

УДК 621.982:621.389.119

Сус С. П.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ ИЗДЕЛИЙ В ТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Технологический процесс термической обработки изделий сопряжен с тяжелыми условиями работы оборудования и обслуживающего персонала. При комплексной автоматизации управление технологическим процессом возлагается на управляющий вычислительный комплекс, в который поступает вся информация из технологической линии, формируемая при помощи первичных преобразователей. Однако из-за высокой (1300–1700 К) температуры информация о наличии изделий внутри термических установок либо полностью отсутствует, либо сильно искажена, что, в свою очередь, приводит к возникновению аварий, сопровождающихся значительными финансовыми потерями. Поэтому весьма актуальными являются вопросы совершенствования существующих и создания, на основе использования современных методов анализа и синтеза, принципиально новых устройств контроля, формирующих первичную информацию и обладающих высокой надежностью при работе в условиях интенсивных оптических помех.

Целью данной работы является выбор метода контроля и определение информативных параметров при контроле наличия изделий в термических установках длиной 100 и более метров.

Анализ существующих методов [1, 2] показал, что для контроля наличия изделий в термических установках большой длины (свыше 100 метров), наиболее приемлемым является фотоэлектрический метод, при котором устройства контроля должны работать в активном режиме «на просвет» (рис. 1).

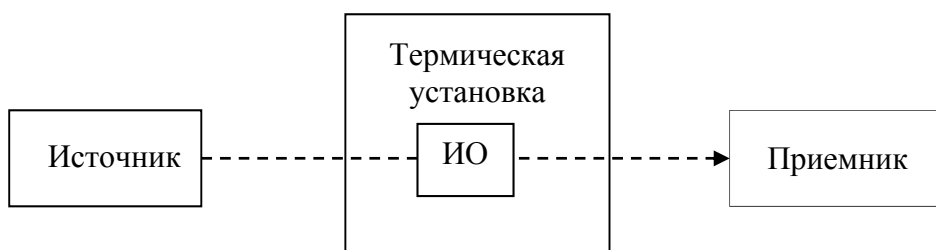


Рис. 1. Активный режим работы «на просвет»

При указанном режиме работы источник зондирующего оптического сигнала размещается с одной стороны термической установки и его излучение, пройдя сквозь рабочее пространство, поступает на приемник, расположенный с противоположной стороны установки. Движущиеся в термической установке изделия, в этом случае, являются индицируемыми объектами (ИО). Однако, мощность поступившего на приемник зондирующего оптического сигнала зависит от состояния рабочего пространства и постоянно меняется. Кроме того, применение такого режима не позволяет точно определять место появления ИО в контролируемой зоне.

Режим оптической локации применим для контроля наличия изделий в термических установках длиной 10...20 метров (рис. 2). При этом путем измерения расстояния возможно определить место появления ИО в контролируемой зоне.

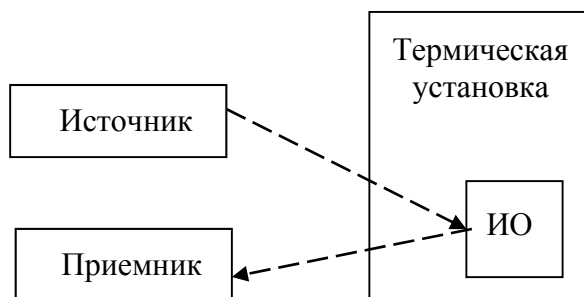


Рис. 2. Режим оптической локации

В термических установках длиной более 20 м индицируемым объектом, в режиме оптической локации, может быть только специальный отражатель, установленный на противоположной стороне установки (рис. 3). В этом случае регистрируется лишь факт появления изделий в контролируемом пространстве, а место их появления определить невозможно. Кроме того, при применении отражателя зондирующий оптический сигнал (ЗОС) проходит дважды через контролируемое пространство, что приводит к значительному затуханию сигнала и, вследствие значительной турбулентности печной среды, к увеличению нелинейности его траектории.

