

УДК: 536.4

ISSN 1729-4428 (Print)
ISSN 2309-8589 (Online)

О.С. Черненко, В.В. Калінчак, О.К. Копійка, А.В. Федоренко, М.В. Розізнийий,
**Каталітичне займання, погасання та горіння ацетону в повітрі
на платинових нитках різного діаметру**

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, tephys@onu.edu.ua

В роботі на основі аналізу аналітичної залежності стаціонарної температури нитки каталізатора від сили нагрівального струму запропоновано співвідношення I/d . Воно дозволяє оцінити діапазон сили струму для певного діаметру нитки каталізатора, в якому можливе спостереження займання і погасання гетерогенно-каталітичної реакції. Експериментальні дослідження для каталітичного окислення ацетону в повітрі на платиновій нитці каталізатора діаметром 20, 70 та 95 мкм показали, що при врахуванні конвекції необхідно скорегувати це відношення як $I/d \cdot Nu^{1/2}$. В результаті в представленні температури нитки каталізатора від даного комплексу спостерігається узгодження низько- і високотемпературних режимів окислення, а також критичних умов каталітичного займання і погасання. Дана оцінка можлива у випадку застосування електричної схеми нагрівання нитки в режимі стабілізації сили струму.

Ключові слова: каталітичне окислення, платинова нитка, діаметр, пари ацетону.

Подано до редакції 26.04.2024; прийнято до друку 06.02.2025.

Вступ

Каталітичні реакції на платині пропонують альтернативний, енерговигідний шлях до продуктів реакцій, збільшують швидкість чи повноту хімічних перетворень, які за звичайних умов протікають вкрай повільно [1]. Платина є найбільш поширеним каталізатором повного окислення летючих органічних сполук [2]. Основну роль відіграє поверхня каталізатора, тому додавання наночастинок платини на поверхню оксидного каталізатора суттєво прискорює окислення сполуки [2-5].

Горючі газові суміші та легкозаймисті пари присутні в робочому середовищі багатьох галузей промисловості. Тому виявлення їх присутності в газовому середовищі має важливе значення для зменшення потенційної небезпеки до досягнення вибухонебезпечної концентрації [6]. Принцип термокаталітичного датчика заснований на зміні температури чутливого елемента, наприклад, мікроплітки при каталітичному горінні газу на її поверхні [7].

Каталізатори у вигляді тонких металевих дрітів

рідко продовжують використовувати в наукових дослідженнях. Так в роботі [8] використовується мідний каталізатор у вигляді дроту діаметром 180 мкм в реакції між полімолочною кислотою (PLA) і кумарином.

Платиновий дріт є основою пелістора. В роботі [9] досліджується відгук каталітичного сенсору, в основі якого використовується металевий дріт платинової групи діаметром 10 мкм. Нагрівання такого пелістора супроводжувалося програмованою зміною напруги на ньому, під час якої спостерігався гістерезис реакції датчика на пари водню. Поведінка чутливості сенсору пояснюється кінетикою реакції окислення водню. При низькій напрузі живлення реалізується кінетичний режим реагування, а дифузійний режим має місце при високій напрузі живлення. Особливості гістерезису на різних металах пояснюють частковим перетворенням оксидів металів в металеву фазу при температурі вище 500 °С і зворотним окисленням металу при температурах менше 400 °С.

Експериментальні дослідження займання суміші паливо/кисень/азот на платиновому дроті діаметром 127 мкм в потоці (з низьким діапазоном чисел

Рейнольдса) показали, що поведінка температури каталітичного займання зі зростанням концентрації палива якісно різна. Температура займання збіднених сумішей пропан/повітря і бутан/повітря знижується із збільшенням концентрації палива в них, а для збіднених сумішей пропілену, етилену, оксиду вуглецю та водню з повітрям спостерігається зворотна тенденція [10].

При використанні дротів важливим є електрична схема його нагрівання. Найпростіше реалізувати неізотермічне каталітичне окислення газів. В режимі стабілізації сили нагріваючого струму чи напруги отримується залежність опору дроту, а згодом і її середньої температури, від режимного параметру. Найвідомішим прикладом є результати Бубена з неізотермічного окислення аміаку і водню на 100 мкм платиновій нитці в режимі стабілізації сили струму [11], які буди повторені і для ацетону [12-13]. Каталітичне займання домішок газів відбувалося при підвищенні сили протікаючого струму до 0.6-0.75 А. А в цілому залежність температури дротини від сили струму проявляла гістерезисний характер. Вплив діаметру дроту на характерні значення струму каталітичного займання газів на той час не підіймався.

