

как одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности, эта задача в настоящее время имеет первостепенное значение [1].

Доменное производство является основным потребителем дорогостоящего энергоносителя – кокса, являющегося основным источником тепла в доменной плавке. Поэтому качеству металлургического кокса уделяется значительное внимание. Основными показателями качества кокса являются его физические и химические параметры: содержание углерода и золы, влажность и гранулометрический состав, зависящий от механической прочности кокса [2].

Содержание углерода и золы в коксе являются химическими параметрами качества кокса и определяются в лаборатории коксохимического завода. Ситовый (гранулометрический) состав и влажность кокса определяется в аглодоменной лаборатории, и зависят от многих факторов: способа водно-воздушного охлаждения на рампе при выдаче из коксовых батарей, особенностей транспортировки и загрузочно-перегрузочных операций на пути из коксохимического завода и загрузки в доменную печь [3].

Экспрессный контроль влажности кокса выполняется автоматическими нейтронными влагомерами.

Нейтронный метод определения влажности различных сыпучих материалов основан на замедлении или рассеянии быстрых нейтронов при упругих соударениях с ядрами водорода, входящего в состав воды.

При этом нейтроны теряют часть своей энергии. Средняя величина потери энергии выражается формулой

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right) = \frac{2A}{(A+1)^2},$$

где E – энергия нейтрона до соударения; ΔE – энергия, потерянная нейтроном при одном соударении; A – массовое число ядра - замедлителя. Источником нейтронов является плутоний - бериллиевая ампула.

Чем легче ядра, с которыми сталкиваются нейтроны, тем больше энергии они теряют. Например, при соударении с ядром водорода, массовое число которого равно 1, нейтроны теряют около половины своей энергии.

При соударении с ядрами других элементов эта потеря меньше. При соударении с ядрами, имеющими массовое число больше 20, потеря энергии нейтронов настолько мала, что ее величиной можно пренебречь. Для материалов, не содержащих углеводородов и поглотителей нейтронов (бор, кадмий, индий, иридий, хлор, золото и т.п.), количество возникающих замедленных нейтронов примерно пропорционально содержанию в них ядер водорода, т.е. пропорционально влажности. К таким материалам относятся различные железорудные концентраты, металлургические шихты, формовочные земли, огнеупорные смеси, строительные материалы, уголь и кокс.

По сравнению с другими методами измерения влажности нейтронный метод имеет следующие преимущества: малая зависимость от химического состава материала (для элементов с малым сечением захвата тепловых нейтронов); независимость результатов измерений от температуры, давления; бесконтактность измерения; достоверность измерений вследствие того, что всегда анализируется большой объем материала; непрерывность измерения влажности, вследствие чего прибор

может быть включен в систему автоматического регулирования, отсутствие необходимости в представительной пробе.

В промышленности применение получил вначале влагомер типа “Нейтрон-3”, который в основном предназначен в качестве датчика в системах автоматического контроля и регулирования влажности агломерационной шихты, угля, кокса, огнеупорных масс [4].

Принцип действия нейтронного измерителя влажности поясняется схемой (Рис. 1).

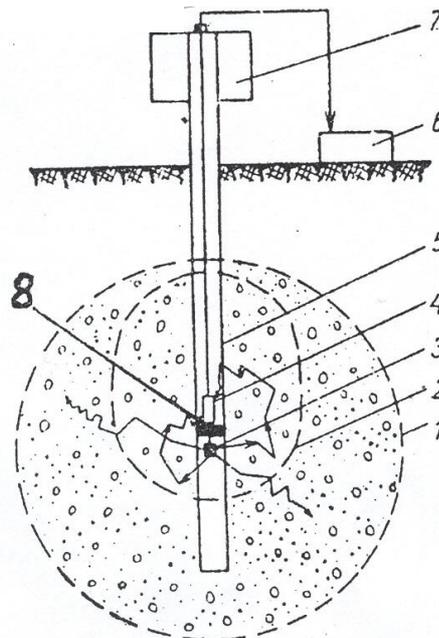


Рис. 1. Схема поясняющая принцип действия нейтронного измерителя влажности сыпучих материалов: 1 – общая масса материала; 2 – контролируемая масса материала; 3 – нейтронный источник; 4 – детектор рассеяно-отраженных медленных нейтронов; 5 – защитный стальной чехол; 6 – вторичный прибор; 7 – контрольно-калибровочное устройство; 8 – защитный экран (замедлитель нейтронов)

