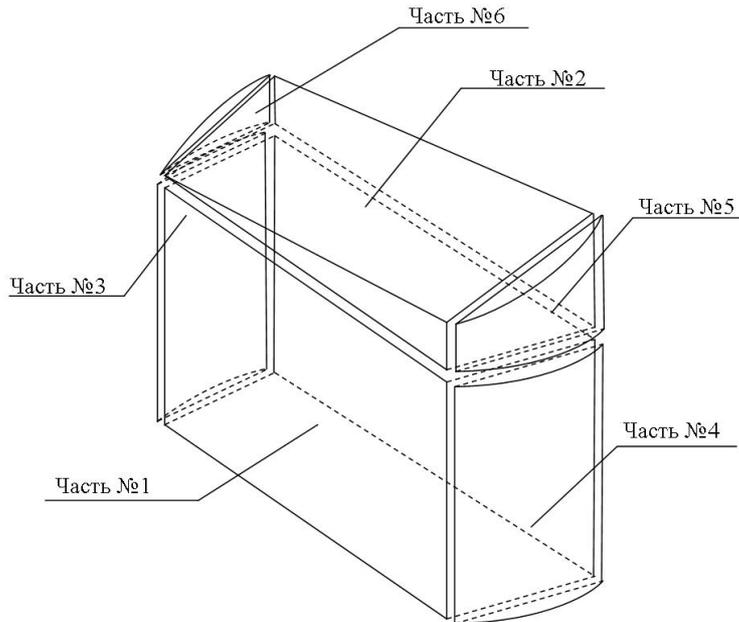


Рисунок 3 – Деление на части рассматриваемого участка горна доменной печи

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, 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, м^2 ;

a, b – верхняя и нижняя сторона равносторонней трапеции, м ;

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

h_1 – высота данной части, которая равна наименьшей высоте из 4 точек, 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, м .

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

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

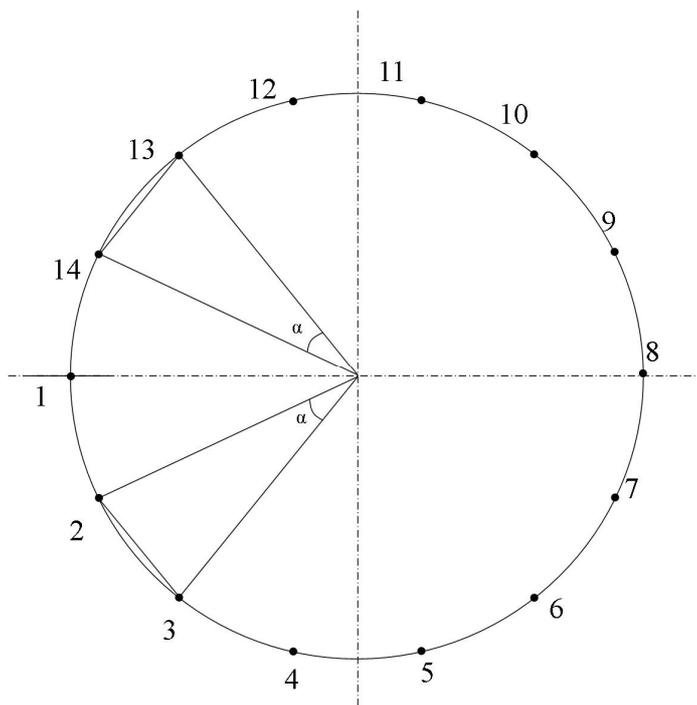


Рисунок 4 – Угол, который образует данный сегмент

где α – 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, МПК⁴ 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 КОТРОЛЮ 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.