

---

---

## ТЕПЛОМАССООБМЕН

---

---

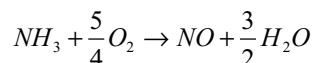
УДК 536.46: 662.612

*B. В. Калинчак, Е. Р. Зямилев,  
A. Н. Софонков, Ю. Б. Заднипраный*

### **Высокотемпературные и гистерезисные режимы окисления аммиака на платиновой проволоке**

*Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова  
Университет Ополе, Польша*

Выявлен механизм высокотемпературных и гистерезисных режимов тепло- массообмена и гетерогенно-катализитических реакций окисления аммиака на платиновой проволоке в зависимости от силы тока и концентрации аммиака в воздухе. Установлено, что в высокотемпературном режиме её температура и напряжение на ней, определяется тепловыделением в результате химической реакции



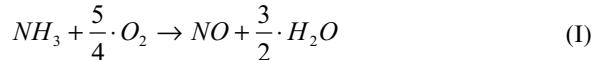
#### **1. Введение**

Актуальной проблемой в наше время является разработка надежных методов определения малых содержаний горючих газообразных веществ в воздухе. К таким методам относятся термохимические, основанные на определении и использовании мощности химического тепловыделения или температуры катализатора в зависимости от концентрации горючего вещества в воздухе. Важным также является проблема каталитического окисления аммиака, являющегося продуктом гниения органических отходов на свалках. Для разработки оптимальных режимов работы термохимических газоанализаторов и установок аэрозольного катализа, необходима детальная информация о механизме взаимовлияния кинетики гетерогенно-катализитических реакций окисления аммиака и тепломассообмена катализатора с газовой смесью.

Недостаточно изучен вопрос об устойчивых высокотемпературных и двузначных гистерезисных режимах кинетики гетерогенно-катализитической реакции окисления аммиака и тепломассообмена катализатора (платина) с воздушно-аммиачной смесью при малых содержаниях аммиака.

Известно, что окисление аммиака может происходить с образованием

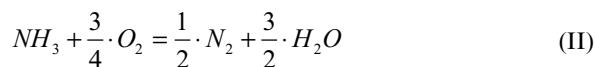
окиси азота. Реакция окисления аммиака в воздухе на платиновой нити катализатора может идти согласно уравнению [1]:



Тепловой эффект реакции (I), рассчитанный на единицу массы, равен

$$Q_{NH_3} = 13.3 \cdot 10^6 \frac{\Delta \mathcal{H}}{\kappa_2 NH_3}.$$

Возможно более полное окисление аммиака с большим тепловым эффектом:



Тепловой эффект реакции (II), рассчитанный на единицу массы, равен

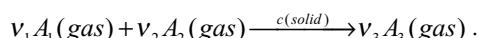
$$Q_{NH_3} = 18.62 \cdot 10^6 \frac{\Delta \mathcal{H}}{\kappa_2 NH_3} [2].$$

Вопросы о механизме высокотемпературного гетерогенного окисления  $NH_3$  на поверхности твердого катализатора и о теплообмене излучением проволоки катализатора со стенками реакционной установки до сих пор изучены недостаточно [3].

Целью данной работы являлось выявление механизма высокотемпературных и гистерезисных режимов тепломассопереноса и кинетики гетерогенно-катализитических реакций на платиновой проволоке, а так же предположение схемы химической реакции, по которой идет окисление аммиака на платиновой проволоке и выяснение роли теплообмена излучением.