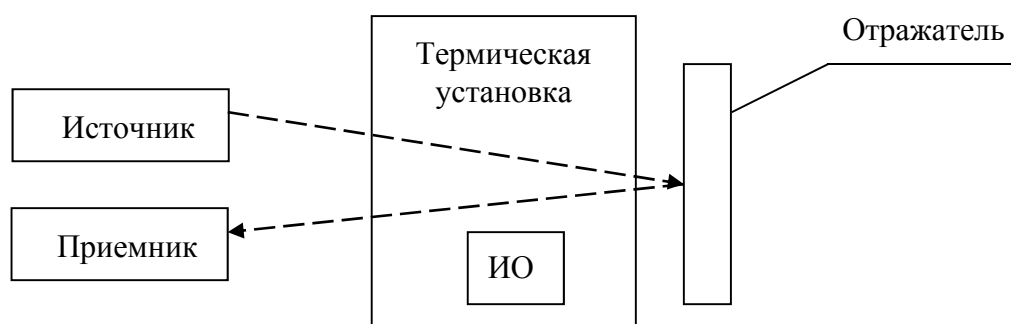


Рис. 3. Режим оптической локации с отражателем

Исходя из особенностей технологического процесса термической обработки изделий, определена совокупность внешних факторов, затрудняющих применение фотоэлектрического метода. Установлено, что при применении указанного метода печная среда будет оптическим каналом связи, свойства которого значительно отличаются от свойств хорошо изученной атмосферы [3, 4, 5]. С одной стороны, из-за высокой плотности среды и наличия различных химических веществ с высокой концентрацией канал связи подавляет ЗОС, что предопределяет рабочий оптический диапазон устройства контроля, так как коэффициент пропускания является спектральным, а с другой стороны – является мощным источником помех, а это накладывает ограничения на форму сигнала и способы его обработки. И коэффициент пропускания, и параметры помех являются неизвестными, поэтому существенно важной представляется задача рационального использования мощности ЗОС, решение которой достигнуто путем теоретических и экспериментальных исследований оптического канала, а также разработкой принципиально новых методов обработки информационного сигнала.

Так как оптический канал связи является неоднородной средой, то коэффициент пропускания определяется поглощением и рассеянием ЗОС [3, 4, 5].

Если рабочая температура в термической установке создается путем горения жидкого или газообразного топлива, то химический состав печной среды определяется компонентами приземной атмосферы и продуктами горения (H_2O , CO_2 , CO и O_2).

Процесс прохождения сквозь среду оптического сигнала можно представить в дифференциальной форме [6]:

$$dI_{\lambda} = -I_{\lambda} \alpha_n(\lambda) \rho(l) dl, \quad (1)$$

где I_{λ} – интенсивность оптического сигнала с длиной волны λ ;

$\alpha_n(\lambda)$ – спектральный коэффициент поглощения;

$\rho(l)$ – плотность поглощающего вещества;

dl – элемент пути, по которому распространяется оптический сигнал.

Спектральный коэффициент поглощения $\alpha_n(\lambda)$ можно определить, зная интенсивности оптического сигнала на входе и выходе среды распространения.

$$\alpha_n(\lambda) = \frac{I_0(\lambda) - I_l(\lambda)}{I_0(\lambda)}, \quad (2)$$

где $I_0(\lambda)$, $I_l(\lambda)$ – интенсивности оптического сигнала соответственно на входе и выходе среды распространения.

Реальный оптический сигнал занимает определенный частотный диапазон $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Следовательно, поглощение ЗОС в печной среде необходимо описывать функцией поглощения α_n , проинтегрировав выражение (2):

$$\alpha_n = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [I_0(\lambda) - I_l(\lambda)] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_0(\lambda) d\lambda}. \quad (3)$$

На практике чаще всего для характеристики среды используют коэффициент пропускания τ_n [6, 7], который определяется по формуле:

$$\tau_n = 1 - \alpha_n. \quad (4)$$

Если предположить, что плотность ЗОС на интервале $\Delta\lambda$ будет постоянной, то пропускание и поглощение печной среды, используя формулы (2), (3) и (4), определяются выражениями:

$$\tau_n = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \exp\left[-\int_{(l)} \alpha_n(\lambda) \rho(l) dl\right] d\lambda, \quad (5)$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{1 - \exp\left[-\int_{(l)} \alpha_n(\lambda) \rho(l) dl\right]\} d\lambda, \quad (6)$$

где $\int_{(l)}$ – криволинейный интеграл, который необходимо вычислять по пути распространения оптического сигнала.

Известно [4, 5], что коэффициент поглощения излучения частотой \mathcal{G} определяется как сумма коэффициентов поглощения отдельных спектральных линий, то есть:

$$\alpha(\vartheta, l) = \sum_i S_i(l) b_i(\vartheta, l), \quad (7)$$

где S_i и b_i – общая интенсивность и контур i -ой линии.

Суммирование по формуле (7) может быть выполнено только численно.