Аналогічні дослідження гістерезису при окисленні на платиновій пластині простих вуглеводнів (метану, етану, пропану, ізобутану, етилену, пропілену) вивчав Весер і Шмідт [14], суміші етану і монооксиду вуглецю Харольд і Лусс [15], водню Чен і Сонг [16].

Режим нагрівання платинової дротини в [17] є ізотермічним, тобто з підтриманням стаціонарної температури каталізатора. Для підтримання температури 100 мкм її стабілізували на кварцовій пластині.

При окисленні метану і етану на платинових дратах діаметром 76, 203 та 250 мкм в режимі стабілізації температури нитки програмно регулювалася вхідна потужність нагрівання. В деякому діапазоні вхідної потужності кожному її значенню відповідає три різних стаціонарних значення температури нитки [18]. Цей режим забезпечує низьку ймовірність переходу горіння в газову фазу.

Неізотермічне нагрівання нитки можна проводити в режимі стабілізації напруги, потужності чи струму. Розігрів каталізатора пропорційний концентрації домішки горючого газу. Тоді каталітичне горіння газів можна використати для переробки шкідливих органічних речовин в більш безпечні. Вибір схеми, на перший погляд, може здаватися несуттєвим. Однак, до спрощення аналітичного опису у разі використання ефективної температури газової суміші приводить більш оптимальна схема зі стабілізацією сили струму [19]. В цьому випадку ефективна температура слабо залежить від температури каталізатора.

Мало дослідженим залишається поведінка нитки каталізаторів різного діаметру в середовищі з сумішшю пар(газ)/повітря.

Метою даної роботи є визначення співвідношення між сили струмом і діаметром, що дозволить оцінити діапазон сили струму для каталітичного окислення парів органічної сполуки на

платиновій нитці різного діаметру.

I. Аналіз аналітичної залежності

Розглянемо фізико-математичну модель тепломасообміну довгої і тонкої металеві нитки [20]. Вона нагрівається електричним струмом в електричному колі зі стабілізацією сили струму. На її поверхні протікає каталітична реакція окислення малої домішки горючого газу в потоці повітря. Умову стаціонарності температури каталізатора в потоці повітря зі сталою часткою домішки горючого газу можна представити у вигляді залежності сили струму від стаціонарної температури нитки:

$$I = I_0 \sqrt{\frac{T-T_g}{T_0} - \frac{Y_f T_Q k_0}{1+Se T_0 \beta} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)}, \quad (1)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 d^2 \lambda_g Nu T_0}{4\eta}}, \quad T_Q = \frac{Q_f Le}{c_{pg}}, \quad Le = \frac{D_f c_g \rho_g}{\lambda_g},$$

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad Se = \frac{k}{\beta}, \quad \beta = \frac{D_f Sh}{d},$$

$$\eta = \eta_0 (1 + \gamma(T - T_0) - \delta(T - T_0)^2),$$

де Q_f – тепловий ефект реакції, розрахований на 1 кг горючого газу, Дж/кг; Y_f – відносна масова частка домішки горючого газу в повітрі; c_{pg} – ізобарна питома теплоємність газової суміші; T_g – температура газової суміші; k – константа реакції в м/с; β – коефіцієнт масопереносу горючого газу в м/с; η – питомий опір платини; D_f – коефіцієнт дифузії горючого газу в повітрі; c_g, ρ_g – питома теплоємність і густина газової суміші; Le, Nu, Sh – числа Льюїса, Нуссельта і Шервуда.

Залежність $I(T)$ при певних значеннях параметрів має мінімум і максимум. Обернена залежність проявляє гістерезисний характер [20, 21]. При певних значеннях сили струму можливе виникнення каталітичного займання чи погасання. Для аналітичного опису умов каталітичного займання і погасання зручно ввести ефективну температуру навколишнього середовища [20]:

$$T_{g*} = T_g + \left(\frac{I}{I_0}\right)^2 T_0. \quad (2)$$

Другий доданок правої частини (2) є відношення потужності тепловиділення нитки каталізатора при протіканні струму P та добутку площі бічної поверхні дроту πdL і коефіцієнту тепловіддачі α . Саме при використанні електричної схеми зі стабілізацією сили струму (тоді $P = I^2 R = 4I^2 \eta L/d^2$) в виразі (2) фігурує добуток I/d і λ_g/η . Останнє відношення є слабкою функцією температури каталізатора і не залежить від довжини дроту.