## **2. Нестационарный тепломассоперенос и кинетика гетерогенно-катализитических реакций на поверхности проволочки (катализатор).**

Пусть на поверхности твердого катализатора протекает гетерогенно-катализитическая окислительная реакция:



Плотность мощности химического тепловыделения определяется тепловым эффектом  $Q_a$  реакции и прямопропорциональна скорости химической реакции  $W_a$ ,

$$q_{ch}(T, C_a) = Q_a \cdot W_a(T, C_a), \quad (1)$$

где  $Q_a$  — тепловой эффект реакции,  $\frac{\Delta \mathcal{H}}{\kappa_2}$ ;  $W_a$  — скорость химической реакции

ции по активному компоненту,  $\frac{\kappa^2}{M^2} \cdot C_a$ ;  $C_a$  — относительная массовая концентрация активного компонента (активным компонентом является аммиак),  $q_{ch}$  — плотность мощности химического тепловыделения,  $\frac{Bm}{m^2}$ .

Скорость гетерогенной реакции по активному компоненту, находящемуся в недостатке, пропорциональна относительной массовой концентрации активного компонента (закон действующих масс):

$$W_a(T, C_a) = k(T) \cdot \rho_{gs}(T) \cdot C_{as}. \quad (2)$$

Константа скорости химической реакции увеличивается с ростом температуры по закону Аррениуса

$$k(T) = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \quad (3)$$

Здесь  $k$ ,  $k_0$  — соответственно константа скорости химической реакции и предэкспоненциальный множитель,  $\frac{M}{c}$ ;  $E$  — энергия активации,  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ ;  $R = 8,31$  — универсальная газовая постоянная,  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ;  $T$  — температура поверхности катализатора,  $K$ .

Плотность газовой смеси в (3) берется при температуре катализатора

$$\rho_{gs}(T) = \rho_{g0} \left( \frac{T_0}{T} \right) \cdot \frac{P}{P_0},$$

$\rho_{gs}$ ,  $\rho_{g0}$  — плотность газовой смеси  $\frac{\kappa^2}{M^3}$ ;  $P$  — давление газовой смеси,  $Pa$ , при  $T_0 = 273,15K$ ,  $P_0 = 1.013 \cdot 10^5 Pa$ .

Выражение для плотности массового потока активного компонента молекулярно-конвективным путем и путем термодиффузии на поверхности нити катализатора представим в виде:

$$j_a = \beta_a \cdot \rho_g \left( (C_a - C_{as}) + \frac{k_r}{T_*} (T - T_g) \cdot L u^m \cdot \frac{M_a}{M_g} \right),$$

$$\rho_g = \rho_{g0} \cdot \left( \frac{T_0}{T_*} \right) \cdot \frac{P}{P_0}, \quad \beta_a = \frac{D_a \cdot Sh}{d}, \quad D_a = D_0 \left( \frac{T_*}{T_0} \right)^n \cdot \frac{P_0}{P},$$

$$Lu = \frac{D_a}{a_g}, \quad T_* = \frac{T + T_g}{2} [4, 8],$$

где  $d$  — диаметр нити катализатора,  $m$ ;  $V_g$  — кинематическая вязкость газа,  $\frac{m^2}{c}$ ;  $a_g$  — коэффициент температуропроводности,  $\frac{m^2}{c}$ ;  $\beta_a$  — коэффициент массообмена,  $\frac{M}{c}$ ;  $M_a$  — молярная масса активного компонента,  $\frac{\kappa\sigma}{моль}$ ;  $M_g$  — молярная масса газа,  $\frac{\kappa\sigma}{моль}$ ;  $D_a$ ,  $D_0$  — соответственно коэффициент диффузии при  $T_*$  и  $T_0$ ,  $Lu$  — критерий Льюиса,  $k_T$  — термо-диффузионное соотношение;  $Sh$  — критерий Шервуда.

