

УДК 669. 162. 26

*д.т.н. Новохатский А.М.,  
к.т.н. Диментьев А.О.,  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ШЛАКА В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ПРИ НАЛИЧИИ ТОТЕРМАНА

*Проведено исследование влияния тотермана, малоактивной зоны коксовой насадки в центре горна доменной печи, на движение шлака методом физического моделирования. Получены линии тока и равных скоростей движения расплава в металлоприемнике в период выпуска продуктов плавки.*

**Ключевые слова:** доменная печь, горн, малоактивная зона, тотерман, линии тока, линии равных скоростей.

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

Значительное количество проблем, возникающих в работе доменных печей большого объема, являются следствием плохой организации работы горна. Важную роль при этом играет рациональное использование полезного объема металлоприемника, на которое оказывает образование застойных зон коксовой насадки, а также объем остаточного шлака, который находится в горне на момент закрытия выпуска.

Исследования влияния объема остаточного шлака на работу горна уже проводились [1-3], но в них не учитывалось действие малоактивной зоны коксовой насадки на движение продуктов плавки в металлоприемнике во время выпуска и накопления расплава.

Присутствие тотермана в доменной печи оказывает значительное влияние на изменение уровня продуктов плавки по окружности горна в период выпуска [4, 5]. Движение чугуна и шлака в малоактивной зоне коксовой насадки практически отсутствует, из-за чего не происходит их массовый обмен в этом объеме, а в период выпуска эта зона коксовой насадки создает препятствие для движения расплава к выпускному отверстию металлоприемника печи.

Для теории и технологии доменного процесса весьма актуальным является вопрос влияния тотермана на работу горна доменной печи, что требует проведения исследований в этом направлении.

### **Изложение материала и его результаты.**

Для исследования движения шлака в металлоприемнике была разработана и изготовлена физическая модель горна доменной печи, которая представлена на рисунке 1. Она представляет собой цилиндр, выполненный из прозрачного материала.

При разработке физической модели горна соблюдалось геометрическое подобие с размерами доменной печи объемом 3000 м<sup>3</sup>. Диаметр моделирующей металлоприемник установки составил 400 мм, а ее высота 100 мм.

Физическая модель горна доменной печи состоит из дна 3 и цилиндрической боковой стенки 1. Для их изготовления использовано прозрачное органическое стекло, что позволяет визуально оценить движение жидкости в модели.

В нижней части боковой стенки расположен один выпускной канал 4 для слива жидкости, который согласно законам подобия гидравлики имеет диаметр 5 мм. Чугунная летка обычно имеет определенный

