

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова

Фізичний факультет

Кафедра теплофізики

Дипломна робота

бакалавра

на тему: «Дослідження механізмів безполум'яного горіння

газоповітряних сумішей з домішками горючих газів»

«Research of flameless combustion mechanisms of the air – gas mixtures with impurities's
combustible gases»

Виконав: студент денної форми навчання

напряму підготовки : 6.040203 Фізика

Сікорський Максим Васильович

Керівник : д.ф.-м.н., Калінчак В.В.

Рецензент: д.ф.-м.н., Копит Н.Х.

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ 20 від 13 .06 .2017 р.

Захищено на засіданні ЕК № 1
протокол № 49 від 27 .06 .2017 р.
Оцінка Відмінно / А / 91
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри

Голова ЕК

Калінчак В.В.

(підпис)

Калінчак В.В.

(підпис)

Одеса – 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	5
1.1 Аналіз принципів використання теплових газоаналізаторів..	5
1.1.1. Газоаналізатори термокондуктометричні.....	5
1.1.2 Газоаналізатори термохімічні.....	8
1.2 Механізм окислення водню на платині.....	11
2. НЕІЗОТЕРМІЧНА КІНЕТИКА ХІМІЧНОЇ КАТАЛІТИЧНОЇ РЕАКЦІЇ ТА ТЕПЛОМАСООБМІНУ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ З МЕТАЛЕВИМ ДРОТИКОМ КАТАЛІЗАТОРА ОКИСЛЕННЯ.....	14
2.1. Вплив термодифузії на границі гістерезису та температуру каталітичного горіння газоповітряних сумішей з домішками водню на платиновому дротику.....	14
2.2 Запалювання та самопідтримуюче горіння газоповітряних сумішей з домішками водню на платиновому дротику.....	24
2.3. Нестационарні залежності.....	31
2.4 Вплив випромінювання на критичні значення температури та концентрації погасання.....	33
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПОЛУМ'ЯНОГО ГОРІННЯ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ З ДОМІШКАМИ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ НА ДРОТИКУ КАТАЛІЗАТОРА.....	36
3.1. Обладнання та хід роботи.....	36
3.2. Рентгеноструктурний аналіз платинового дротику.....	38
3.3. Експериментальні дослідження.....	40
ВИСНОВКИ.....	43
ЛІТЕРАТУРА.....	44

ВСТУП

З поширених нині в промисловій практиці твердих каталізаторів окислення отримали метали платинової групи і їхні сплави. Вони застосовуються у вигляді частинок і ниток для створення чутливих елементів каталітичних газоаналізаторів, а також для дослідження кінетики гетерогенно-каталітичних реакцій і безполум'яного горіння газоповітряних сумішей з домішками горючих газів (водень, аміак, оксид вуглецю, диоксид сірки і вуглеводні) на частинках і нитках каталізатора.

Аналіз літературних джерел [1-9] показує, що механізми гістерезисних залежностей температури і швидкості безполум'яного горіння від діаметру нитки (частинки), температури газоповітряного потоку і концентрації горючого газу в наступний час вивчені недостатньо. Практично мало розвинуті практично важливі питання про критичне значення початкової температури дротику запалювання та механізм запалювання, як прискорення тепловиділення, яке пропорційно добутку концентрації домішки на енергію активації та на тепловий ефект реакції і зв'язано з критичною початковою температурою дротику частинки каталізатору. Практично не вивчений механізм експериментально встановленого ефекту самопідтримуючого стійкого каталітичного горіння холодної газоповітряної суміші на платиновому дротику після виключення нагріву електричним струмом, якщо концентрація домішки горючого газу більше критичного значення згасання. Не з'ясований механізм впливу кінетичних характеристик неізотермічної реакції (енергія активації, порядок реакції, теплоти адсорбції та каталітичної реакції) на залежність температури дротику при стійкому безполум'яному горінні від діаметру дротику (частинки), температури і відносної швидкості потоку холодної газоповітряної суміші, концентрації домішки горючого газу в холодній газоповітряній суміші, потужності нагріву електричним струмом.

Знання механізмів взаємовпливу процесів тепломасообміну, адсорбції і кінетики екзотермічних реакцій газоподібних реагентів на поверхні нитки (частинки) каталізатора необхідно для цілеспрямованого вибору режимних

параметрів, що забезпечують необхідний температурний рівень і швидкість безполум'яного горіння газоповітряних сумішей також швидкість виходу цільового газоподібного продукту. Зокрема ці дослідження необхідні для розробки теплофізичних основ каталітичних газоаналізаторів, первинний перетворювач яких, виконаний на основі нитки (частинки) з металів платинової групи.

Об'єкт дослідження: запалення і каталітичне горіння холодних газоповітряних сумішей з домішками водню, аміаку і ацетону на платиновому дротику.

