



УДК 536.4:614.841.2:629.123

## ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ЧАСТИЦЫ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА

**Калинчак В.В.**

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,*

**Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.**

*Херсонская государственная морская академия*

**Черненко А.С.**

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова*

*В работе рассмотрено влияние поглощенного теплового излучения углеродной частицы на ее критические условия самопроизвольного воспламенения и погасания. Проведен анализ временных зависимостей температуры, диаметра и плотности углеродной частицы при поглощении теплового излучения. Показано, что частицы углерода (сажи) поглощая тепловое излучение сами разогреваются до высокой температуры, что может привести к их устойчивому горению, а попадая, например, в парогазовую смесь легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), могут вызвать ее возгорание. Сравнение со стационарной зависимостью диаметра частицы от температуры частицы позволяет прогнозировать устойчивые режимы горения.*

*Ключевые слова: тепловое излучение, углеродная частица, поглощение, возгорание, воспламенение, погасание.*

**Введение.** Одной из актуальной проблемой обеспечения пожаровзрывобезопасности в рабочей зоне судна является устранение возможных причин зажигания парогазовых смесей легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) углеродными частицами (частицами сажи), которые находятся при комнатной температуре, в частности накалёнными частицами углерода (частицами сажи). Известно, что частицы сажи поглощая тепловое излучение, например от разогретого металла сами разогреваются до высокой температуры и могут быть очагом пожара, т.е. попадая затем в парогазовую смесь (ЛВЖ), могут вызвать её возгорание.

В данной работе проводится анализ малоизученного вопроса о воспламенении и горении углеродной частицы в результате поглощения теплового излучения в воздухе комнатной температуре.

**Целью данной работы** является проведение анализа воспламенения, горения самопроизвольного погасания углеродной частицы в результате поглощения теплового излучения в воздухе.

**Постановка задачи.** Известно, что углеродные частицы в воздухе комнатной температуры нельзя перевести на квазистационарный высокоскоростной режим тепломассообмена. Как отмечалось в [1], в определенных границах исходных параметров системы «частица – газообразная среда» переход на высокоскоростной режим окисления достигается путем увеличения концентрации окислителя и начальной температуры частицы выше критического значения.

При окислении пористой углеродной частицы в сухом воздухе протекают преимущественно параллельные экзотермические гетерогенные реакции с кислородом воздуха:  $C + O_2 = CO_2$  {1};  $2C + O_2 = 2CO$  {2}.

Анализ экспериментальных данных по реагированию углерода с кислородом [2] показал, что энергии активации и предэкспоненциальные множителя для реакций {1} и {2} можно записать как:

$$k_{0i} = k_* \exp(E_i/RT_*), \quad E_2 = 1,1E_1, \quad (1)$$

где  $k_* = 100$  м/с и  $T_* = 2600$  К.



В результате реакций {1} и {2} происходит уменьшение со временем диаметра  $d$  за счет поверхностных реакций и плотности  $\rho_C$  пористой частицы и за счет реагирования внутри пор, согласно уравнениям [1]:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = -\frac{2M_C}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{\rho_{gs}}{\rho_C}C_{O_2s}; \quad d(t=0) = d_b, \quad (2)$$

$$\frac{1}{6}d\frac{\partial \rho_C}{\partial t} = -\frac{M_C}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{k_v}{k_1 + k_2}\rho_{gs}C_{O_2s}; \quad \rho_C(t=0) = \rho_{Cb} \quad (3)$$

$$k_v = \frac{2D_v}{d}(Se_v cth Se_v - 1), \quad Se_v = \sqrt{\frac{F_v d^2(k_1 + k_2)}{4D_v}}, \quad \rho_{gs} = \rho_{g0} \frac{T_0}{T},$$

$$k_1 = k_{01} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad k_2 = k_{02} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right),$$

где  $k_1, k_2$  – константы химических реакций {1} и {2}, м/с;  $k_v$  – константа внутреннего реагирования, м/с;  $C_{O_2s}$  – относительная массовая концентрация кислорода на поверхности частицы;  $D_v$  – коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пор, м<sup>2</sup>/с;  $F_v$  – удельная поверхность пор, м<sup>-1</sup>;  $Se_v$  – число Семенова, определяющее относительную роль химического реагирования на поверхности пор к массопереносу кислорода внутри пор частицы;  $\rho_{gs}$  – плотность газа у поверхности частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $d_b$  – начальный диаметр частицы, м;  $\rho_{Cb}$  – начальная плотность частицы.