Определим поверхностную относительную массовую концентрацию активного компонента. Для этого скорость химической реакции, протекающей на поверхности проволоки, приравняем плотности массового потока активного компонента, поступающего к этой поверхности:

$$W_a = j_a.$$

Используя (3) и (5) получим уравнение относительно  $C_{as}$  в виде:

$$k \cdot \rho_{gs} \cdot C_{as} = \beta_a \cdot \rho_g \left( (C_a - C_{as}) + \frac{k_T}{T_*} (T - T_g) \cdot Lu^m \cdot \frac{M_a}{M_g} \right). \quad (4)$$

Решение уравнения (5) представим в виде:

$$C_{as} = (C_a + \Delta C_a) \left( 1 + \frac{k \cdot \rho_{gs}}{\beta_a \cdot \rho_g} \right) = (C_{ag} + \Delta C_a) \cdot (1 + Se_s)^{-1}, \quad (5)$$

где  $Se_{\beta,k}$  — число Семенова, которое называется диффузионно-кинетическим отношением,

$$Se_{\beta,k} = \frac{k \cdot \rho_{gs}}{\beta_a \cdot \rho_g}.$$

Подставляя  $C_{as}$  из (6) в (2), затем в (1), получим плотность химического тепловыделения в результате протекания гетерогенной каталитической реакции на поверхности нити катализатора:

$$q_{ch} = Q_a \cdot k \cdot \rho_{gs} (C_a + \Delta C_a) (Se_s + 1)^{-1}. \quad (6)$$

Температура катализатора в зависимости от времени в общем виде, определяется из решения задач теплопроводности, диффузии и химической кинетики.

Градиентом температуры по поперечному сечению нити катализатора можно пренебречь, так как оценка критерия Bio дает  $Bio \ll 1$ . В этом случае увеличение температуры проволочки катализатора с течением времени определяется суммой плотности химического и джоулева тепловыделения. Уменьшение происходит в результате теплоотдачи окружающим телам (газу и стенкам реакционной установки). Пренебрегая распределением температуры по длине проволоки и по ее сечению, представим уравнение теплового баланса данной проволоки в виде:

$$\frac{1}{4} c_c \rho_c d \frac{dT}{dt} = q_{ef},$$

$$T(t=0) = T_b, \quad q_{ef} = q_{ch} - q_h, \quad (7)$$

где  $c_c$  — удельная теплоемкость нити катализатора,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;  $\rho_c$  — плотность нити катализатора,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $d$  — диаметр нити катализатора,  $\text{м}$ ;  $q_{ef}$  — эффективная плотность мощности,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;  $q_h$  — эффективная плотность теплового потока, включающая различные механизмы теплоотвода и подогрев катализатора за счет джоулева тепловыделения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ . Формально суммарную плотность теплового потока определим выражением:

$$q_h = q_g + q_w + q_l - q_J, \quad (8)$$

где  $q_g$  — плотность теплового потока, характеризующая теплообмен с газом,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;  $q_w$  — плотность теплового потока, характеризующая теплообмен со стенками реакционной установки,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Определим слагаемые входящие в (9). С учетом диффузационной теплопроводности выражение для  $q_g$  представляет закон Ньютона-Рихмана в виде:

$$q_g = \alpha \cdot (T - T_g) + \frac{P}{C_*} \cdot k_T \cdot \beta_a \cdot (C_a - C_{aS}),$$

$\alpha = \frac{\lambda_g \cdot Nu}{d}$  — коэффициент теплообмена нити катализатора с газом,

$$\frac{Bm}{m^2 K};$$

$C_* = \frac{C_a + C_{as}}{2}$  — среднеарифметическое значение концентрации,  $Nu$  — критерий Нуссельта. Как показывают оценки, вклад диффузионной теплопроводности мал. Поэтому в дальнейшем пренебрежем ее влиянием, будем использовать для  $q_g$  классическое выражение:

$$q_g = \alpha \cdot (T - T_g) = \frac{\lambda_g \cdot Nu}{d} \cdot (T - T_g). \quad (9)$$

Второе слагаемое в (8) характеризует плотность теплового потока излучением, описываемое совместными законами Кирхгофа и Стефана–Больцмана:

$$q_w = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_w^4), \quad (10)$$

где  $\varepsilon$  — интегральный коэффициент излучательной способности платины;

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ — постоянная Стефана–Больцмана, } \frac{Bm}{m^2 K^4};$$

$T_w$  — температура стенок реакционной установки,  $K$ . Коэффициент черноты  $\varepsilon$  для платины меняется в интервале  $\varepsilon = 0,07 \div 0,18$  при изменении температуры  $T = 473 \div 1648 K$  [5, 6].