В погружном зонде-датчике находится плутоний - бериллиевый источник быстрых нейтронов, а за парафиновым экраном расположен блок счетчиков, которые регистрируют отраженные контролируемым материалом замедленные (тепловые) нейтроны. Пределы измерения относительной (весовой) влажности от 0 до 20 % по шкале вторичного прибора – электронного потенциометра, показания которого A в зависимости от влажности контролируемого материала определяются выражением

$$A = K \cdot \rho \cdot Q \cdot W,$$

где K – коэффициент, обусловленный геометрическими условиями измерения и физико-химическими свойствами материала; ρ – плотность (насыпной вес) материала, г/см³; Q – выход быстрых нейтронов, нейтрон/с.; W – весовая (относительная) влажность, %.

Блок-схема влагомера типа “Нейтрон-3” показана на (Рис. 2).

Погрешность измерения влажности составляет $\pm 0,5$ % (относительной). Влагомер типа “Нейтрон-3”

выдает информацию на потенциометр, светлое табло и цифрорпечатающее устройство, которая используется персоналом доменной печи для “ручного” дистанцион-

ного регулирования (уменьшения массы кокса при малой его влажности и увеличения массы кокса при повышенной его влажности).

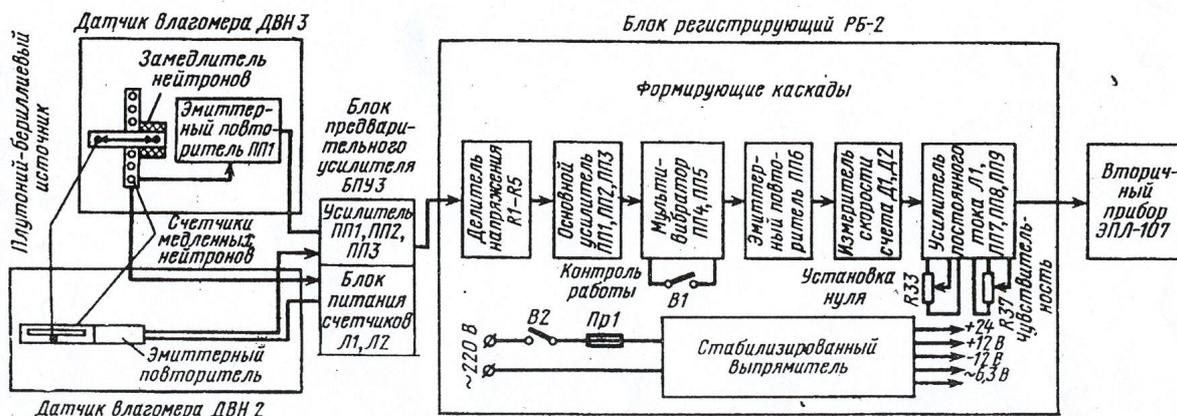


Рис. 2. Блок-схема влагомера типа «Нейтрон-3»

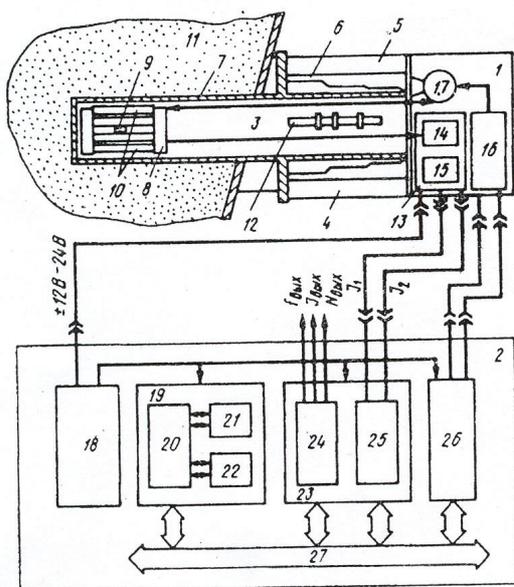


Рис. 3. Функциональная схема влагомера ВНС-7206 К: 1 – датчик влажности нейтронный ДВН-7206 К; 2 – устройство обработки и управления; 3 – измерительный блок; 4 – калибрационный узел (ЭВМ); 5 – биологическая защита; 6 – эталонные пластины; 7 – защитная оболочка; 8 – подвижная каретка; 9 – источник быстрых нейтронов; 10 – счетчики медленных нейтронов; 11 – весовая воронка с коксом; 12 – программно-задающий механизм; 13 – совмещенный блок; 14 – усилители-дискриминаторы; 15 – высоковольтный блок питания; 16 – блок управления; 17 – электромеханический привод каретки; 18 – блок питания; 19 – микропроцессорный блок управления; 20 – элемент управления; 21 – постоянное запоминающее устройство; 22 – оперативное запоминающее устройство; 23 – блок ввода-вывода; 24 – блок выходных преобразователей; 25 – преобразователь частота-код; 26 – блок управления калибровкой; 27 – шина данных.