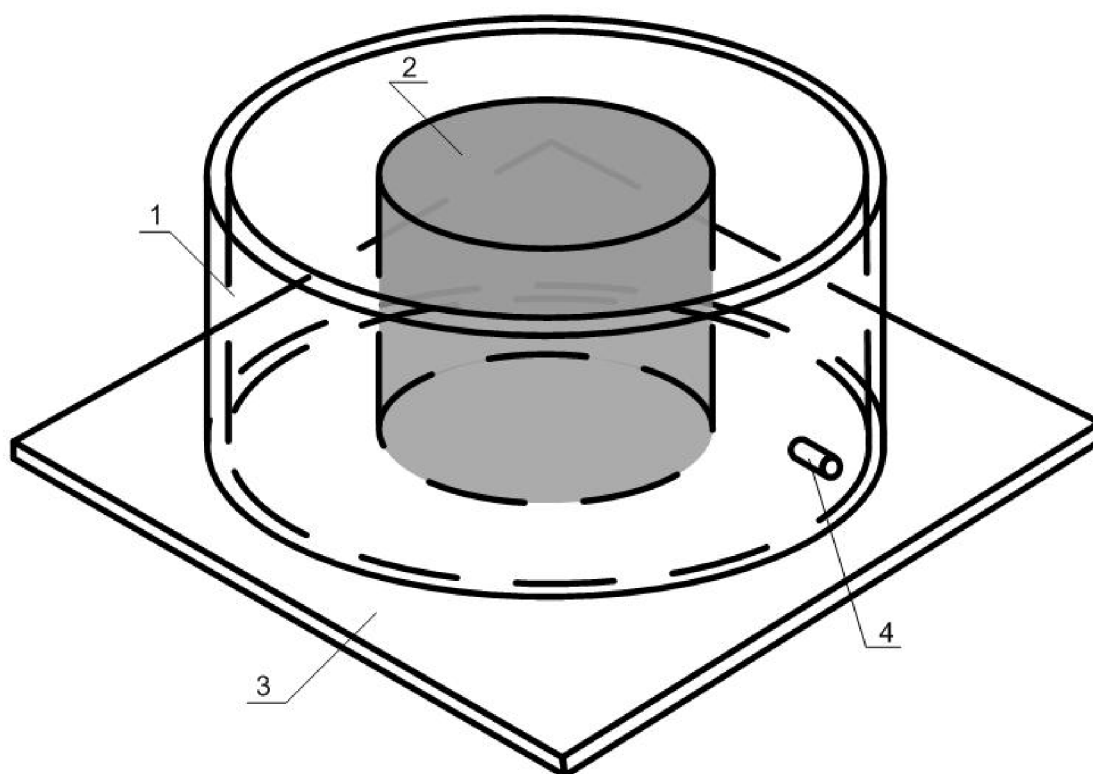


Рисунок 1 – Устройство физической модели горна доменной печи:  
1 – боковая стенка, 2 – тотерман, 3 – дно модели, 4 – выпускной канал

угол наклона, который может составлять от 12 до 17 градусов, но из-за отсутствия избыточного давления газа при моделировании выпускной канал на модели выполнен горизонтально.

Для имитации коксовой насадки использовался пластиковый наполнитель, кусочки которого имели форму шара, приблизительно похожую на кокс. При этом соблюдено геометрическое подобие, диаметр кусков колеблется от 1 до 3 мм.

Данная крупность выбранного материала позволяет соблюсти законы подобия в гидравлике, так как по диаметру модели входит более 100 единиц данного наполнителя.

Точная форма малоактивной зоны коксовой насадки на данный момент не известна, поэтому в качестве ее ориентировочной формы принят цилиндр. В модели тотерман выполнен из непроницаемого материала и жестко установлен в центре модели.

Моделирование движения продуктов плавки на физической модели горна доменной печи требует соблюдения законов подобия гидравлики. При этом движение жидкости в модели будет подобно движению расплава в печи, если все размеры агрегатов геометрически подобны, а так же соблюдается подобие кинематических и динамических характеристик для всех сходных точек потока.

Для подтверждения кинематического и динамического подобия необходимо использовать критерии: Эйлера, Рейнольдса и Фруда. Однако часто при моделировании процессов движения жидкости соблюдение одного или двух критериев подобия делают это невозможным для остальных. На движение продуктов плавки в горне доменной печи во время выпуска оказывают влияние давление горновых газов, вязкость расплава, сила тяжести, порозность коксовой насадки,

размер тотермана и т. д., поэтому моделирование данного процесса имеет сложности в соблюдении всех этих критериев подобия. В связи с этим для анализа движения шлака в металлоприемнике использовалось ориентировочное подобие с соблюдением условий автомодельности явлений путем экспериментального подбора параметров исследуемого процесса [6].

Для определения направления движения потоков жидкости использовались частички алюминиевой пудры, которые помещались в различные точки слоя жидкости. На дно и стенку модели нанесена координатная сетка с квадратными ячейками, стороны которых равны 10 мм.

Перед началом эксперимента в модель устанавливали тотерман и заполняли ее пластиком, который имитирует коксовую насадку. Модель выравнивали относительно горизонта. После этого наливали глицерин с вязкостью 0,4 Па·с, который моделировал расплав, слоем высотой 100 мм, подобным уровню шлака в горне доменной печи.

При помощи стеклянной трубки диаметром 3 мм в различные точки слоя жидкости помещались частички алюминиевой пудры. Под моделью и в двух точках, для качественной съемки вертикальной стенки корпуса, установлена видеоаппаратура, чтобы фиксировать перемещение частичек пудры в слое жидкости.

Эксперимент начинался с открытия выпускного канала физической модели и фиксации при помощи видеоаппаратуры перемещения частичек алюминиевой пудры. Опыт завершался появлением в канале летки пузырьков воздуха.

В результате проведенных опытов на физической модели получены линии тока, представленные на рисунке 2, которые указывают направление движения шлака в горне доменной печи во время выпуска продуктов плавки.

