

Рис. 1. Принципиальная схема оснащения доменной печи радиометрическим уровнемером типа УРИС-2: 1 – источник излучения; 2 – лебедка кабеля троса; 3 – защитные сегменты; 4 – детекторные трубы; 5 – детектор; 6 – кабель; 7 – щит; 8 – вторичные приборы; 9 – панель; 10 – потенциометр; 11 – переключатель

Таким образом, профиль поверхности шихтовых материалов является одновременно фактором, оказывающим влияние на характер распределения газового потока, и фактором, который подвержен влиянию газового потока и может отражать особенности газодинамического режима. Поэтому при управлении работой доменной печи необходимо в числе важнейших параметров процесса анализировать состояние поверхности шихтовых материалов на колошнике, сопоставлять это состояние с другими параметрами, прежде всего с перепадами статического давления и температурой под и над уровнем засыпи шихты, и стремиться к достижению такой формы поверхности, которая создает благоприятные условия протекания процессов и взаимодействия газа и шихты.

Для управления распределением шихтовых материалов и газового потока в доменных печах с большим диаметром колошника очень важно иметь информацию о действительном профиле поверхности засыпи шихты и распределении ее компонентов. Такие данные исследователи иногда получали визуальным осмотром и измерениями очертаний поверхности засыпи шихты непосредственно перед задувкой доменных печей.

Еще более широкие возможности для автоматизации управления доменным процессом имеются при ее оснащении двумя радиоизотопными устройствами с радиометрическим следящим уровнемером и профилемером поверхности шихты, рис. 3 [7].