Согласно теории Лоренца спектральный коэффициент поглощения для группы перекрещивающихся линий будет:

$$\alpha(\vartheta, l) = \sum_i \frac{S_i[T(l)]}{\pi} \cdot \frac{\gamma_i[T(l), P(l)]}{(\vartheta - \vartheta_{0i})^2 + \gamma_i^2[T(l), P(l)]}, \quad (8)$$

где $T(l)$ и $P(l)$ – температура и эффективное давление в точке l ;

γ_i – полуширина i -ой линии.

Подставляя (8) в (6), получим выражение для коэффициента поглощения ЗОС печной средой в частотном интервале $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$.

$$\alpha_n = \frac{1}{\vartheta_2 - \vartheta_1} \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \left\{ 1 - \exp \left[- \sum_i \int_{(i)} \rho(i) \frac{S_i[T(l)]}{\pi} \cdot \frac{\gamma_i[T(l), P(l)]}{(\vartheta - \vartheta_{0i})^2 + \gamma_i^2[T(l), P(l)]} dl \right] \right\} d\vartheta. \quad (9)$$

Для перехода к интервалу $\Delta\lambda$ необходимо использовать соотношение:

$$\lambda = \frac{C}{\nu},$$

где C – скорость распространения света в вакууме.

Как следует из (9), для определения коэффициента поглощения необходимо иметь следующие данные:

- распределение концентрации, температуры и эффективного давления в печной среде;
- положение линий, вносящих вклад в поглощение;
- интенсивность и полуширину этих линий при соответствующих температуре и давлении.

Основная трудность при расчете поглощения заключается в определении интенсивности и полуширины спектральных линий.

Для выбора оптимальных параметров ЗОС можно использовать табличные данные из [4, 6], где указаны линии поглощения H_2O , CO_2 , CO и O_2 . Достаточно хорошие результаты дает применение метода эффективной поглощающей массы или аппроксимации Куртиса-Годсона.

Используя уравнение (9) и линии поглощения H_2O , CO_2 , CO и O_2 установлено, что наиболее сильной и широкой является полоса поглощения парами воды, занимающая по длине волны диапазон от 5,5 до 7,5 мкм. Минимальное поглощение будет в диапазоне от 1,2 до 5,0 мкм. В диапазоне от 0,7 до 1,05 мкм существует опасность попадания в полосу поглощения CO_2 , CO или O_2 .

В полученных диапазонах, согласно теории Кабанна-Релея, молекулярное рассеяние не превышает 3 %, а основным будет аэрозольное ослабление (Ми-рассеяние), часть которого в виде рассеянного «вперед» излучения попадет на вход приемника и исказит информацию. Проведенные исследования показали, что при угловом поле приемника меньше 10^0 рассеянием «вперед» практически можно пренебречь.

Значительное изменение температуры по длине оптического канала приводит к появлению неоднородностей и к изменению показателя преломления, что сказывается на величине мощности ЗОС, поступающей на вход приемника. На модели оптического канала проведены исследования углового отклонения оптического луча и установлено, что максимальное отклонение при длине волны 0,6328 и 0,95 мкм не превышает 4,5 угловых минут. Исходя из этого получены выражения и зависимость (рис. 4), связывающие соотношения диаметров приемной оптической системы $D_{П}$ и оптического луча в месте приема $D_{Л}$.

$$D_n \geq D_{\lambda} + 2 \cdot \Delta D_{\lambda} = 2 \cdot L_k \cdot \left(\operatorname{tg} \frac{\Omega_u}{2} + 8 \cdot 10^{-4} \right), \quad (10)$$

$$D_n \leq D_{\lambda} - 2 \cdot \Delta D_{\lambda} = 2 \cdot L_k \cdot \left(\operatorname{tg} \frac{\Omega_u}{2} - 8 \cdot 10^{-4} \right), \quad (11)$$

где Ω_u – плоский угол раствора оптического луча;

L_k – расстояние от приемника до источника (длина оптического луча);

ΔD_{λ} – максимальное отклонение оптического луча в месте приема.