Тоді умову критичну умову каталітичного займання можна переписати у вигляді:

$$\frac{T_Q Y_{fi} E}{RT_{g*i}^2} \frac{k_0 d}{D_f Sh} \exp\left(-\frac{E}{RT_{g*i}}\right) = \frac{1}{e}$$

$$T_g + \left(\frac{I_i}{I_0}\right)^2 T_0 = T_i - \frac{RT_i^2}{E} \quad (3)$$

Величина I_0 є слабкою спадаючою функцією температури. В той же час вона пропорційна діаметру нитки $I_0 = d \cdot A$, де A – функція температури. Тому умову стаціонарності можна записати у вигляді:

$$\frac{I}{d} = A \cdot \sqrt{\frac{T-T_g}{T_0} - \frac{Y_f T_Q k_0}{1+Se T_0 \beta} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)} \quad (4)$$

Основним припущенням, яке виникло при аналізі (2) та (4), є можливість виникнення інваріанту I/d при описі каталітичного окислення малих домішок газів. Для дротів різного діаметру при однакових I/d маємо теж саме значення ефективної температури газового середовища T_{g*} і критичну температуру каталітичного займання T_i .

Крім того, при низькотемпературному каталітичному окисленні ($Se < 0.1$) і високотемпературному каталітичному горінні ($Se \gg 1$) залежність (4) приймає вигляд

$$\frac{I}{d}|_{Se < 0.1} = A \cdot \sqrt{\frac{T-T_g}{T_0}} \quad \text{і} \quad \frac{I}{d}|_{Se \gg 1} = A \cdot \sqrt{\frac{T-T_g}{T_0} + \frac{T_Q}{T_0} Y_f}$$

Отже, в цих режимах I/d є функцією тільки температури каталізатора.

Тому в подальшому експериментально перевіряємо дане припущення.

II. Експериментальна установка

Експериментальні дослідження проводилися на установці, яка описана в [19, 20]. Основою реакційної камери є перетворювач манометричний термопарний ПМТ-2. Після відрізання скляної колби від підставки лампи на електроди закріплювалася платинова нитка необхідного діаметру у вигляді змійки в площині, перпендикулярній вісі лампи. В підставці лампи створювався отвір, через який подавалася газоповітряна суміш. Після чого скляна колба приклеювалася до підставки. Для дослідження використовувалися платинові нитки діаметром d в 20, 70 та 95 мкм. Їх довжина L була різною, але відношення $L/d > 500$.

Газова суміш з парами горючої рідини створювалася при пропусканні повітря через рідини (ацетону чи етанолу) в колбі. Даний потік можна було розбавляти паралельно пропускаючи чисте повітря. Загальна витрата вимірювалася по холодній суміші. Суміш пропускала через трубчасту піч. Для забезпечення сталості температури на стінках реакційної камери ззовні між колбою лампи 1 (діаметр 30 мм) та зовнішню камерою 10 (діаметром 60 мм) продувалася потоком повітря (рис.1). Це дозволило також суттєво зменшити відмінність значень температури суміші до подачі в камеру і всередині неї (завдяки природній конвекції) до 20-30°C в режимі каталітичного горіння. Вимірювання (зняття ВАХ) проводилися після встановлення показів обох термопар 4 та 5.

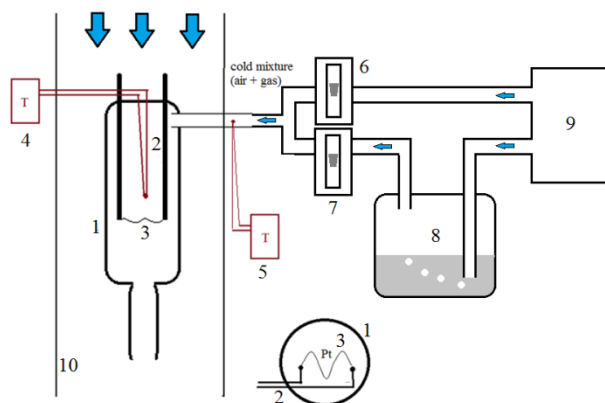


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – скляна колба ПМТ-2 зі змінними платиновими нитками (3) різного діаметру, 2 – підведені товсті металеві контакти; 4, 5 – мілівольтметри з термопарами ХА; 6, 7 – ротаметри поплавкового типу; 8 – емість з рідиною; 9 – повітряний компресор; 10 – зовнішня камера з потоком повітря.