Для нанесения линий равных скоростей был использован графический метод построения гидродинамической сетки, предложенный Ф. Форхгеймером, согласно ко-

торому линии тока и равных скоростей должны образовывать квадратичную ортогональную сетку [7].

Образуется ортогональная сетка путем восстановления перпендикуляров к каждой точке полученных линий тока. При этом скорость потока будет направлена по касательной по отношению к линиям тока. На рисунке 3 представлены линии равных скоростей, полученных в результате экспериментов.

Наличие тотермана в горне доменной печи образует граничную область, которая приводит к искривлению линий тока и равных скоростей движения расплава в период выпуска. В связи с этим по характеру истечения металлоприемник делится на 2 зоны: интенсивного выхода и влияния тотермана.

Движение расплава в зоне интенсивного выхода шлака из печи к выпускному отверстию проходит по сферическим поверхностям, поэтому линии равных скоростей расположены по окружностям, как показано на рисунке 3. В результате здесь образуется депрессионная воронка. Законы движения шлака в этой части горна были изучены в предыдущих работах [1-3].

В зоне влияния тотермана в период выпуска шлак движется к чугунной летке между стенками горна и малоактивной зоны коксовой насадки. При этом в идеальных условиях, созданных в физической модели, линии равных скоростей проходят равномерно по вертикали, а в горизонтальном сечении они направлены по одинаковым кривым.

В результате проведенных на физической модели горна экспериментов получены линии тока и равных скоростей движения потока шлака в металлоприемнике доменной печи во время выпуска продуктов плавки по двум зонам.

Дальнейшее направление исследований будет состоять в анализе изменения формы слоя шлака в горне доменной печи, что позволит путем математического моделирования разработать метод расчета объема тотермана и шлака, остающегося в металлоприемнике по окончании выпуска.