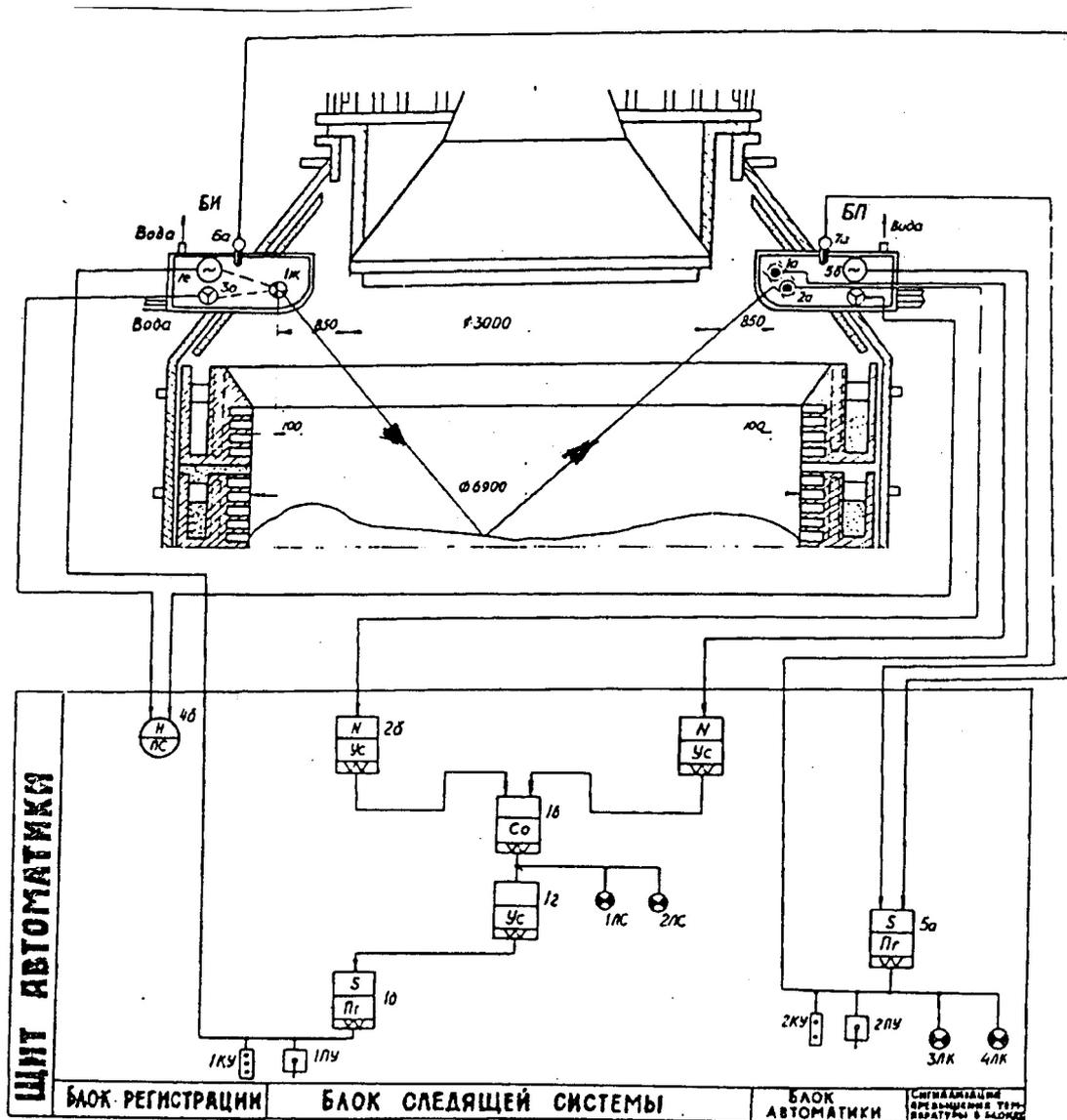


Рис. 2. Принципиальная схема оснащения доменной печи гамма-профилемером

Комплект профилемера и вспомогательных устройств состоит из блоков источника и приемника, блока регистрации

пульта управления, стальных водоохлаждаемых кожухов блоков приемника и источника, системы водоснабжения кожухов, трубной защиты кабельных трасс, монтажных площадок и переходных лестниц.

Профилемер работает в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах управления. В первом случае он включается от импульса, фиксирующего закрытие большого конуса засыпного аппарата после опускания очередной подачи шихты. Профиль регистрируется на неподвижной диаграммной ленте, автоматически перемещающейся после окончания записи.

Профилемер позволяет изучать влияние технологических факторов шихтовки и загрузки материалов на формирование профиля поверхности и структуры столба шихты с целью совершенствования управления доменным процессом.

Радиометрический профилемер позволяет быстро получать дискретную информацию о профите поверхности засыпи шихты в промежутках времени между загрузкой подач и в момент их загрузки в доменную печь.

На рис. 4, 5 показаны профили поверхности шихты при равномерном опускании поверхности шихты и при перекосе, т.е. одностороннем «ходе» доменной печи.

Функционирование радиоизотопного прибора можно рассматривать как процесс передачи информации от входа — места взаимодействия потока излучения с веществом — до выхода прибора. При этом количество информации, получаемое от прибора, можно оценивать или средним количеством информации, выдаваемым прибором при каждом замере (среднее количество информации на замер) H , или средним количеством информации, выдаваемым в единицу времени (скорость выдачи информации) R .