Платинова нитка підключалася в електричну схему живлення до джерела постійного струму і мультиметру Picotest 3510A по трьох-провідній схемі. Первинними експериментальними даними є вольт-амперна характеристика дроту в режимі стабілізації сили струму. Контакти лампи мають діаметр 1 мм і їх сумарний опір складає $R_k = 0.105$ Ом, який практично не змінюється в діапазоні сил струмів для дослідження. Контакти лампи в 10 разів товстіші за платинову нитку. Тому нехтується тепловідводом через них.

Для розрахунку середньої температури нитки використовувалася квадратична залежність опору дроту від температури:

$$R_c = \frac{U}{I} - R_k, \quad \frac{R_c}{R_{c0}} = 1 + \gamma(T - T_0) - \delta(T - T_0)^2,$$

$$R_{c0} = \eta_0 \frac{4L}{\pi d^2}$$

Тут $\gamma = 39.7 \cdot 10^{-4}$ 1/К, $\delta = 5.841 \cdot 10^{-7}$ 1/К², $\eta_0 = 9.8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Параметри вибраних платинових дротів наведені в табл.1.

Таблиця 1.

Розміри Pt дротів для дослідження		
d , мкм	L , мм	R_{c0} , Ом
20	34	10.6
70	50	1.28
95	56	0.775

Опір нитки 20 мкм в процесі нагрівання і охолодження змінювався від 15 до 45 Ом, для 95 мкм від 0.85 до 4 Ом.

III. Аналіз отриманих результатів

На рис.2 представлені залежності температури платинового дроту діаметром 20 і 95 мкм від сили струму. Сила струму поступово збільшувалася до

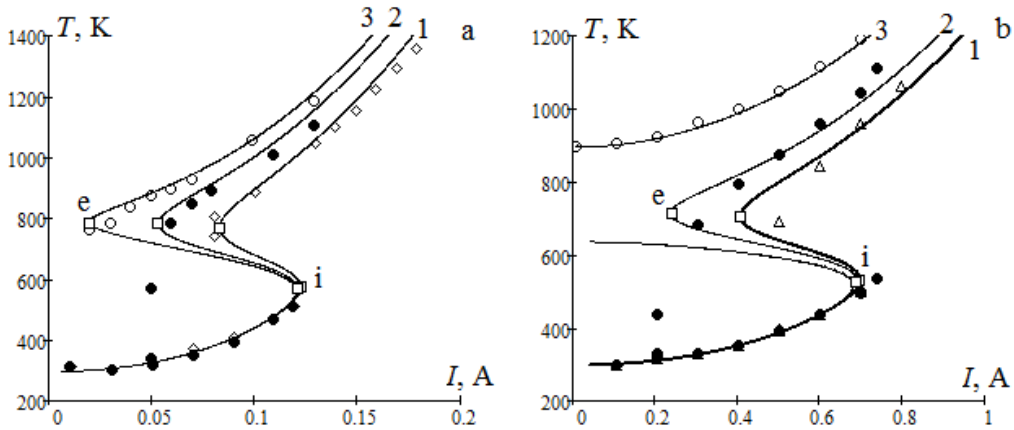


Рис. 2. Залежність стаціонарної температури платинової нитки каталізатора від сили струму в ацетон-повітряній суміші. Розрахунок по (1).

- a) діаметр 20 мкм, концентрація ацетону Y_a : 1) 2.3% (\diamond); 2) 2.8% (\bullet), 3) 3.1% (\circ).
 b) діаметр 95 мкм, концентрація ацетону Y_a : 1) 2.1% (Δ); 2) 2.5% (\bullet), 3) 3.3% (\circ).

виникнення каталітичного займання, а потім зменшувалася. Малі концентрації горючого газу в суміші (до 5 %) згідно класичних уявлень можна оцінити через різницю стаціонарних температур високотемпературного розігріву каталізатора T_m та низькотемпературного окислення T_{g^*} при протіканні однієї реакції в дифузійній області:

$$Y_f = \frac{T_m - T_{g^*}}{T_Q} = \frac{c_{pg}(T_m - T_{g^*})}{Q_f Le} \quad (1)$$

Параметри для розрахунку аналітичних залежностей при окисненні ацетону на платині взято з [20]: $Q_f = 31.5$ МДж/кг, $E = 84$ кДж/моль, $k_0 = 3 \cdot 10^6$ 1/с, $D_{p0} = 0.109 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $Le = 0.586$, $m = 0$, $n = 1.82$, $\rho_{g0} = 1.293$ кг/м³, $c_{g0} = 1005$ Дж/(кг·К).