Для систем автоматической коррекции массы скипового кокса по его влажности при загрузке в доменные печи применяется более совершенный в конструктивном и функциональном отношении влагомер типа ВНС-7206К (Рис. 3).

Влагомер состоит из нейтронного датчика влажности ДВН и устройства обработки и управления УОУ. Датчик состоит из измерительного блока и калибрационного узла и снабжен защитной оболочкой, которая выполнена из нержавеющей стали, и представляет собой герметичную сварную конструкцию прямоугольного сечения. Два датчика установлены в коксных весовых воронках. Измерительный блок предназначен для измерения быстрых, регистрации замедленных нейтронов, преобразования плотности потока регистрируемых нейтронов в электрические импульсные сигналы, их усиления и передачи в устройство обработки и управления. Источник быстрых нейтронов и детекторы размещены на подвижной каретке, которая соединена гибким кабелем с совмещенным блоком, включающим усилители-дискриминаторы и высоковольтный блок питания. Каретка с помощью электропривода по специальному направляющему перемещается внутри защитной оболочки.

Калибрационный узел, предназначенный для градуировки и проверки влагомера, состоит из блоков биологической защиты и эталонных пластин - вставок, позволяющих при перемещении в калибрационном узле каретки с источником и детекторами нейтронов, создавать нейтронные поля, эквивалентные полям в коксе при определенных значениях влагосодержания и насыпной массы.

Для измерения влагосодержания используется эффект замедления быстрых нейтронов атомами водорода, входящими в состав молекул воды. Замедляющиеся нейтроны регистрируются в двух областях энергетического спектра с помощью двух групп детекторов, одна из которых покрыта кадмиевым экраном.

Сигналы на выходе детекторов J_1 , J_2 можно представить в виде:

$$\begin{aligned} J_1 &= a_0 + a_1 \rho_1 + a_2 \rho_2 \\ J_1 b_0 + b_1 \rho_1 + b_2 \rho_2 \end{aligned} \quad (1)$$

где ρ_1 – объемная влажность кокса; ρ_2 – насыпная масса сухого кокса; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$, -градуированные коэффициенты.

С учетом определения влагосодержания W как $W = \rho_1 / \rho_2$ получим:

$$\frac{(I_1 - a_0)b_1 - (I_2 - b_0)a_1}{(I_2 - b_0)a_2 - (I_1 - a_0)b_2} \quad (2)$$

Выражение (2) является основным алгоритмом вычисления влагосодержания.

В состав устройства обработки и управления УОУ входят блок ввода-вывода БВВ, блок управления калибровки БУК, микропроцессорный блок управления БУМ и блок питания БП.

Влагомер работает следующим образом. При включении питания блок БУК вырабатывает сигнал “Калибровка”, по которому каретка датчика перемещается в первую градуировочную точку калибровочного узла. Частотно-импульсные сигналы, несущие информацию об эквивалентной объемной влажности и насыпной массе кокса, соответствующих первой градуировочной точке, усредняются в преобразователе частота – код ПЧК блока БВВ и преобразуются в двоичный код.

Через 128 секунд после прихода каретки в первую градуировочную точку блок БУМ принимает информацию с блока БВВ по обоим каналам и заносит усредненные значения и в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Одновременно значения и выводятся на цифровой индикатор блока БУМ для визуального контроля.

Через 256 секунд после начала процесса градуировки блок БУК вырабатывает команду “Переход”, каретка датчика перемещается в следующую градуировочную точку и процесс повторяется. В ОЗУ заносятся значения и затем каретка автоматически перемещается в положение “Измерение” и УОУ переходит на выполнение основной программы. Вновь режим “Градуировка” может включаться как автоматически по сигналам от таймера, так и вручную, оператором.