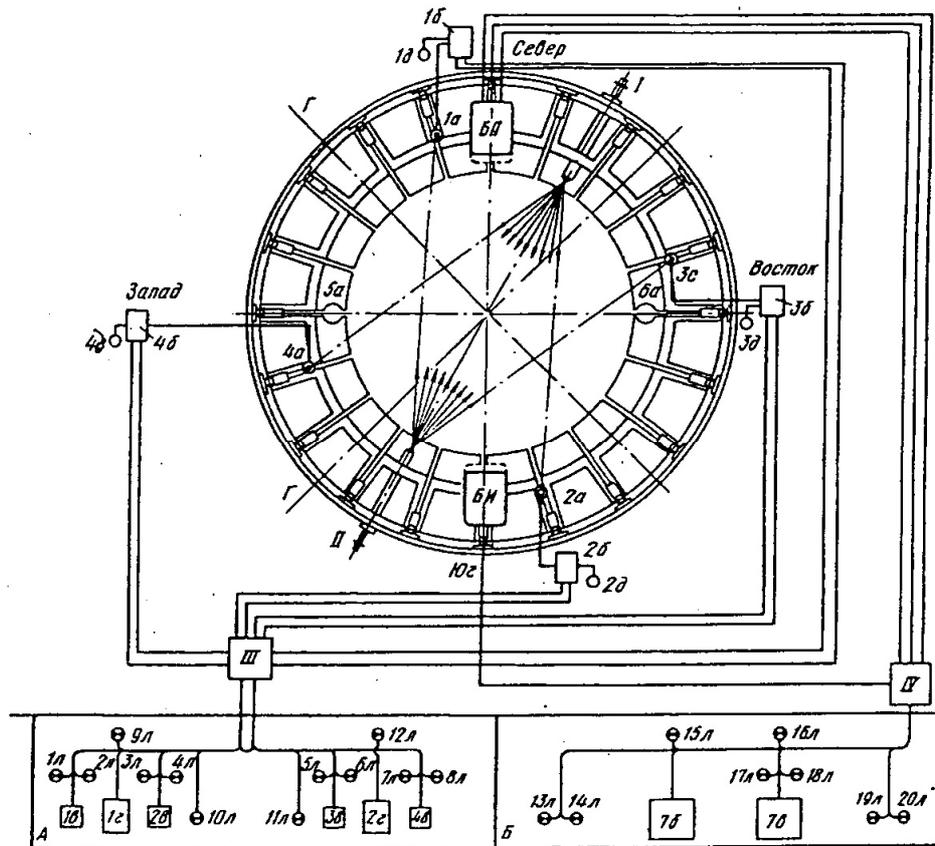


Рис. 3. Схема оснащения доменной печи радиометрическим уровнемером (А) и профилемером (Б): 1а–4а – детекторы уровнемера; 1б–4б – блоки управления приводами детекторов; 1г и 2г – регистрирующие приборы уровнемера; 1д–4д – датчики температуры детекторов; БИ и БП – блоки источника и приемника уровнемера; 5а и 6а – зондовые уровнемеры; 7а и 7б – блоки управления профилемером и его управляющий прибор; I и II – источники излучения уровнемера; III и IV – распределительные коробки; Г – оси газопроводов; 1л–20л – сигнальные лампы

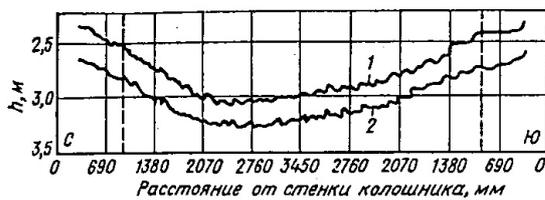


Рис. 4. Профиль поверхности засыпи шихты после загрузки двух подач по системе КА₂К и двух подач по системе А₂К₂ при непостоянной величине подачи (1–2 – две записи с промежутком в 2 мин.)

Рассмотрим методику определения этих величин. Пусть контролируемый технологический параметр W изменяется в диапазоне от Ψ_{\min} до Ψ_{\max} , и измерение его производится с допустимой погрешностью $\pm\Psi_{\Delta}$. При этом все значения измеряемого

параметра могут быть переданы с помощью m дискретных значений Ψ_i , причем

$$m = \frac{\Psi_{\max} - \Psi_{\min}}{\Delta\Psi_{\Delta} + |\Delta\Psi_{\Delta}|} \quad (1)$$

$$\Psi_{s+1} - \Psi_s = \Delta\Psi_{\Delta} + |\Delta\Psi_{\Delta}|, s=1,2,\dots, \delta$$



Рис. 5. Профили с перекосом поверхности засыпи шихты при неровном ее сходе (1 и 2 – записи с промежутком в 2 мин.)

С учетом этого величина контролируемого параметра находится в диапазоне $\Psi_i \pm \Delta\Psi_d$ характеризуемом значением Ψ_i и процесс стационарен. Измеряя это значение, радиоизотопный прибор с некоторой вероятностью P_{ij} выдаст на выходе информацию о величине технологического параметра Ψ_j . Если прибор работал без сбоев, т.е. не нарушалось условие $\Delta\Psi \leq \Delta\Psi_d$, то были справедливы соотношения: $P_{ii}=1$ при $j=i$ и $P_{ij}=0$ при $j \neq i$. Поскольку, в работе прибора возможны сбои, вызванные присутствием в его сигналерадационной и аппаратурной флуктуационных составляющих, $P_{ii} > 0$, радиоизотопный прибор эквивалентен каналу передачи дискретной информации, на который воздействует шум (помехи). То обстоятельство, что шум в канале создается влиянием не внешних, а внутренних факторов (случайное распределение квантов по времени и пространстве, случайные изменения режимов узлов прибора и т. д.), не имеет существенного значения. Некоторая специфика, вносимая радиационной флуктуационно составляющей сигнала, состоит лишь в том, что характеристика шума (моменты распределения) зависит от величины (интенсивности) импульсного сигнала I (имп/сек). Вследствие этого среднее количество информации, получаемой от прибора при каждом замере, определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} H &= H(\Psi_i) - H_i(\Psi_j), \\ H(\Psi_j) &= \sum_{ij} P_i P_{ij} \log_2 \sum_i P_i P_{ij} [a \dot{e} \dot{o}], \\ H_i(\Psi_j) &= - \sum_i P_i \sum_j P_{ij} \log P_{ij} [a \dot{e} \dot{o}], \end{aligned} \quad (2)$$

где $H(\Psi_i)$ — среднее количество информации на одно сообщение (замер) при неизвестном значении Ψ_i (энтропия входа), а $H_i(\Psi_j)$ — среднее количество информации на одно сообщение при известном значении контролируемого параметра (условная энтропия выхода, условие состоит в том, что известно Ψ_j).