Поскольку выполнить условие (10) при $L_k > 150$ м технически невозможно, то минимальный диаметр оптического луча в месте приема необходимо рассчитывать по выражению (11), то есть:

$$D_{Л\min} = 16 \cdot 10^{-4} \cdot L_k + D_n. \quad (12)$$

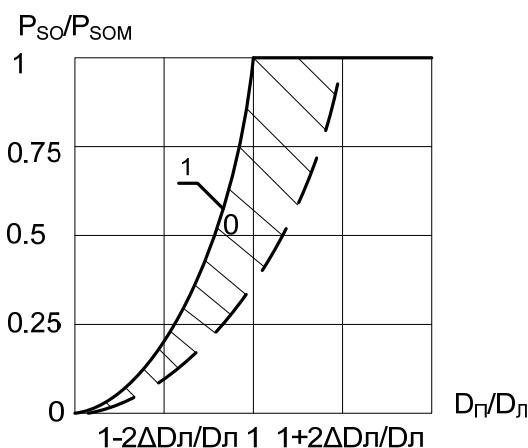


Рис. 4. Зависимость мощности оптического сигнала на входе приемника P_{S0} от соотношения диаметров приемной оптической системы $D_{П}$ и ЗОС $D_{Л}$

Результаты выполненных исследований позволили выбрать оптимальные параметры ЗОС. Исходя из минимального ослабления и получения максимального различия между помехами и информационным сигналом, рабочим следует выбрать оптический диапазон от 0,7 до 1,05 мкм. Для эффективного использования энергии сигнала его необходимо формировать в виде оптических импульсов длительностью от 1 до 10 мкс и частотой следования не менее 500 Гц.

Выполнена оптимизация параметров оптических систем устройства контроля и получено выражение для определения мощности ЗОС на входе приемника.

$$P_{S0} = \frac{P' \cdot D_u^2 \cdot \tau_{01} \cdot \tau_k \cdot D_n^2}{16 \cdot L_k^2 \cdot d_{ист}^2}, \quad (13)$$

где P' – суммарная мощность источника ЗОС;

D_u, τ_{01} – диаметр и коэффициент пропускания передающей оптической системы соответственно;

$d_{ист}$ – размер источника.

Из (13) следует, что для изотропного источника фокусное расстояние передающей оптической системы можно выбирать любым. Это объясняется тем, что изменение облученности приемника, вызванное изменением фокусного расстояния при $D_u = \text{const}$, компенсируется изменением мощности, поступающей от источника на передающую оптическую систему.

По результатам исследований изготовлены и испытаны несколько экспериментальных образцов устройств контроля наличия изделий. Результаты испытаний подтвердили полученные ранее теоретические положения.

Указанное устройство имеет следующие технические характеристики:

- дальность обнаружения объекта – до 20 м;
- угловое поле приемника – не более 10^0 ;
- выходной сигнал – релейный бесконтактный;
- напряжение питания – постоянное 24 В \pm 10 %;
- потребляемая мощность – не более 2 Вт.

ВЫВОДЫ

Установлено, что для достоверного контроля наличия изделий в термических установках источниками сигнала могут быть инфракрасные излучающие диоды или источники с широким (0,7...1,05 мкм) спектром излучения.

Разработанное устройство может быть применено не только для контроля параметров рабочего пространства термических установок, но и как устройство обнаружения изделий в труднодоступных зонах, например в прокатном производстве и т. п.

При контроле наличия проката в районе гидросбива окалины оптический сигнал должен формироваться в диапазоне 1,2...5,0 мкм, а в качестве источников сигнала можно применять полупроводниковые лазерные диоды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. № 1310636 СССР, МКИ 4G01B21/00. Оптоэлектронное измерительное устройство / Сагайда И. М., Сус С. П., Костецкий Ю. И., Сагайда П. И. – Оpubл. 1987. – № 18. – С. 145.
2. А. с. № 1672186 СССР, МКИ 5F27D19/00. Устройство для определения наличия завала обжигаемых изделий в печи / Тырса В. Е., Сус С. П., Сагайда И. М., Срыбник М. В. – Оpubл. 1991. – № 13. – С. 153.
3. Зуев В. Е. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере / В. Е. Зуев, М. В. Кабанов. – М. : Сов. радио, 1977. – 368 с.
4. Зуев В. Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере / В. Е. Зуев. – М. : Радио и связь, 1981. – 288 с.
5. Аганбекян К. А. Распространение субмиллиметровых, инфракрасных и оптических волн в земной атмосфере / К. А. Аганбекян, В. П. Бисярин, А. Ю. Зражевский // Распространение радиоволн. – М. : Наука, 1975. – С. 187–227.
6. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю. Г. Якушенков. – М. : Сов. радио, 1980. – 392 с.
7. Morgan R. Y. Source-Drive Optimization for Optic-Fiber System Using LED / R. Y. Morgan. – *Electr. Lett.*, 1999. – V. 12. – № 25. – P. 673.