Изменение средней по всему объему температуры пористой углеродной частицы определяется тепловыделением в результате протекания химических реакций  $q_{ch}$ , теплообменом частицы с газом  $q_g$  и стенками реакционной установки  $q_w$  и поглощённым тепловым излучением  $q_{h,ads}$ :

$$\frac{c_C \rho_C d}{6} \frac{\partial T}{\partial t} = q_{eff}, \quad T(t=0) = T_b, \quad (4)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_g - q_w + q_{h,ads},$$

где  $c_C$  – удельная теплоёмкость частицы;  $T_b$  – начальная температура частицы.

Плотность химического тепловыделения  $q_{ch}$  в результате поверхностного и внутреннего реагирования определяется тепловыми эффектами и скоростями химических реакций на поверхности и в объеме частицы:

$$q_{ch} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right) \rho_{gs} C_{O_2s},$$

где  $Q_1, Q_2$  – тепловые эффекты химических реакций {1} и {2}, рассчитанные на единицу массы кислорода, Дж/кгО<sub>2</sub>.

Плотность поглощенного теплового излучения определяется интенсивностью излучения  $I$ , коэффициентом поглощения  $K_\alpha$ :



$$q_{h,ads} = \frac{1}{4} K_{\alpha} I,$$

где множитель  $1/4$  является отношение площади миделевого сечения к общей поверхности частицы.

Плотность теплообмена излучением частицы со стенками  $q_w$  описывается законами Кирхгофа и Стефана-Больцмана:

$$q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4),$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент черноты частицы;  $T_w$  – температура стенок, К.

Теплообмен газа с нагретой поверхностью частицы происходит за счет теплопроводности, естественной и вынужденной конвекции и стефановского течения, что учитывается приведенной пленкой:

$$q_g = \alpha(T - T_g) + U_s \rho_{gs} c_g T_*,$$

$$\alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d}, \lambda_g = \lambda_{g0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^n, T_* = \frac{T + T_g}{2}, Nu = 2 + 0,16 Re^{2/3}.$$

Здесь  $T_g$  – температура окружающего газа, К;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена частицы с газом, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_g$  – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К);  $Nu$  – число Нуссельта,  $U_s$  – скорость стефановского течения вблизи поверхности частицы, м/с.

Стефановское течение увеличивает теплоотдачу частицы за счет появления дополнительных масс газов и определяется скоростью химического превращения углерода  $W_C$ :

$$U_s \rho_{gs} = W_C = \frac{M_C}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left( \frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) \rho_{gs} C_{O_{2s}}.$$

В тоже время, стефановское течение для случая окисления углеродной частицы ухудшает массоперенос кислорода к поверхности частицы, где концентрация кислорода приближенно определяется согласно выражению [3]:

$$C_{O_{2s}} = C_{O_{2\infty}} \frac{1}{1 + Se}, \quad (5)$$

$$Se_{s1} = \frac{k_1 \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, \quad Se_{s2} = \frac{k_2 \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, \quad Se_{sv} = \frac{k_v \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, \quad Se_{sf} = \frac{U_{sk} \rho_{gs}}{\beta \rho_g};$$

$$U_{sk} = \frac{M_C}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left( \frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) C_{O_{2\infty}}, \quad \beta = \frac{D_g Nu}{d} = \frac{\alpha}{\rho_g c_g}, \quad D_g = a_g,$$

$$a_g = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g}, \quad c_g = c_{g0} + \Omega(T_* - T_0), \quad \rho_g = \rho_{g0} \frac{T_0}{T_*}.$$

Здесь  $U_{sk}$  – скорость стефановского течения на поверхности углеродной частицы при протекании химических реакций в кинетической области;  $C_{O_{2\infty}}$  – относительная массовая концентрация кислорода в газе на удалении от частицы;  $\beta$  – коэффициент



массопереноса кислорода в газе, м/с;  $c_g$ ,  $\rho_g$  – удельная теплоемкость и плотность газа внутри приведенной пленки.