В табл. 1 и 2 приведены значения силы тока, температуры, критерия Семенова и плотностей тепловыделения в критических точках. Из таблиц видно, что значение теплообмена излучением катализатора со стенками реакционной установки значительно меньше, чем теплообмен с газом, плотность мощности джоулева и химического тепловыделения. Следовательно, в формуле (8) и в дальнейших расчетах значением  $q_w$  можно пренебречь.

Таблица 1

$C_{ap} = 3,1\%$	$I, A$	$T, K$	$q_w, \frac{Bm}{m^2}$	$q_j, \frac{Bm}{m^2}$	$q_g, \frac{Bm}{m^2}$	$q_{ch}, \frac{Bm}{m^2}$	$Se$
<b>i</b>	0.67	459	315	30800	33850	3369	0.07
<b>e</b>	0.27	543	677	5861	55870	50690	16

Таблица 2

$C_{ap} = 5,2\%$	$I, A$	$T, K$	$q_w, \frac{Bm}{M^2}$	$q_j, \frac{Bm}{M^2}$	$q_g, \frac{Bm}{M^2}$	$q_{ch}, \frac{Bm}{M^2}$	$Se$
<b>i</b>	0.66	435	242	27780	28050	504	0.01
<b>e</b>	—	—	—	—	—	—	—

Графический анализ показал, что роль теплообмена излучением незначительна, и, поэтому, в дальнейших расчетах этим слагаемым можно пренебречь.

Плотность теплового потока, отводимого через концы нити катализатора  $q_l$ , определим его приближенно как:

$$q_l = \frac{3 \lambda_c (T - T_g)}{L} \left( \frac{d}{L} \right), \quad (11)$$

где  $\lambda_c$  — коэффициент теплопроводности нити катализатора,  $\frac{Bm}{MK}$ ,  $L$  — длина проволоки,  $m$ .

Плотность джоулема тепловыделения в результате нагрева нити катализатора электрическим током:

$$q_j = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot L}, \quad (12)$$

где  $P = I^2 \cdot R_{el}(T)$  — мощность электрического тока,  $Bm$ ;  $I$  — сила тока протекающего по нити катализатора,  $A$ .

$$R_{el}(T) = \frac{4L}{\pi \cdot d^2} \cdot \eta(T), \quad (13)$$

$$\eta(T) = \eta_0 [1 + \Omega(T - T_o)], \quad (14)$$

где  $R_{el}(T)$  — электрическое сопротивление нити катализатора,  $Om$ ,  $\eta$  — удельное сопротивление,  $Om \cdot m$ ,  $\eta_0$  — удельное сопротивление при  $T_o$ ,  $\Omega$  — температурный коэффициент,  $K^{-1}$ .

### 3. Анализ стационарных состояний и их устойчивости

Условие стационарности представляется в виде зависимости силы тока  $I$ , определяющей высокотемпературные и гистерезисные режимы ТМО, от стационарной температуры платиновой проволоки при постоянной концентрации аммиака ( $C_a$ ) в воздухе (рис.1(a, b)).