Величину числа Нуссельта Nu оцінювали з порівняння розрахункових і експериментальних даних в області стаціонарних низькотемпературних режимах. Так виявилось $Nu = 0.37$ (для $d = 20$ мкм), $Nu = 0.37$ (для $d = 70$ мкм) і $Nu = 0.55$ (для $d = 95$ мкм). В [22, С.210] приводиться залежність Хеттона [23] для числа Нуссельта у випадку змішаної конвекції при теплообміні циліндру з неї слідує, що найменше значення Нуссельта є 0.384. В роботах [23, 24] найменше значення Nu є 0.35.

Для платинових дрітків різних діаметрів спостерігається якісно подібна картина. При певній концентрації ацетону Y_a в газовій суміші спостерігається гістерезисний характер стаціонарної температури від сили протікаючого струму. Зі збільшенням концентрації Y_a критичне значення сили струму I_i для каталітичного займання також зменшується, причому слабше ніж I_e при каталітичному погасанні. Температури нитки каталізатора діаметром 95 мкм при каталітичному погасанні менші на 50-100 К ніж для нитки 20 мкм.

Тому для початку варто подивитися на значення комплексу l/d для різних діаметрів каталізатора. Для порівняння було вибрано характерне значення сили струму при каталітичному займанні, яке слабо залежить від концентрації горючого газу. В таблиці 2 приведені отримані експериментальні значення для

парів ацетону і етанолу.

Видно, що при зміні діаметру в 5 разів це відношення залишається того ж порядку: для меншого діаметру воно на 10-20 % менше.

На рис. 3а приводиться порівняння стаціонарних залежностей для платинових нитки 20 і 95 мкм у вигляді залежності (4). Темп зміни температури нитки діаметром 20 мкм в режимі каталітичного горіння більший, ніж для 100 мкм. Звертаємо увагу на близькість концентрацій ацетону в суміші, при яких реалізується тепловий гістерезис каталітичного окислення.

Критичні умови (точка і – каталітичне займання, точка е – погасання) визначаються при застосуванні умови екстремуму $\partial I / \partial T = 0$ до залежності (4). В результаті отримаємо, спільно з (4), систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{l}{d} \Big|_{i,e} &= A \sqrt{\frac{T_{i,e} - T_g}{T_0} - \frac{RT_{i,e}^2}{ET_0} (1 + Se_{i,e})}, \end{aligned} \right. \quad (5a)$$

$$\left\{ \begin{aligned} Y_f &= \frac{RT_{i,e}^2 (1 + Se_{i,e})^2}{ET_Q Se_{i,e}}. \end{aligned} \right. \quad (5b)$$

В точках каталітичного самозаймання при віддаленні від точки виродження $Se_{i,e} < 0.1$. Тому для $Se \ll 1$ сумісний розв'язок рівнянь (5) приводить до [20]

$$T_g + \left(\frac{l_i}{Ad}\right)^2 T_0 = T_i - \frac{RT_{i,e}^2}{E},$$

$$\frac{T_Q Y_f E}{RT_{g^*}^2} \frac{k_0 d}{D_f Sh} \exp\left(-\frac{E}{RT_{g^*}}\right) = \frac{1}{e}. \quad (6)$$

При однакових значеннях l/d критичне значення температури нитки при каталітичному займанні T_i повинна бути однакою. Однак, як це видно на рис. 3а, це не так. Друга умова (6) містить три важливі параметри: ефективну температуру суміші, діаметр нитки і масову частку парів горючого. Величина Y_f , як і зазначалося раніше, має близькі значення. Тому, якщо припустити, що сильніший вплив T_{g^*} проявляє саме в експоненті, маємо при каталітичному займанні $T_{g^*i} \sim 1/\ln(d)$. Тобто, зі зменшенням

Таблиця 2.