Числа Семенова  $Se_{s1}$ ,  $Se_{s2}$ ,  $Se_{sv}$ ,  $Se_{sf}$  определяют роль  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_v$ ,  $U_{sk}$  по отношению к коэффициенту массопереноса окислителя к поверхности частицы.

Концентрации углекислого и угарного газов у поверхности частицы  $Z_{CO_2,s}$  и  $Z_{CO,s}$ , соответственно, определяются через концентрацию кислорода [5]:

$$Z_{CO_2,s} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} k_1 \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \left( \frac{1}{\beta + U_{s0}} \right) Z_{O_2,s}, \quad (6)$$

$$Z_{CO,s} = \frac{2M_{CO}}{M_{O_2}} \frac{k_2}{(\beta + U_{s0})} \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) Z_{O_2,s}. \quad (7)$$

Для случая горизонтального движения углеродной частицы в газовой смеси изменение ее скорости определяется:

$$\frac{dU}{dt} = -18 \frac{\rho_g}{\rho} \frac{v_g^2}{d^3} \operatorname{Re} \left( 1 + \frac{\operatorname{Re}^{2/3}}{6} \right), \quad U(t=0) = U_b, \quad (8)$$

где  $v_g$  – кинематическая вязкость газа.

**Анализ влияния мощности поглощенного теплового излучения.** Рассмотрим одиночную пористую углеродную частицу, которая поглощает лазерное излучение. Расчеты, для примера, проводились для частицы сажи при следующих параметрах:  $Q_1 = 12,343$  МДж/кг $O_2$ ,  $Q_2 = 6,844$  МДж/кг $O_2$ ;  $E_1 = 167000$  Дж/моль [2];  $D_v = 7,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с [4],  $F_v = 2 \cdot 10^5$  м<sup>-1</sup>. Постоянные:  $\rho_{g0} = 0,277$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_{g0} = 8,19 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К);  $C_{g0} = 1110$  Дж/(кг·К);  $T_0 = 1273$  К;  $C_c = 780$  Дж/(кг·К);  $\rho_{cb} = 525$  кг/м<sup>3</sup>;  $U_b = 0$  м/с;  $\rho_{g0} = 0,277$ ;  $\varepsilon = 0,78$ ;  $n = 0,75$ ;  $\rho_{g0} = 0,277$ ;  $K_\alpha = 0,35$ . Используя (1), было получено  $E_2 = 183700$  Дж/моль,  $k_{01} = 22,7 \cdot 10^4$  м/с,  $k_{02} = 49,3 \cdot 10^4$  м/с.

На рис. 1 представлены результаты решения системы (2) – (4), (8) в виде временных зависимостей температуры, диаметра, временной производной температуры и плотности пористой частицы при разных ее начальных температурах для случая ее вынужденного воспламенения при поглощении теплового излучения, использованы параметры:  $d_b = 190$  мкм,  $T_g = T_w = 293$  К,  $C_{0_2\infty} = 0,23$ ,  $U_b = 0$  м/с,  $T_b = 293$  К.

1)  $q_{h,ads} = 0,2 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, 2)  $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>. о – эксперимент Букатого и Суторихина [5].

Анализ показал, что углеродная частица в воздухе комнатной температуры (рис. 1, кривая 1) самопроизвольно не может перейти на высокотемпературные режимы окисления. Для возникновения горения необходимо направить на частицу излучение с интенсивностью выше некоторого критического значения (рис. 1, кривые 2).

Период индукции  $t_{ind}$  и время начала горения определялось условием:

$$\frac{c_c \rho_c d}{6q_{ch}} \frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{t=t_{ind}} = 1 - \frac{q_g + q_w}{q_{ch}} = 0.05.$$

Выбор этого условия за окончание периода индукции обусловлено достижением температуры частицы значения достаточно близкого к стационарному для текущего диаметра. Это согласуется с экспериментальным нахождением начала горения по моменту достижения постоянной яркости частицы [6]. Для рассматриваемого случая поглощения



теплогового излучения этот момент совпадает с максимальной температурой горения углеродной частицы (точка m).

Уменьшение диаметра и плотности частицы в процессе горения приводит к медленному падению квазистационарной температуры горения. С уменьшением диаметра углеродной частицы возрастает молекулярно-конвективный теплообмен единицы поверхности за счет увеличения коэффициента теплообмена. И в этом случае химическое тепловыделение за счет увеличения коэффициента массопереноса кислорода к единице поверхности частицы возрастает в меньшей степени.