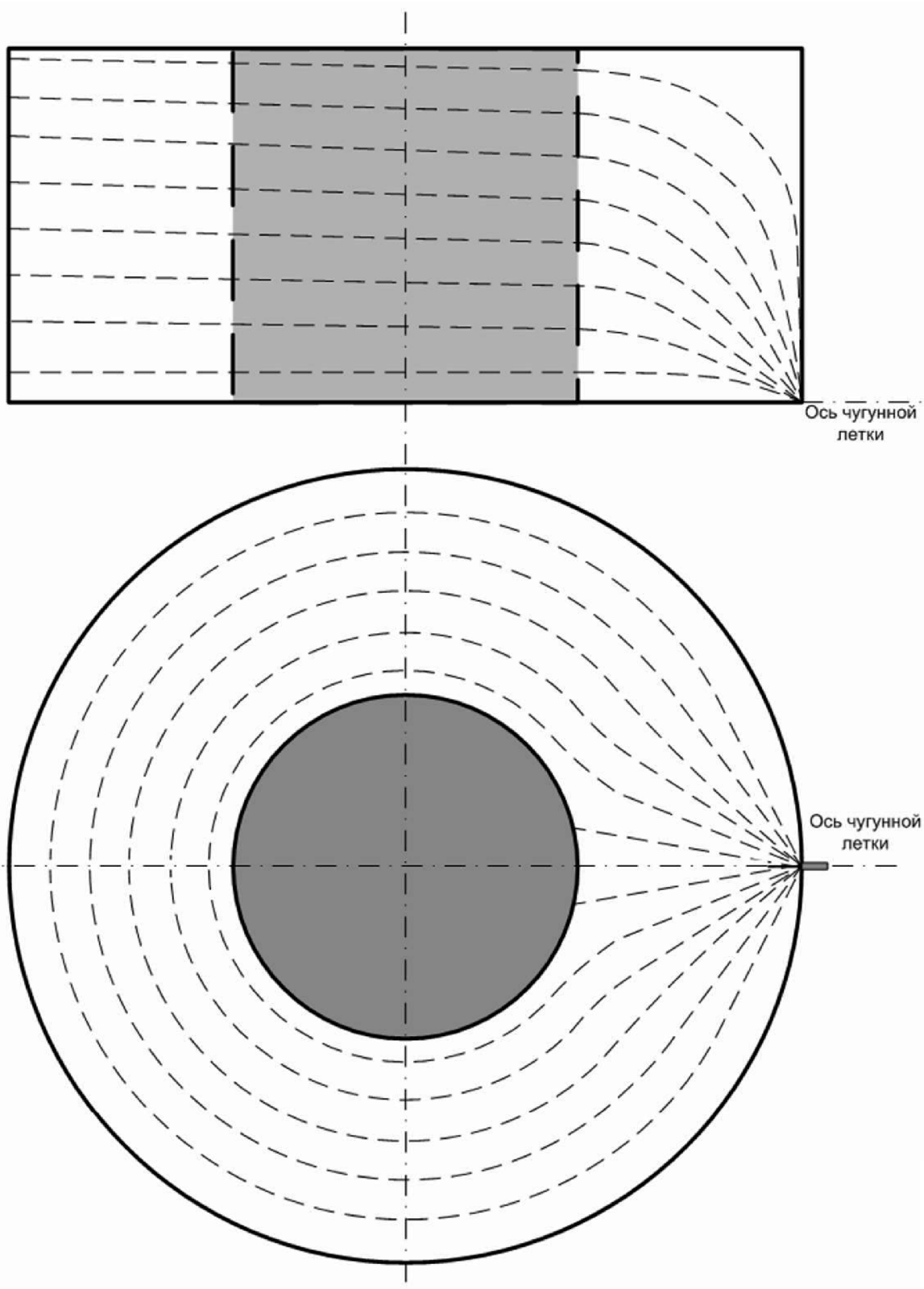


Рисунок 2 – Линии тока движения шлака в горне доменной печи по горизонтальному и вертикальному сечению