Отримані експериментальні критичні значення струму при каталітичному займанні в повітрі з температурою $T_g = 295$ К

Ацетон			Етанол		
d , мкм	I_i , А	$(I/d)_i$, А/мкм	d , мкм	I_i , А	$(I/d)_i$, А/мм
20	0.12	6.0	20	0.115	5.8
95	0.70	7.4	95	0.60	6.3

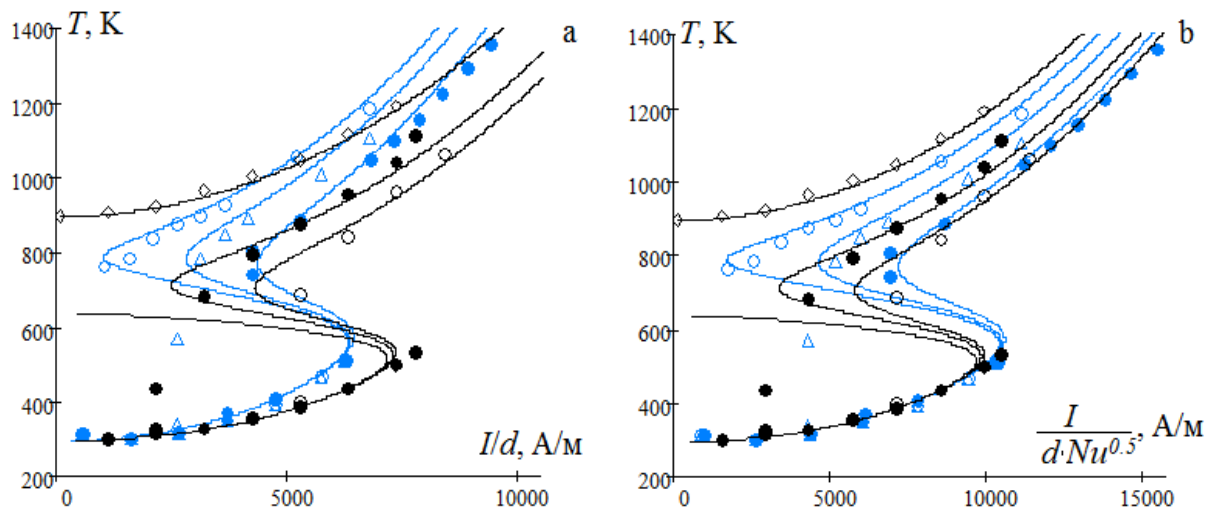


Рис. 3. Залежність стаціонарної температури платинового дроту від комплексу а) I/d ; б) $I/(d \cdot Nu^{0.5})$. Сині лінії – 20 мкм, чорні – 95 мкм.

діаметру нитки критичне значення ефективної температури суміші стає більшим. В той же час на рис. 3а результат протилежний.

Однак прихованою залежністю від діаметру є $Nu(d)$. Звернемо увагу, що $I_0 \sim d \cdot Nu^{1/2}$. Використаємо цю поправку і представимо наші результати (рис. 3б) у вигляді залежності стаціонарної температури каталізатора від комплексу $I/(d \cdot Nu^{1/2})$. В такому представленні узгоджуються не лише низькотемпературні та високотемпературні режими, їх нахил, відносно положення при різних концентраціях, але і збільшення критичної температури каталітичного займання при зменшенні діаметру нитки. Таким чином, отримані експериментальні розбіжності по критичним значенням I/d можна пояснити відмінністю в теплообміні дротин різного діаметру.

Критичні параметри каталітичного займання і погасання при різних діаметрах каталізатора представлені на рис. 4. Видно, що при зміні діаметру нитки майже в 5 разів інтервал концентрацій, при яких спостерігається каталітичне займання і погасання, практично не змінюється. В той же час різниця між значеннями $(I/d)_i$ та $(I/d)_e$ тим менша, чим менша концентрація горючого газу. Зрозуміло, що при подальшому зменшенні концентрації газу повинно відбуватися виродження критичних умов [25]: критичні значення I_i і I_e практично співпадають.

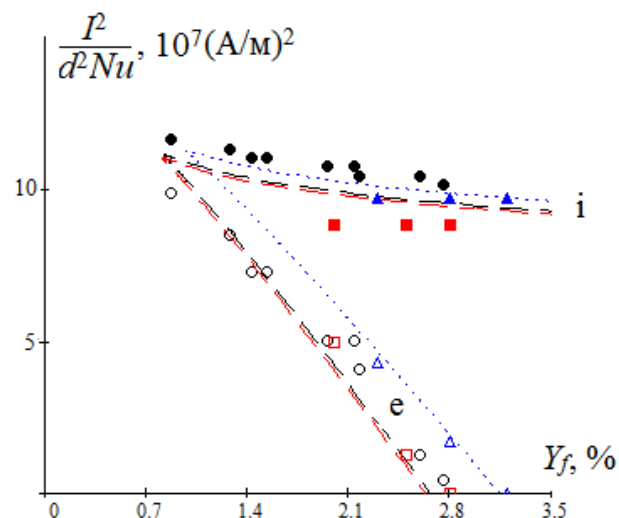


Рис. 4. Залежність критичного значення квадрату комплексу $I/(d \cdot Nu^{0.5})$ від концентрації ацетону. Розрахунок по (5). Точки для $d = 20$ мкм (▲, △), 70 мкм (■, □), 95 мкм (●, ○).