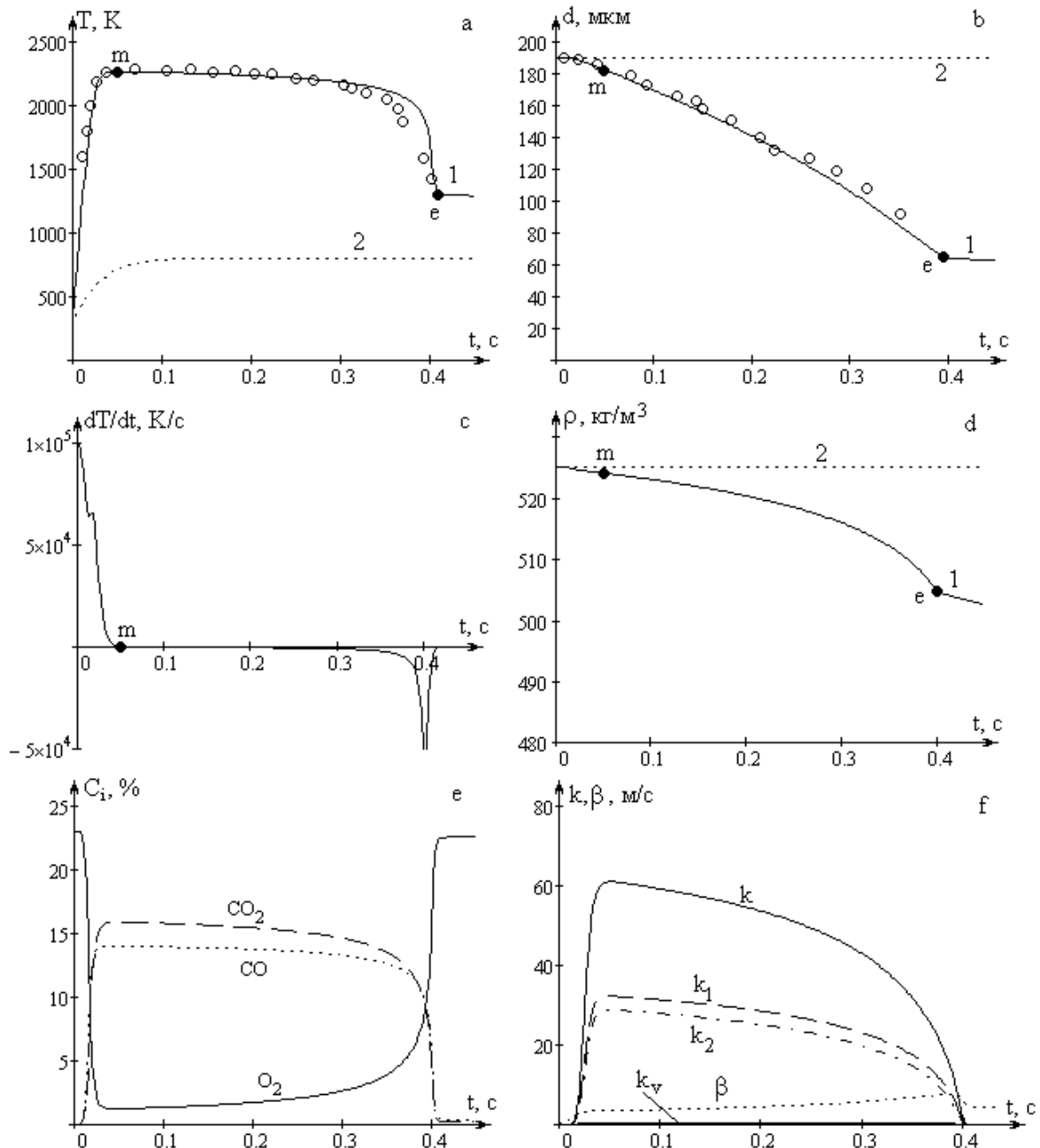


Рисунок 1 – Временные зависимости: а) температуры, б) диаметра сажаистой частицы, в) временной производной температуры, д) плотности частицы, е) концентраций газообразных компонентов, ф) констант химических реакций

При достижении критических значений  $d_e$  и  $\rho_e$  резко уменьшалась температура частицы, и пористая углеродная частица самопроизвольно погасала. Длительность стадии от начала квазистационарного высокотемпературного окисления (точка m) до момента



самопроизвольного погасання (т.е, минимум на временной производной температуры определяется как:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_e < 0, \quad \left. \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \right|_e = 0, \quad \left. \frac{\partial^3 T}{\partial t^3} \right|_e > 0,$$

время горения  $t_{bur}$ .