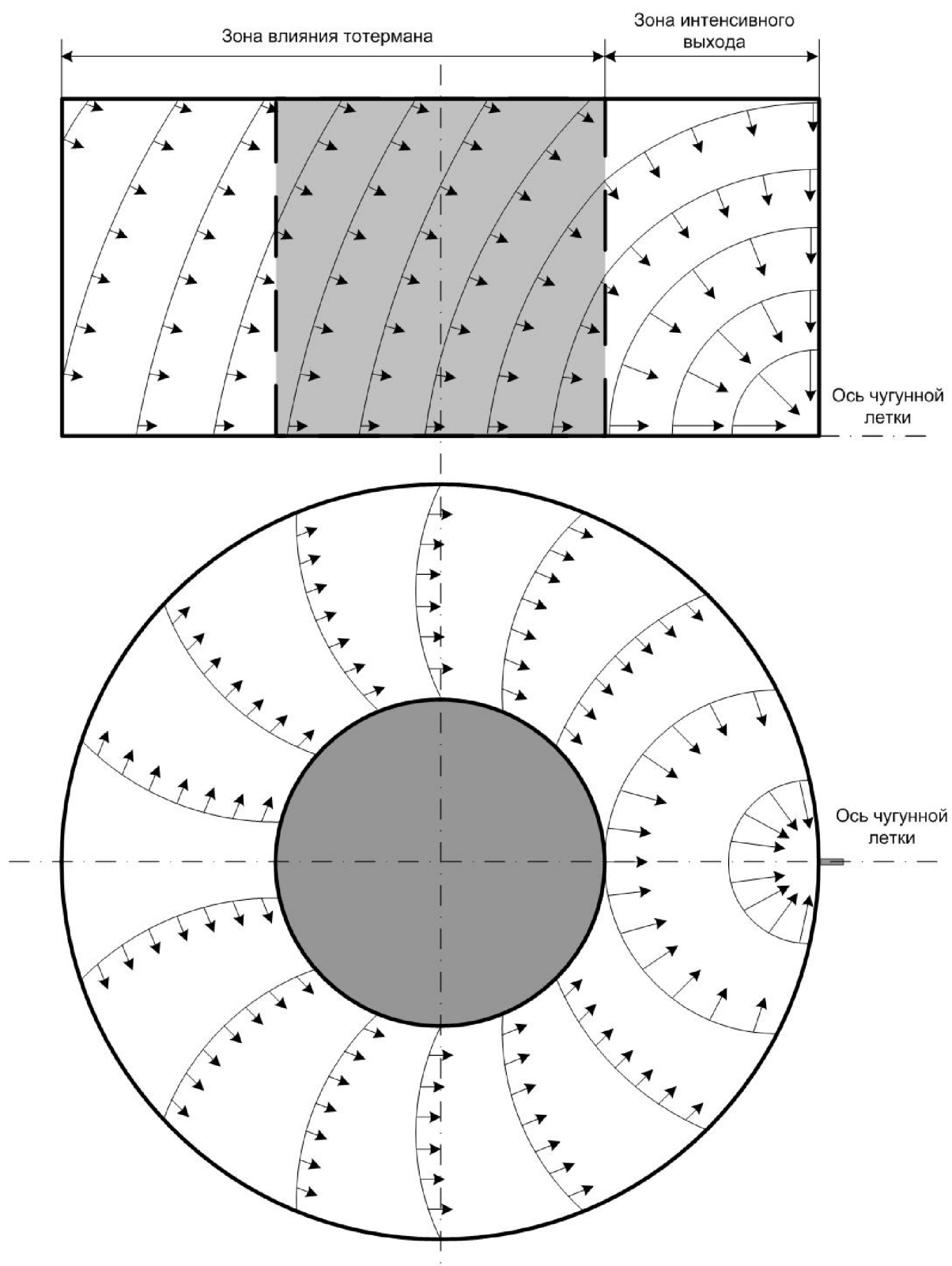


Рисунок 3 – Линии равных скоростей движения шлака в горне доменной печи

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. В результате проведенных на физической модели экспериментов определены линии тока и равных скоростей движения шлака в горне доменной печи к чугунной летке в период выпуска продуктов плавки при наличии тотермана в металлоприемнике.

2. Образование малоактивной зоны коксовой насадки в горне приводит к изменению линий тока и равных скоростей дви-

жения продуктов плавки в период выпуска. В результате металлоприемник делится на 2 зоны: влияния тотермана и интенсивного выхода шлака из печи.

3. На основании проведенных экспериментов запланировано разработать метод расчета объема тотермана путем математического моделирования движения потока шлака в горне доменной печи в период выпуска.

**Библиографический список**

1. Новохатский А.М. Совершенствование режима выпуска продуктов плавки из горна доменной печи // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. праць. – Мариуполь, 2008. — Вип. 18. — С. 19–22.
2. Новохатский А.М. Особенности работы горна доменной печи при выпуске чугуна и шлака через канал чугунной летки / А.М. Новохатский // Металл и литье Украины. — 2009. — № 1. — С. 9–12.
3. Новохатский А.М. Анализ закономерностей протекания массообменных процессов в горне доменной печи / А.М. Новохатский // Металлы и литье Украины. — 2008. — № 6. — С. 5–7.
4. Nogro P. Characterization of the permeability of the blast furnace lower part / P. Nogro, C. Petit, A. Urvo, D. Sert, H. Pierret // Rev. met.-France. — 2001. — № 6. — С. 521–531.
5. Freuer A. 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.
6. Физико-химические методы исследования металлургических процессов / П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев, М.Г. Крашенинников, Л.А. Пронин, Е.С. Филиппов ; под ред. П. П. Арсентьева. — М. : Металлургия, 1988. — 503 с.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. — Ленинград : «Энергия», 1975. — 600 с.

**Рекомендована к печати проф. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С.В., гл. инженером ПАО «АМК» Семенюком П.П.**

Статья поступила в редакцию 18.05.16.

**д.т.н. Новохатський О.М., к.т.н. Діментьєв О.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

**ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ШЛАКУ В ГОРНІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ, ПРИ НАЯВНОСТІ ТОТЕРМАНА**

Проведено дослідження впливу тотермана, малоактивної зони коксової насадки у центрі горна доменної печі, на рух шлаку методом фізичного моделювання. Отримані лінії потоку і рівних швидкостей руху розплаву у металоприемнику в період випуску продуктів плавки.

**Ключові слова:** доменна піч, горн, малоактивна зона, тотерман, лінії току, лінії рівних швидкостей.

**Dr.Sci.Tech. Novohatskyi A.M., PhD in Engineering Dimentiev A.O. (DonSTU, Alchevsk, LPR) PHYSICAL MODELING OF SINTER MOVING IN BLAST-FURNACE HEARTH WITH DEADMAN**

Physical modeling was used in the investigation to show the influence of deadman and low-active zone of coke packing in the center of blast-furnace hearth on sinter moving. The flow lines and lines of equal rates of melting movement in metal reservoir at tapping moment were obtained.

**Key words:** blast furnace, hearth, low-active zone, deadman, flow lines, lines of equal rates.