Исследуем зависимость  $I(T)$  при  $C_a = \text{const}$ . Из условия стационарности  $q_{ef} = 0$  имеем:

$$I^2(T) = \frac{\pi^2 \cdot d^3}{4\eta(T)} \cdot \left[ \frac{\lambda_g(T) \cdot Nu}{d} \cdot (T - T_g) + q_w(T) - q_{chm}(T) \cdot \frac{C_{ap}}{100} \cdot \frac{M_g}{M_a} \right], \quad (15)$$

где  $q_{chm}(T) = Q_a \cdot \rho_{g,s}(T) \cdot k(T) \cdot (1 + Y_{td}) \cdot (1 + Se(T))^{-1}$ , (16)

$$k(T) = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right), \quad Se(T) = \frac{k(T) \cdot \rho_{gs}(T)}{\beta(T) \cdot \rho_g(T)}, \quad Y_{td} = \frac{\Delta C_a}{C_{ag}},$$

$$Nu = Sh = 1.18(Gr, Pr)^{0.125}, \quad Gr = \frac{gd^3}{V^2} \cdot \frac{(T - T_g)}{T_0}, \quad Pr = \frac{V_g}{a_g}.$$

Где  $C_{ap}$  — процентная молярная концентрация активного компонента (аммиака),  $V_g$  — коэффициент кинематической вязкости газовой смеси,  $\frac{m^2}{c}$ .

Для аммиака  $Y_{td} = 0$ .

Зависимости  $q_{ef}(T)$ ,  $I(T)$  анализировались для воздушно-аммиачных смесей с малым количеством аммиака. Расчеты проводились при следующих параметрах:

1) Физические свойства сухого воздуха определяются выражениями [6]:

$$\rho_g = \rho_{g0} \left( \frac{T_0}{T} \right) \cdot \left( \frac{P}{P_0} \right), \quad c_g = c_{g0} + 0,18(T_* - T_0), \quad \lambda_g = \lambda_{g0} \left( \frac{T_*}{T_0} \right)^{0.82},$$

где  $\rho_{g0}$ ,  $c_{g0}$ ,  $\lambda_{g0}$  — значения плотности, теплоемкости, коэффициента теплопроводности газа при температуре газовой смеси  $T_0 = 273,15$  К и давлении  $P_0 = 1$  атм.

$\rho_{g0} = 1.293 \frac{\kappa\sigma}{m^3}$ ;  $c_{g0} = 1005 \frac{\text{Дж}}{\kappa\sigma \cdot K}$ ;  $\lambda_{g0} = 0.024 \frac{Bm}{m \cdot K}$ ; для сухого воздуха;

2)  $D_{a,0} = 0.188 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c}$  — коэффициент диффузии аммиака в воздухе;

3)  $E = 139000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ ,  $k_0 = 13,3 \cdot 10^{13} \frac{m}{c}$ ;

$$4) Q_a = 13.3 \cdot 10^6 \frac{\Delta \text{ж}}{\kappa_2 N H_3} \text{ для реакции } NH_3 + \frac{5}{4} \cdot O_2 \rightarrow NO + \frac{3}{2} \cdot H_2O$$

$$Q_a = 18.62 \cdot 10^6 \frac{\Delta \text{ж}}{\kappa_2 N H_3} \text{ для реакции } NH_3 + \frac{3}{4} \cdot O_2 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot N_2 + \frac{3}{2} \cdot H_2O ;$$

$$5) \eta_0 = 9.81 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}, \Omega = 39.27 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1} ;$$

$$6) L = 10.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}, d = 10^{-4} \text{ м} .$$

Из условия стационарности:  $q_{ef}(T, I) = 0$ , докажем, что максимум функции  $I(T)$ , характеризует критический переход на высокотемпературный режим, а минимум  $I(T)$  — на режим низкотемпературного окисления. Пусть стационарные состояния образуются в результате изменения  $I$ , что приводит к изменению температуры катализатора.