Вероятность P_i есть вероятность того, что значение контролируемого технологического параметра находится в диапазоне $\Psi_i \pm \Delta\Psi_d$. При равновероятности всех значений параметра в пределах диапазона измерения получаемое при каждом замере:

$$\dot{I} = \log_2 m - \frac{1}{m} \sum_{ij} P_{ij} \log_2 P_{ij} [a \dot{e} \dot{o}] \quad (3)$$

Скорость выдачи информации при среднем времени замера и среднем времени паузы между замерами t_n :

$$R = \frac{H}{t_{\dot{a}i} + t_n}.$$

Вероятность P_{ii} есть вероятность передачи сообщения о величине Ψ_i без сбоя, т.е. $P_{ii} = P_{\text{Крс}}$ — вероятность бесбойной работы прибора.

Поскольку закон распределения случайной погрешности прибора близок к нормальному и, следовательно, весьма симметричен, можно принять:

$$D_{i+1} = D_{i-1} = 0,5(1 - D_{ii}), \quad (4)$$

а также

$$D_{ij} = 0 \quad (i \dot{d} \dot{e} \dot{j} - 2 \leq j \leq i + 2). \quad (5)$$

Справедливость этих соотношений следует из того, что в радиоизотопных приборах вероятности (5) есть вероятности отклонения сигнала на величину, большую $\pm 6\sigma$. Их сумма не превышает 10^{-9} , и изменением количества информации при реализации таких событий можно пренебречь.

При вычислении сумм в соотношениях (2), (3) следует учитывать, что при времяимпульсном преобразовании сигнала указанная выше зависимость характеристик шума от величины сигнала устраняется вследствие присущего этому виду преобразования свойства, автоматической корректировки времени замера $[t_{\text{зм}} —$ обратно пропорционально интенсивности сигнала $I(\Psi_i)]$. Поэтому вероятность бесбойной работы прибора с времяимпульсным преобразованием не зависит от величины сигнала:

$$(D_{ii})_{\dot{a}e} = \dot{E}_{\dot{a}\dot{n}}(N_3, A_{\dot{a}}^{\pm}) \quad (6)$$

и, следовательно, не зависит от величины индекса i . У такого прибора при равновероятности всех значений Ψ_i в диапазоне измерения количество информации на замер в соответствии с (3):

$$\begin{aligned} H &= \log_2 m - (1 + P_c) + \\ &+ P_c \log_2 P_c + (1 - P_c) \log_2 (1 - P_c) [a \dot{e} \dot{o}] \end{aligned} \quad (7)$$

При числоимпульсном и токовом преобразовании зависимости характеристик шума от величины сигнала не устраняется:

$$(P_c)_{ie} = \dot{E}_{\dot{a}\dot{n}}[{}^2(\Psi_s), t_{ci}, A_{\dot{a}}^{\pm}], \quad (8)$$

т.е.

$$(P_c)_{\dot{o}} = \dot{E}_{\dot{a}\dot{n}}[{}^2(\Psi_s), \tau, A_{\dot{a}}^{\pm}].$$

Вследствие этого вероятность $P_c = P_{ii}$ имеет разные значения при различных значениях индекса i , и требуется непосредственное вычисление суммы. Однако возможны частные случаи, позволяющие упростить вычисления. Это случаи, когда указанную зависимость можно кусочно или полностью аппроксимировать участками, на которых вероятность P_c можно считать постоянной. Поскольку зависимость $P_c(I)$ является монотонно возрастающей, для границ каждого участка должно соблюдаться неравенство:

$$P_c(I_{\text{max}}) - P_c(I_{\text{min}}) \ll P_c(I_{\text{min}}). \quad (9)$$

При этом на каждом из участков можно применить соотношение (7) при замене величины P_c на

$$P = \frac{P_c(I_{\text{max}}) + P_c(I_{\text{min}})}{2}. \quad (10)$$

Необходимо учитывать, что при автоматическом регулировании, и особенно при автоматическом контроле, когда реакция автоматической системы не может быть ею в последующем откорректирована, следует ориентироваться не на среднее, а на гарантированное количество информации при каждом замере. Гарантированное количество информации соответствует минимальному количеству на замер. При этом применимо соотношение (7) с заменой величины P_c на значение вероятности $P_c(I)$, наименьшее во всем диапазоне измерения параметра Ψ . Оно соответствует тому значению Ψ'_i , при котором интенсивность сигнала / минимальна. При значениях $\Psi_i \neq \Psi'_i$ прибор даёт

информацию, содержащую некоторую избыточную часть, тем большую, чем сильнее неравенство. На отработку избыточной части информации бесполезно затрачивается время, что, однако, неизбежно при числоимпульсном и токовом усредняющих преобразованиях.