Таким образом, в процессе градуировки определяются и запоминаются в ОЗУ данные, необходимые для вычисления градуировочных коэффициентов $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ по выражениям:

$$\begin{aligned} &I_{11}(p_{12}p_{23} - p_{13}p_{22}) + I_{12}(p_{13}p_{21} - p_{11}p_{23}) \\ &+ I_{13}(p_{11}p_{22} - p_{12}p_{21}) \\ a_0 &= \frac{I_{11}(p_{12}p_{23} - p_{13}p_{22}) + I_{12}(p_{13}p_{21} - p_{11}p_{23}) + I_{13}(p_{11}p_{22} - p_{12}p_{21})}{(p_{11} - p_{13})(p_{22} - p_{23}) - (p_{12} - p_{13})(p_{12} - p_{23})} \end{aligned} \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{(I_{11} - I_{13})(p_{12} - p_{13}) - (I_{12} - I_{13})(p_{11} - p_{13})}{(p_{21} - p_{23})(p_{12} - p_{13}) - (p_{22} - p_{23})(p_{11} - p_{13})} \quad (4)$$

где J, J, J – соответственно, значения средней интенсивности счета замедленных нейтронов по первому каналу, эквивалентные объемная влажность и насыпная

$$a_2 = \frac{(I_{11} - I_{13})(p_{22} - p_{23}) - (I_{12} - I_{13})(p_{21} - p_{23})}{(p_{11} - p_{13})(p_{22} - p_{23}) - (p_{12} - p_{13})(p_{21} - p_{23})} \quad (5)$$

масса кокса в i -той градуировочной точке калибровочного узла.

Коэффициенты b_0, b_1, b_2 определяются из выражения (2) при замене J_{11} на J_{21} .

Так как значения J_{11}, J_{21} определяются при градуировке калибровочного узла и в дальнейшем в процессе эксплуатации не меняются, они хранятся в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ блока БУМ и вводятся в программу обработки информации в виде коэффициентов:

$$k_1 = p_{12} - p_{13} \quad (6)$$

$$k_2 = p_{11} - p_{13} \quad (7)$$

$$k_3 = p_{22} - p_{23} \quad (8)$$

$$k_4 = p_{21} - p_{23} \quad (9)$$

$$k_5 = \frac{p_{12}p_{13} - p_{13}p_{22}}{k_2 \cdot k_3 - k_1 \cdot k_4} \quad (10)$$

$$k_6 = \frac{p_{11}p_{23} - p_{13}p_{21}}{k_2 \cdot k_3 - k_1 \cdot k_4} \quad (11)$$

$$k_7 = \frac{p_{11}p_{22} - p_{12}p_{21}}{k_2 - k_3 - k_1 \cdot k_4} \quad (12)$$

Для удобства вычислений выражение (2) приводится к виду:

$$W = \frac{b_1 \cdot a_1 - (I_2 - b_0)(I_4 - a_0)}{(I_2 - b_0)(I_1 - a_0) - b_2 \cdot a_1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \quad (13)$$

И текущее значение влагосодержания определяется по формуле:

$$\begin{aligned} W &= \frac{(I_{21} - I_{23})k_1 - (I_{22} - I_{23})k_2}{(I_{11} - I_{13})k_1 - (I_{12} - I_{13})k_2} \cdot \frac{I_2 - (I_1 k_5 - I_2 k_6 - I_2 k_7)}{I_1 - (I_1 k_5 - I_2 k_6 - I_2 k_7)} \times \\ &\frac{(I_{21} - I_{23})k_3 - (I_{22} - I_{23})k_4}{(I_{11} - I_{13})k_3 - (I_{12} - I_{13})k_4} \times \\ &\frac{(I_{11} - I_{13})k_1 - (I_{12} - I_{13})k_2}{(I_{12} - I_{13})k_4 - (I_{11} - I_{13})k_3} \end{aligned} \quad (14)$$

где J_{11}, J_{21} соответственно средние значения интенсивностей счета замедляющихся нейтронов по каналам 1,2 в весовой воронке с коксом.

В режиме “Измерение” производится ввод средних значений и вычисление значения влагосодержания по формуле непрерывно с периодом 2 секунды. По приходу внешнего управляющего сигнала с промежуточного реле “Затвор”, определяется среднее значение влагосодержания W по последним 8 измерениям, результат преобразуется из двоичной в двоично-десятичную форму и выводится на индикаторы, вторичные приборы и систему дозирования кокса СДК.

В режиме “Калибровка” определяются и запоминаются средние значения интенсивностей счета по каналам в трех точках калибровочного узла: 1 точка - $W = 0,35 \%$, $\rho = 0,470$ т/м³; 2 точка - $W = 6,8 \%$, $\rho = 0,516$ т/м³; 3 точка - $W = 13,3 \%$, $\rho = 0,510$ т/м³.