Совокупность этих стационарных состояний описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial q_{ef}}{\partial T} \partial T + \frac{\partial q_{ef}}{\partial I} \partial I = 0. \quad (17)$$

Выделим из этих состояний неустойчивые, которые определяются касанием кривой  $q_{ef}(T)$  и оси, на которой  $q_{ef}(T) = 0$  (рис. 1 (a)):

$$q_{ef} = 0, \left. \frac{\partial q_{ef}}{\partial T} \right|_{i,e} = 0, \left. \frac{\partial^2 q_{ef}}{\partial T^2} \right|_i > 0, \left. \frac{\partial^2 q_{ef}}{\partial T^2} \right|_e > 0. \quad (18)$$

Разделим (18) на  $\partial T$ , в результате получим

$$\frac{\partial q_{ef}}{\partial T} = - \frac{\partial q_{ef}}{\partial I} \cdot \frac{\partial I}{\partial T}, \quad (19)$$

$$\text{где } \frac{\partial q_{ef}}{\partial I} = \frac{8 \cdot I \cdot \eta(T)}{\pi^2 \cdot d^3}$$

Так как  $\frac{\partial q_{ef}}{\partial I} \neq 0$  и  $\frac{\partial q_{ef}}{\partial T} = 0$  то из (20) следует, что функция  $I(T)$  в точке **i** имеет максимум и в точке **e** — минимум, то есть

$$\left. \frac{\partial I}{\partial T} \right|_{i,e} = 0 \text{ при } C_a = \text{const} .$$

Используя (19) и (20) нетрудно доказать, что

$$\left. \frac{\partial^2 I}{\partial T^2} \right|_i < 0 \quad \left. \frac{\partial^2 I}{\partial T^2} \right|_e > 0,$$

то есть т. **i** характеризует зажигание, а т. **e** — потухание.

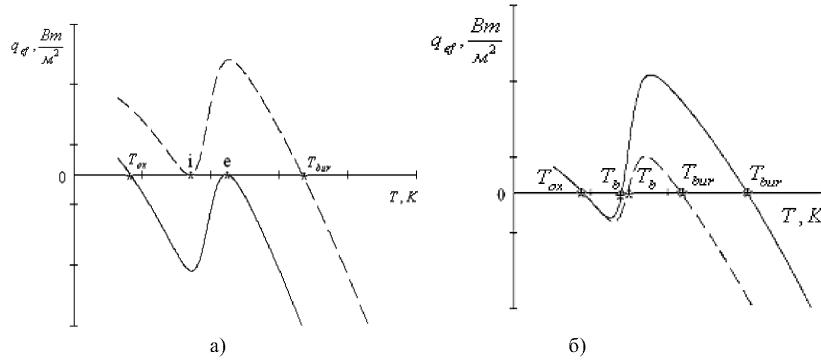


Рис. 1 (а). Зависимость  $q_{ef}(T)$  при  $Ca = 3.1\%$

— — —  $I_i = 0.68 A$ , т. **i** — точка зажигания,  $T_{bur}$  — температура горения. — — —  $I_e = 0.27 A$ , т. **e** — точка потухания,  $T_{ox}$  — температура окисления.

(б) Зависимость  $q_{ef}(T)$  при  $I = 0.47 A$ , — — — — зависимость  $q_{ef}(T)$  при  $C_a = 5.2\%$ , — — — — зависимость  $q_{ef}(T)$  при  $C_a = 3.1\%$ .

В низко- и высокотемпературных режимах увеличение силы тока приводит к росту температуры. Выразим из уравнения (19)  $\frac{\partial I}{\partial T}$ , получим

$$\frac{\partial I}{\partial T} = - \frac{\frac{\partial q_{ef}}{\partial T}}{\frac{\partial q_{ef}}{\partial I}}$$

Так как в точках окисления и горения  $\frac{\partial q_{ef}}{\partial T} < 0$  и  $\frac{\partial q_{ef}}{\partial I} > 0$ , то  $\frac{\partial I}{\partial T} > 0$ ,

$\frac{\partial T}{\partial I} > 0$ , следовательно, температура каталитического горения и окисления возрастает с увеличением силы тока (рис. 2(а,б)).