Висновки

Таким чином, провівши аналіз аналітичної залежності було запропоновано в якості оціночного параметру відношення I/d для оцінки діапазону сил струмів, при яких можливе спостереження неізотермічного каталітичного займання і погасання парів газів в повітрі.

При наявності конвекції для відносного порівняння результатів для ниток різного діаметру

варто використовувати скорегований комплекс $I/(d \cdot Nu^{0.5})$. Використання цього комплексу можливе при використанні електричної схеми нагріву нитки каталізатора в режимі стабілізації сили струму. В цьому випадку отримані критичні залежності, що описують умови каталітичного займання і погасання не залежать від довжини нитки (за умови, що $L \gg d$).

Черненко О.С. — кандидат фізико-математичних наук, професор;

Калінчак В.В. — доктор фізико-математичних наук, професор;

Копійка О.К. — кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Федоренко А.В. — кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Розізаний М.В. — аспірант.

- [1] Himanshu Sharma, Anuj Bisht, Narayanan Sethulakshmi, Sudhanshu Sharma *Catalysis by substituted platinum (ionic Pt) catalysts*, International Journal of Hydrogen Energy, 51 (Part B), 748 (2024); <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.343>.
- [2] Yunli Ge, Kaixuan Fu, Qian Zhao, Na Ji, Chunfeng Song, Degang Ma, Qingling Liu *Performance study of modified Pt catalysts for the complete oxidation of acetone*, Chemical Engineering Science, 206, 99 (2019); <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.05.051>.
- [3] N.S. Marinkovic, M. Li, & R.R. Adzic, *Pt-based catalysts for electrochemical oxidation of ethanol*. Topics in Current Chemistry, 377(3), 11 (2019); <https://doi.org/10.1007/s41061-019-0236-5>.
- [4] R. Rizo, S. Pérez-Rodríguez, & G. García, *Well-defined platinum surfaces for the ethanol oxidation reaction*, ChemElectroChem, 6(18), 4725 (2019); <https://doi.org/10.1002/celec.201900600>.
- [5] Guangxing Yang, Qiao Zhang, HaoYu Feng Peng *Platinum-based ternary catalysts for the electrooxidation of ethanol*, Particuology, 58, 169 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.01.007>.
- [6] A. Somov, A. Karelin, A. Baranov, S. Mironov, *Estimation of a Gas Mixture Explosion Risk by Measuring the Oxidation Heat within a Catalytic Sensor*. IEEE Trans. Ind. Electron, 64, 9691 (2017); <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2716882>.
- [7] Nikolay Samotaev, Pavel Dzhumaev, Konstantin Oblov, Alexander Pislakov, A.; Obratsov, I.; Ducso, C.; Biro, F. *Silicon MEMS Thermocatalytic Gas Sensor in Miniature Surface Mounted Device Form*, Chemosensors, 9, 340(2019). <https://doi.org/10.3390/chemosensors9120340>.
- [8] E. Gracia, M.T. Garcia, A. DeLucas, J.F. Rodriguez, I. Gracia, *Copper wire as a clean and efficient catalyst for click chemistry in supercritical CO₂*, Catalysis Today, 346(15), 65 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.12.021>.
- [9] Ivan I. Ivanov, Alexander M. Baranov, Vladislav A. Talipovandets *Investigation of catalytic hydrogen sensors with platinum group catalysts*, Sensors & Actuators: B. Chemical, 346, 130515 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130515>.
- [10] P. Cho, C.K. Law, *Catalytic ignition of fuel/oxygen/nitrogen mixtures over platinum*. Combustion and Flame, 66(2), 159 (1986); [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(86\)90088-x](https://doi.org/10.1016/0010-2180(86)90088-x).
- [11] D.A. Frank-Kamenetskii, N. Thon, Diffusion and heat exchange in chemical kinetics. (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1955).
- [12] В.В. Калінчак, О.С. Черненко, Теплофізика безполум'яного горіння газів. (Астропринт. Одеса, 2020). <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/28625>
- [13] В.В. Калінчак, О.С. Черненко, М.В. Сікорський, Е.В. Бритавський, С.А. Стукалов, *Експериментальні дослідження безполум'яного горіння газових сумішей з домішками аміаку, водню та ацетону на платиновому дротику*, Фізика аеродисперсних систем, 55, 71 (2018); <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2018.55.141337>.
- [14] G. Vesper, L.D. Schmidt *Ignition and extinction in the catalytic oxidation of hydrocarbon over platinum*, American Institute of Chemical Engineers Journal, 42, 1077 (1996); <https://doi.org/10.1002/aic.690420418>.
- [15] M.P. Harold, D. Luss, *An experimental study of steady-state multiplicity features of two parallel catalytic reactions*. Chemical Engineering Science, 40(1), 39 (1985); [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(85\)85045-4](https://doi.org/10.1016/0009-2509(85)85045-4).
- [16] Junjie Chen, Wenya Song *Catalytic Ignition and Extinction of Very Fuel-Lean Hydrogen-Air Mixtures on Platinum Surfaces*. Colloid and Surface Science, 2(1), 37 (2017); <https://doi.org/10.11648/j.css.20170201.15>.
- [17] Maria Mitu, Domnina Razus, Dumitru Oancea, *Coupled catalytic/gas phase ignition of propane-oxygen-inert mixtures on an isothermally heated platinum filament supported on quartz bar*, Revista de Chimie (Bucharest), 69(4), 870 (2018); <https://doi.org/10.37358/RC.18.4.6218>.
- [18] T.A. Griffin, L.D. Pfefferle, *Gas phase and catalytic ignition of methane and ethane in air over platinum*. AIChE Journal, 36(6), 861 (1990); <https://doi.org/10.1002/aic.690360607>.
- [19] V.V. Kalinchak, O.S. Chernenko, A.V. Fedorenko, *Electric Resistance Hysteresis of Platinum Filament in Cold Air/Hydrogen Mixtures*, Physics and chemistry of solid state, 21(3), 420 (2020); <https://doi.org/10.15330/pcss.21.3.420-425>.
- [20] A.S. Chernenko, V. Kalinchak, A. Kopyyka, M. Rozizanyi, A.V. Fedorenko, *Catalytic oxidation of acetone and ethanol on a platinum wire*, Physics and chemistry of solid state, 24(1), 166 (2023); <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.166-172>.