При времяимпульсном преобразовании замер автоматически заканчивается, как только зарегистрировано заданное количество импульсов и, следовательно, получено заданное количество информации. Избыточная информация при этом преобразовании не отрабатывается, и прибор с времяимпульсным преобразователем при непрерывных замерах обладает большим средним быстродействием, чем прибор с числоимпульсным или токовым преобразователем. Выигрыш в быстродействии тем больше, чем больше диапазон изменения интенсивности сигнала, соответствующий диапазону измерения контролируемого параметра.

Рассмотрим в качестве примера радиоизотопный прибор с времяимпульсным усредняющим преобразователем, который непрерывно измеряет величину технологического параметра в некотором диапазоне допустимой погрешностью $A_d = \pm 0,5\%$ при среднем времени замера $t_{zm} = 2 \text{ сек}$, готовности по сбоям $K_{гс} = P_c = 0,995$ и априорной равновероятности всех значений параметра. При этом согласно (1) $m=100$ и согласно (7):

$$N = 6,64 \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 6,56 \text{ бит/замер},$$

а скорость выдачи информации $3,28 \text{ бит/сек}$. Из расчета следует, что в рассматриваемом случае потеря информации из-за влияния сбоев [т. е. величина $N_i(\Psi_i)$ из соотношения (2)] равна $8 \cdot 10^{-2} \text{ бит/замер}$ или $4 \cdot 10^{-2} \text{ бит/сек}$. Целесообразно в связи с этим отметить, что потеря информации из-за влияния сбоев, согласно (2), может быть скомпенсирована увеличением $N(\Psi_i)$ на величину $N_i(\Psi_i)$, т. е. в данном случае увеличением m до $m' = 105$ и, следовательно, уменьшением допустимой погрешности прибора до $A_d' = \pm 0,475\%$.

Определение величин N или P существенно не только при включении прибора в систему управления или преобразования информации, содержащую ЦВМ. Эти величины удобны для сравнения качества приборов. Как известно, ни одна из основных характеристик радиоизотопных приборов — точность, быстродействие или надежность работы, — взятая изолированно, не может быть критерием для сравнения качества приборов. Величины N или R , обобщающие согласно (6), (8) значения основных характеристик, являются объективным критерием для такого сравне-

ния. Существен и другой вывод, следующий из соотношений (1) — (8): в радиоизотопном приборе при заданном типе усредняющего преобразователя количество выдаваемой информации N (или R), точность (A_d), быстродействие (T_{zm} или τ), надежность работы по сбоям ($K_{гс}$ или t_c) и интенсивность сигнала на входе усредняющего преобразователя (I) однозначно связаны между собой, и нельзя изменить одну из этих величин, не изменив при этом одну или несколько других. С указанными величинами связана и активность источника излучения в той степени, в какой она определяет интенсивность сигнала на входе усредняющего преобразователя.

Из всего выше изложенного следует, что качество и количество информации об измеряемых технологических параметрах, поступающей из радиоизотопных уровнемера и профилемера, имеют специфические особенности, которые следует учитывать при конструировании и эксплуатации их на конкретной доменной печи.

Рекомендуется оснастить радиоизотопными уровнемером и профилемером поверхности засыпи шихты доменной печи №10 ДМК при её реконструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Смоляк, В.И. Васильченко. Радиоизотопный контроль и автоматика в черной металлургии, Атомиздат 1992, С.120.
2. В.А.Смоляк, В.С. Кочо, Б.В. Щербицкий. Автоматизация производственных процессов металлургической промышленности. "Вища школа", Киев, 1976 г., С. 290.
3. В.А. Смоляк, Б.В. Щербицкий. Опыт нейтронной влагометрии в черной металлургии. Атомиздат, 1974, С. 70.
4. В.А. Смоляк, Л.М. Дехтярева. Контроль огнеупорной футеровки металлургических агрегатов. "Металлургия", 1977, С. 104.
5. В.А. Смоляк, В.И. Бойко. Радиоизотопные средства автоматизации. Киев, ИСМО, 1998, С. 340.
6. В.А. Смоляк, В.Н. Узлюк, Автоматический радиоизотопный контроль уровня шихты в доменной печи. Издательство "Техника", Киев, 1980, С. 135.
7. В.А. Смоляк. Исследование формирования профиля поверхности засыпи и структуры столба шихты в доменной печи. Сталь, 1974, № 2, С. 100-103.