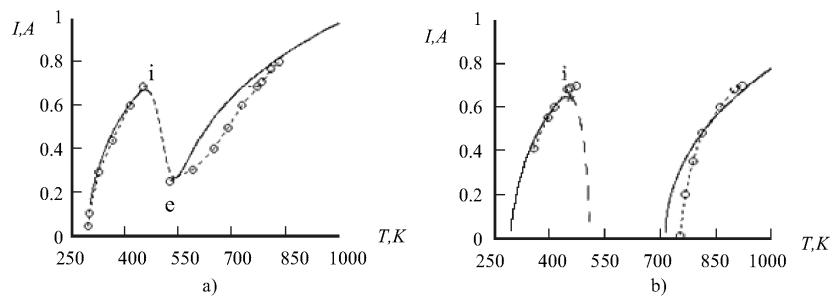


Рис. 2. Зависимость силы нагревающего тока от стационарной температуры платиновой проволоки ( $d=0,1\text{мм}$ ;  $L=108\text{ мм}$ ) при различных значениях концентрации аммиака в воздухе: -о-о-о-о-о- — экспериментальные точки [7], — — теоретическая кривая: а) при  $C_a = 3.1\%$ ; б) при  $C_a = 5.2\%$

Максимум на кривой  $I(T)$  (т. **i**) — обозначает критический переход на высокотемпературный режим, минимум (т. **e**) — критический переход на низкотемпературный режим ТМО.

При значении силы тока, равном  $I_i = 0.67\text{ A}$  (точка **i**), число Семёнова равно  $Se_i = 0.07$ , следовательно, реакция идет в кинетической области. При  $I_e = 0.27\text{ A}$  (точка **e**)  $Se_e = 16$ , что соответствует диффузионной области протекания реакции. На ветви горения, при  $I_b = 0.8\text{ A}$ ,  $Se_b = 252460$ , видно, что  $Se_b \gg 1$  — это говорит о том, что после момента зажигания, процесс идет в диффузионной области.

Кривая, соединяющая точки **i** и **e**, является геометрическим местом точек определяющих критические значения начальной температуры катализатора. В интервалах:  $U_e < U < U_i$  и  $I_e < I < I_i$  зависимости стационарной температуры платиновой проволоки и напряжения на концах катализатора от концентрации аммиака и силы тока имеют гистерезисный характер при этом критические значения начальной температуры лежат в интервале:  $T_i < T_b < T_e$ . При разных тепловых эффектах реакций высокотемпературные ветви не совпадают. Ветвь высокотемпературного режима реакции (II) проходит в среднем на  $200^\circ\text{ K}$  выше чем у реакции (I).

На рис. 3 (а, б) представлены ампер-вольтные характеристики платиновой проволоки при тех же условиях, что и на рис. 2.

Из рис. 3 (б) видно, что по достижению некоторого критического значения концентрации активного компонента, уже не будет осуществляться скачкообразный переход на низкотемпературный режим.

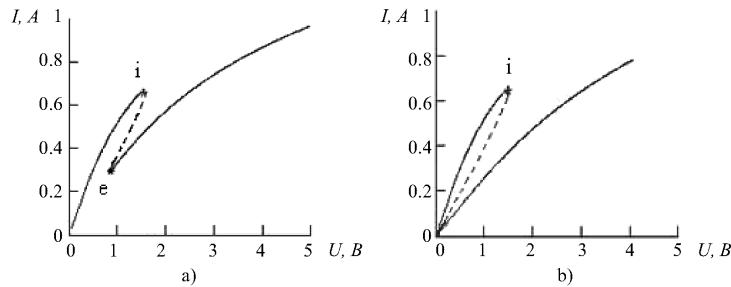
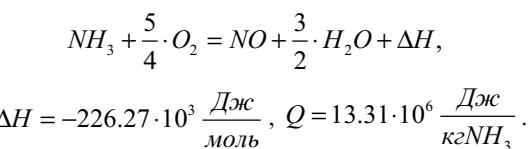


Рис. 3. Ампер-вольтная зависимость платинового проводника при различных значениях концентрации аммиака в воздухе: а) при  $C_a = 3.1\%$ ; б) при  $C_a = 5.2\%$