Времена горения частиц с диаметром более 100 мкм превышают характерные времена зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ.

На стадии горения общее число Семенова монотонно уменьшается. Самопроизвольное погасание частицы происходит практически в кинетическом режиме ( $Se < 0,25$ , рис. 1f). При полученных высоких температурах образование оксида CO и диоксида CO<sub>2</sub> углерода на поверхности частицы идет с соизмеримыми скоростями (рис. 1e).

Из-за относительно малого вклада в общее тепловыделение реагирования внутри пор частицы при высоких температурах, температура горения пористой частицы слабо зависит от пористости частицы. Общее тепловыделение на поверхности частицы в режиме высокотемпературного окисления более чем в 8 раз превышает тепловыделение внутри частицы. Дополнительное исследование временных зависимостей (рис. 1) показало, что число Семенова  $Se_v$  на протяжении всего процесса изменяется от 10<sup>4</sup> до 10 (при  $F_v = 2 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ ). Это позволяет представить константу внутреннего реагирования  $k_v$  в виде:

$$k_v \approx \sqrt{F_v D_v (k_1 + k_2)},$$

что означает независимость ее от размера частицы.

В этом случае из условия стационарности  $q_{eff} = 0$ , которое можно представить в виде:

$$\begin{aligned} & (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) C_{O_2 \infty} \rho_{gs} \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) (1 + Se)^{-1} = \\ & = \frac{1}{Se} (k_1 + k_2 + k_v + U_{sk}) \rho_{gs} c_g (T - T_g) + \frac{1}{2} U_s c_g \rho_{gs} (T + T_g) (1 + Se)^{-1} + q_w - q_{h,abs}. \end{aligned}$$

Нетрудно получить зависимость диаметра частицы углерода от ее стационарной температуры, описывающую критические и устойчивые режимы тепломассообмена, в виде зависимостей (рис. 2):

$$d = \frac{\lambda_g Nu}{q_{ch,m}} \cdot \frac{T - T_g}{\left( A^2 + \sqrt{A^2 - A_g A_w} \right)}, \quad (9)$$

$$q_{ch,m} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} C_{O_2 \infty}, \quad A_g = \frac{c_g \rho_{gs} (k_1 + k_2 + k_v) (T - T_g)}{q_{ch,m}},$$

$$A_w = \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) - \frac{1}{4} K_\alpha I}{q_{ch,m}}, \quad A_{st} = \frac{1}{2} \frac{U_{sk} \rho_{gs} c_g (T + T_g)}{q_{ch,m}}, \quad A = \frac{1}{2} (1 - A_g - A_w - A_{st}).$$

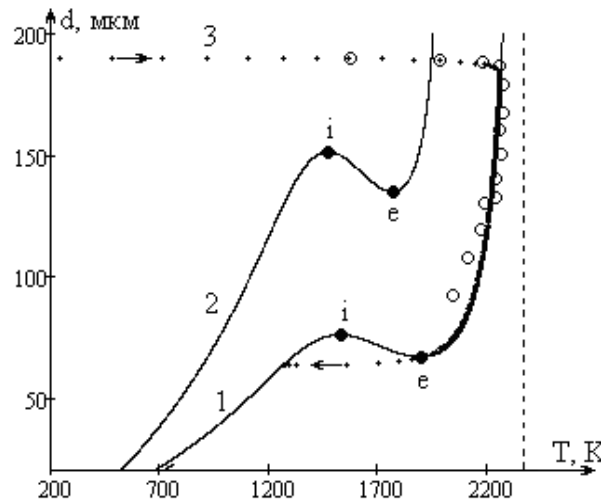


Рисунок 2 – Стационарные температурные зависимости диаметра частицы в воздухе комнатной температуры  $T_g = T_w = 293\text{ K}$ ,  $C_{0, \infty} = 0,23$  при мощности поглощенного теплового излучения:

1 – стационарная зависимость (6),  $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$ , 2 – стационарная зависимость (6),  $q_{h,ads} = 0,7 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$ , 3 – нестационарная зависимость при  $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$  (см. рис. 1); о – эксперимент Букатого и Суторихина [5],  $I = 1,6 \cdot 10^7\text{ Вт/м}^2$ ,  $K_\alpha = 0,35$

Величины  $A_g$ ,  $A_w$  и  $A_{st}$  определяют роль различных механизмов теплообмена частицы с окружающими телами (теплообмен с окружающим газом молекулярно-конвективным путем, теплообмен излучением со стенками и теплообмен за счет стефановского течения) по отношению к химическому тепловыделению.

Критические параметры, характеризующие самопроизвольные переходы с низкотемпературных на высокотемпературные режимы тепломассообмена (точки *i* и *e*), определяются системой:

$$\begin{cases} q_{eff} = 0 \\ \frac{\partial q_{eff}}{\partial T} = 0 \end{cases}$$

Изменение диаметра частицы в стационарном состоянии приводит к изменению ее стационарной температуры. Для сохранения условия стационарности необходимо, чтобы выполнялось равенство:

$$\frac{\partial q_{eff}}{\partial T} \partial T + \frac{\partial q_{eff}}{\partial d} \partial d = 0 \text{ или } \frac{\partial d}{\partial T} = - \frac{\partial q_{eff} / \partial T}{\partial q_{eff} / \partial d}$$

То есть в критических точках самовоспламенения и погасания  $\partial d / \partial T|_{i,e} = 0$ . Это дает возможность при изучении критических переходов на высокотемпературные режимы окисления анализировать условия потери стационарности путем исследования зависимости диаметра частицы от ее стационарной температуры.

Сравнение нестационарных и стационарных зависимостей диаметра частицы от ее температуры (рис. 2) дает возможность для заданной интенсивности теплового излучения объяснить и определить критическое значение диаметра при самопроизвольном воспламенении и погасании частицы по зависимостям (9). Самовоспламенение углеродной частицы при данных условиях возможно при диаметре частицы  $d > d_i$ . Диаметр в точке *e* на стационарной зависимости (9) может служить для оценки диаметра частицы при ее самопроизвольном погасании.



Уменьшение мощности поглощенного излучения существенно отражается на температурах горения. Так ее уменьшение в два раза понижает температуру горения около 300 К. Понижается и температура низкотемпературного окисления (часть зависимости левее точки i). При этом происходит возрастание и минимального размера частицы, которая может самопроизвольно воспламениться, а также диаметра погасания. Различие между ними с уменьшением поглощенного излучения уменьшается. В итоге при некотором значении  $q_{h,ads}$  происходит вырождение критических условий.

Влияние концентрации кислорода на критические условия самовоспламенения удобно определить, проанализировав зависимость концентрации кислорода от стационарной температуры (рис. 3), полученной из (4):

$$C_{O_2} = \frac{(\beta \rho_{gs} c_g (T - T_g) + q_w - q_{h,abs})(1 + Se)}{\left( Q_1 k_1 + Q_2 k_2 - \frac{M_c}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) c_g T^* \right) \rho_{gs} \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right)}$$

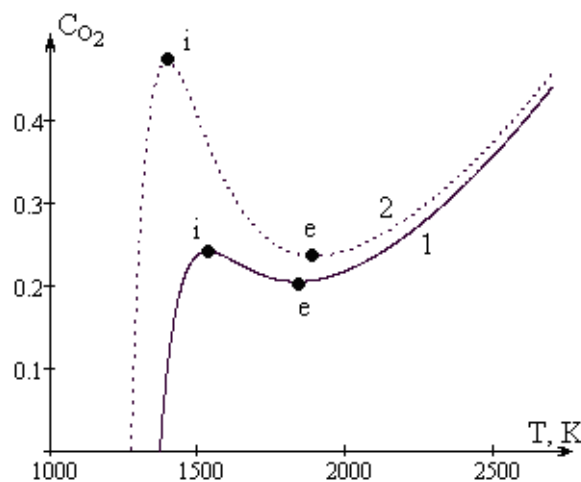


Рисунок 3 – Стационарные температурные зависимости концентрации кислорода в газе комнатной температуры  $T_g = T_w = 293$  К для частицы диаметром 76 мкм при мощности поглощенного теплового излучения: 1)  $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, 2)  $q_{h,ads} = 1,2 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>