Контроль функционирования и проверка влагомера в процессе эксплуатации осуществляется по встроенной ЭВМ II разряда, проверка которой, в свою очередь, осуществляется по возимой ЭВМ I разряда, аттестованной по стандартному образцу влагосодержания

доменного кокса (СОВ). Это обеспечивает единство измерений влагосодержания на всех предприятиях [6].

Экспрессный (оперативный) автоматический контроль влажности каждой порции кокса с коррекцией по его влажности имеет важное значение для эффективного управления тепловым режимом доменной плавки с целью выплавки высококачественного чугуна и сокращения удельного расхода (экономии) дорогостоящего кокса [5].

В соответствии с технологической инструкцией по ведению доменной плавки при изменении влажности скипового кокса на 2 % (от 4 %, т.е. нормальной влажности) масса (вес) кокса должна корректироваться в сторону уменьшения или увеличения.

В результате длительного промышленного применения систем автоматического контроля влажности кокса и коррекции его массы по влажности при загрузке в доменные печи сформулированы следующие выводы и рекомендации.

1. Ручной отбор кокса из вагонов, приготовление представительной пробы и лабораторное определение его влажности методом высушивания до постоянного веса очень длительны, имеют большую погрешность и поэтому не пригодны для эффективного управления тепловым состоянием доменных печей.

2. Применение технически и морально устаревшего нейтронного влагомера типа "Нейтрон-3" неэффективно для управления тепловым режимом доменных печей.

3. Для эффективного управления тепловым режимом доменной плавки следует применять систему

автоматического контроля влажности кокса и корректирования его массы по влажности, созданной на основе нейтронного влагомера типа ВНС – 7206 К.

4. В связи с реконструкцией доменной печи №10 ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат» целесообразно применить нейтронный влагомер тип ВНС – 7206 К для экспрессного контроля влажности кокса в комплекте с системой автоматической коррекции массы кокса по влажности с последующим включением системы в качестве подсистемы в АСУ ТП ДП.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Смоляк, Б.В. Щербицкий. Опыт нейтронной влагометрии в черной металлургии. Атомиздат. Москва. 1974 г., С. 64.
2. В.И. Бойко, В.А.Смоляк. Радиоизотопные средства автоматики. Киев, ИСМО, 1998 г., С. 340.
3. Металлургическая и горнорудная промышленность, 1972 г., №5, С. 8-10.
4. В.А. Смоляк. Автоматизация производственных процессов металлургической промышленности. "Вища школа", Киев, 1976 г., С. 290.
5. V.A. Smoljac. Technologic necessity of express information on skip coke moisture content for blast furnace. The bulletin of the Institute for metallurgical studies. September, 1976 y., № 22, P. 80-86.
6. В.П. Цимбал. Математическое моделирование металлургических процессов. Москва. "Металлургия", 1986 г., С. 240.

пост. 19.12.05

Исследование потерь в параллельных алгоритмах, связанных с коммуникационной подсистемой кластера

А.В. ЗИНЧЕНКО, А.В. МЕНДРИЙ

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг»

Рассмотрены вопросы реализации методов вычислительной гидромеханики на кластере ПЭВМ. Описана архитектура универсальной параллельной программы для решения задач гидродинамики и теплообмена. На тестовой задаче о течении несжимаемой жидкости в каверне с подвижной крышкой исследовано влияние пропускной способности коммуникационной подсистемы кластера на ускорение параллельных вычислений.

Розглянуто питання реалізації методів обчислювальної гідромеханіки на кластері ПЕОМ. Описано архітектуру універсальної паралельної програми для розв'язку задач гідродинаміки та теплообміну. На тестовій задачі про течію нестисливої рідини у каверні з рухомою кришкою досліджено вплив пропускної здатності комунікаційної підсистеми кластера на прискорення паралельних обчислень.

Questions of implementing methods of computational fluid mechanics on clustered computers were considered. The structure of proposed universal parallel solver for hydrodynamics and heat transfer problems were described. Influence of throughput of cluster communication subsystem to parallel computations acceleration was investigated upon test problem about flow field in driven lid rectangular cavity.

Проблема сокращения времени расчета трехмерных задач гидродинамики и теплообмена остается актуальной, несмотря на существенный рост производительности малых и персональных ЭВМ. Применение ЭВМ с архитектурой, основан-

ной на параллельной обработке [1], обеспечивает производительность, достаточную для решения практически любой вычислительной задачи.

Из всего многообразия параллельных архитектур наибольшее практическое значение для задач