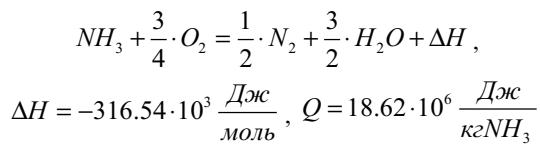
#### Выводы

1. Выявлен механизм высокотемпературных и гистерезисных режимов тепломассопереноса и кинетики гетерогенно-катализитических реакций на катализаторе в виде проволоки в зависимости от силы тока, нагревающего проволоку и концентрации активного компонента в газовой фазе.

2. Установлено, что высокотемпературный режим, который осуществляется независимо от начальной температуры катализатора, определяется массопереносом аммиака к поверхности катализатора. Сравнением с экспериментом доказано, что температурный уровень (температура катализитического горения) определяется тепловыделением химической реакции



Предположение о протекании реакции



дает завышенное по сравнению с экспериментом значение температуры катализитического горения аммиака на платиновой проволоке.

3. На основе сопоставления с экспериментальными данными по критическим режимам ТМО, определяемых критическими значениями силы тока

и концентрации аммиака в воздухе, предположена схема химической реакции, выходными продуктами которой являются окись азота и газообразная вода.

4. Разработана методика исследования высокотемпературных (горение) и гистерезисных режимов, основанная на анализе  $q_{ef}(T)$  и  $I(T)$  при  $C_a = const$ ,  $T$  — стационарная температура,  $q_{ef}$ ,  $I$ ,  $C_a$  — соответственно эффективная плотность мощности, сила тока, концентрация активного компонента, определяющая устойчивые (“горение”, окисление) и критические (воспламенение, потухание) режимы тепломассообмена и кинетики гетерогенно-кatalитических химических реакций на поверхности катализатора.

5. Доказано, что теплообменом излучением можно пренебречь.

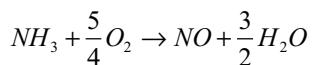
#### Литература:

1. Мэкстэд Э. Катализ и его промышленное применение. — М.: ОНТИ, 1936. — 576 с.
2. Исаченко В. П. и др. Теплопередача. — М.: Энергоиздат, 1981. — 416 с.
3. Прудникова Ю. В. Калинчак В. В. Критические режимы тепломассообмена и кинетики гетерогенно-катализитического окисления водорода на платине // Физика аэродисперсных систем. — 1998. — Т. 37. — С. 114 — 118
4. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
5. Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С. Сборник задач и вопросов по тепло-техническим измерениям и приборам. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 328.
6. Блох А. Г. и др. Теплообмен излучением. М.: 1991. — 432 с.
7. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетики. — М.: Наука, 1987. — 491 с.
8. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972. 720 с.

*B. V. Калинчак, Е. Р. Зямілев, О. Н. Софронков, Ю. Б. Задніпрюцький*  
**Високотемпературні та гістерезисні режими окислення аміаку  
на платиновому дротику**

**АНОТАЦІЯ**

Виявлено механізм високотемпературних і гістерезисних режимів ТМО та гетерогенно-кatalітических реакцій окислення аміаку на платиновому дротику в залежності від сили струму та концентрації аміаку в повітрі. Встановлено, що в високотемпературному режимі його температура та напруга визначається тепловиділенням в результаті хімічної реакції



*Kalinchak V. V., Zyamilev E. R., Sofronkov A. N., Zadnipryanyj J. B.*  
**High-temperature and hysteresis modes of oxidation  
of ammonia on the platinum wire**

**SUMMARY**

The mechanism high-temperature both hysteresis modes TMT and heterogeneous-catalytic reactions of oxidation of ammonia to a platinum wire is revealed depending of a current and concentration of ammonia in air. It is established, that in a high-temperature mode its temperature and a voltage is determined by a thermal emission as a result of chemical reaction.