- [21] О.С. Черненко, В.В. Калінчак, М.В. Розізнаний, О.К. Копійка *Про можливість використання термохімічних газоаналізаторів в багатокомпонентній суміші*, Sensor Electronics and Microsystem Technologies, 20(1), 20 (2023) <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.1.275944>.
- [22] Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках (Наука, Москва, 1982).
- [23] A.P. Hatton, D.D. James, H.W. Swire *Combined forced and natural convection with low-speed air flow over horizontal cylinders*, Journal of Fluid Mechanics, 42(1), 17 (1970); <https://doi.org/10.1017/S0022112070001040>.
- [24] Van der Hegg Zijnen B.G. *Modified correlation formulae for the heat transfer by natural and by forced convection from horizontal cylinders*, Appl. Sci. Res. A, (6), 129 (1956).
- [25] V.V. Kalinchak, A.S. Chernenko, V.V. Kalugin, *Effect of the Concentration of a Combustible Gas on the Limiting Critical Conditions of Its Catalytic Oxidation*, Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 88, 737 (2015); <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1244-0>.

O.S. Chernenko, V.V. Kalinchak, O.K. Kopyyka, A.V. Fedorenko, M.V. Roziznanyi

Catalytic ignition, extinction and combustion of acetone in air on platinum wires of different diameters

Odesa I.I. Mechnikov National University, teplophys@onu.edu.ua

The research paper deals with the l/d ratio, based on the analysis of the analytical dependence of the stationary temperature of the catalyst wire on the heating current. It enables to estimate the range of current strength for a certain diameter of the catalyst wire, in which it is possible to observe the ignition and extinction of a heterogeneous catalytic reaction. The experimental studies for the catalytic oxidation of acetone in air on a platinum catalyst wire with diameters of 20, 70, and 95 μm showed that, in case of considering convection this ratio as $l/d \cdot \text{Nu}^{1/2}$ should be corrected. As a result, there is a coordination of low- and high-temperature oxidation regimes, as well as critical conditions for catalytic ignition and quenching in the representation of the catalyst wire temperature from this complex. This assessment is possible in the case of utilizing an electrical scheme for heating the wire in the mode of current stabilisation.

Keywords: catalytic oxidation, platinum wire, diameter, acetone vapour.