Аналогично, как и на зависимости диаметра частицы от ее температуры, критические условия самовоспламенения и погасания соответствуют экстремумам на данной зависимости (рис. 3) условиями:

$$\left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial T} \right|_{i,e} = 0.$$

Стоит отметить сильную зависимость критического значения концентрации кислорода от мощности поглощенного излучения.

**Выводы.** Поглощение теплового излучения способно привести к устойчивому горению углеродной частицы достаточно длительное время, на протяжении которого возможно возникновение зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ. Показана возможность использования стационарных зависимостей диаметра частицы и концентрации кислорода от температуры частицы для прогнозирования устойчивых режимов горения, а также критических условий самопроизвольного воспламенения и погасания углеродных частиц. Превышение времен горения углеродных частиц при поглощении ей теплового излучения над временами зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ, говорит о их высокой пожарной опасности. Поэтому необходимы дальнейшие исследования критических условий самовоспламенения таких частиц.





## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин В. В. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры / В. В. Калинин, А. С. Черненко // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 2. – С. 80-88.
2. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / под ред. В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отд-ние, 1986. – 312 с.
3. Калинин В. В. Влияние температуры и диаметра пористых углеродных частиц на кинетику химических реакций и тепломассообмен с воздухом / В. В. Калинин, О. Н. Зуй, С. Г. Орловская // Теплофизика высоких температур. – 2005. – Т. 43, № 5. – С. 780-788.
4. Курятников В. В. Роль поверхностных свойств диспергированного угля в процессах его воспламенения / В. В. Курятников // Физика горения и взрыва. – 1983. – Т.19, № 5. – С. 18-21.
5. Букатый В. И. Высокотемпературное горение углеродных частиц в поле интенсивного лазерного излучения / В. И. Букатый, И. А. Суторихин // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 3. – С. 9-11.
6. Бабий В. И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В. И. Бабий, Ю. Ф. Куваев. – М., 1986. – 289 с.

**Калинчак В.В., Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Черненко А.С.** ВПЛИВ ПОГЛИНЕНОГО ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ ЧАСТКИ НА ПОЖЕЖНУ НЕБЕЗПЕКУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ СУДНА

*У роботі розглянутий вплив поглиненого теплового випромінювання вуглецевої частки на її критичні умови мимовільного займання й загасання. Проведений аналіз тимчасових залежностей температури, діаметра й щільності вуглецевої частки при поглинанні теплового випромінювання. Показано, що частки вуглецю (сажа) поглинаючи теплове випромінювання самі розігріваються до високої температури, що може привести до їхнього стійкого горіння, а потрапляючи, наприклад, у парогазову суміш легкозаймистої рідини, можуть викликати її загорання. Порівняння зі стаціонарною залежністю діаметра частки від температури частки дозволяє прогнозувати стійкі режими горіння.*

*Ключові слова: теплове випромінювання, вуглецева частка, поглинання, загорання, займання, загасання.*

**Kalinchak V.V., Selivanov S.E., Trigub S.N., Chernenko A.S.** INFLUENCE OF THE CARBON PARTICLE ABSORBED THERMAL RADIATION TO THE FIRE EMERGENCY IN THE SPIP'S WORKING AREA

*This work considers influence of the carbon particle absorbed thermal radiation on its critical self-ignition and self-quenching conditions. The analysis of the temperature time dependency, diameter and carbon particle density at absorption of thermal radiation was held. It is proved that carbon particles (soot) at absorption of thermal radiation heat up by themselves to the high temperatures which can lead to their steady combustion. When, for instance, carbon particles get into steam-gas mixture of highly inflammable liquid (HIL) an ignition can occur. Comparison with the particle diameter time-independent behavior from particle temperature allows making predictions of burning steady modes.*

*Keywords: thermal radiation, carbon particle, absorption, ignition, combustion, quenching.*

Статтю прийнято  
до редакції 22.11.2013