Предмет дослідження: теплофізичні та хімічні механізми запалення і стійкого каталітичного горіння холодних газоповітряних сумішей з домішками водню, аміаку і ацетону на платиновому дротику. Механізми впливу термодифузійного переносу, відношення константи реакції до коефіцієнту концентраційної дифузії і відношення коефіцієнту концентраційної дифузії до коефіцієнту температуропровідності, а також радіаційних тепловтрат на критичні характеристики запалення і залежності температури горіння від концентрації – домішки горючого газу, від температури газоповітряної суміші.

Мета роботи: Вивчення механізму впливу термодифузійного горючого газу на характеристики запалення та стійкого безполум'яного самопідтримуючого горіння холодних газоповітряних сумішей з домішками горючих газів (водень, аміак, ацетон) на платиновій нитки каталізатора окиснення

Задачі роботи: 1.Провести експериментальні дослідження умов запалення і самопідтримуючого горіння холодних газоповітряних сумішей з домішками водню,аміаку та ацетону на платиновій нитки після відключення нагріву електричним струмом. 2. Дослідити гістерезисну поведінку залежності температури платинової нитки від сили нагріваючого струму,концентрації домішки горючого газу і температури газоповітряної суміші. 3. З'ясувати механізм впливу діаметру платинового дротику на концентрацію домішки згасання горючого газу, більше якої після запалення відбувається стійке безполум'яне горіння холодної газоповітряної суміші.

ВИСНОВКИ

1. Побудована експериментальна установка і проведені експериментальні дослідження запалення і безполум'яного горіння холодних газоповітряних сумішей з домішками аміаку і ацетону на платиновому дротику. Експериментально доказано гістерезисна залежність температури платинового дротику від сили нагріваючого постійного струму в режимі стабілізації сили струму. Експериментально доведено самопідтримуючого горіння газоповітряних сумішей після виключення нагріваючого струму, якщо концентрація домішки горючого газу більше критичного значення.

2. Показано, що температура безполум'яного самопідтримуючого горіння збільшується за рахунок термодифузії і лінійно зростає зі збільшенням квадрату сили струму (постійна величина відношення квадрату сили струму до квадрату діаметра дротику), температури газової суміші та концентрації горючого газу для малих діаметрів дротику, при яких можна нехтувати радіаційними тепловтратами. Це пов'язано з переходом в дифузійним режим хімічної реакції при якому швидкість хімічного тепловиділення, і швидкість тепловідводу (q_{ch} і q_h) пропорційні коефіцієнту масообміну в припущенні аналогії Льюїса.

3. Встановлено механізм самопідтримуючого горіння холодних газоповітряних сумішей при виключенні нагріву електричним струмом. Знайдені критичні значення концентрації водню та температури платинового дротику каталізатора, вище яких спостерігається самопідтримуюче каталітичне горіння домішок водню на платиновому дротику.

4. Знайдені і проаналізовані області критичних умов займання і погасання газоповітряних сумішей з домішками водню, що визначають гістерезис тепломасообміну на залежностях температура частинки від температури газоповітряної суміші, концентрації домішки горючого газу і діаметру частинки (нитки) каталізатора.

5. Визначено механізм впливу концентрації домішки горючого газу і температуру газоповітряної суміші на критичні значення початкової температури запалення дротику при незмінному діаметрі ($d = \text{const}$), і вітровому множнику ($Sh = \text{const}$) в режимі стабілізації квадрату сили струму і температури газоповітряної суміші в режимі стабілізації P/d^2 .



ЛІТЕРАТУРА

1. *Калінчак В.В., Черненко О.С., Софронков О.Н., Федоренко А.В.* Вплив термодифузії на границі гістерезису каталітичного горіння домішок водню на платиновому дротику // *Фізика і хімія твердого тіла.* – 2017. – Т.18, № 1. – С. 52-57.
2. *Калінчак В.В., Черненко О.С.* Запалювання та самопідтримуюче горіння газоповітряних сумішей горючого газу на платиновій нитці // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми фізико-математичної освіти і науки», 25-26 травня 2017 р., Київ.* – С. 32-35.
3. *Пармон В.Н., Симонов А.Д., Садыков В.А., Тихов С.Ф.* Каталитическое сжигание: достижения и проблемы // *Физика горения и взрыва.* – 2015. – № 2. – С. 5-13.
4. *Rebrov E.V., M.H.J.M. de Croon and Schouten J.C.* A kinetic study of ammonia oxidation on a Pt catalyst in the explosive region in a microstructured reactor/heat-exchanger. // *Chemical Engineering Research and Design* – 2003. – Vol. 81, Part A – P. 744-752.
5. *Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В.* Гистерезис вольтамперных и вольтконцентрационных зависимостей термохимических сенсоров // *Физика аэродисперсных систем.* – 2012. – № 49. – С. 31–38.
6. *Kalinchak V.V., Chernenko A.S. and Kalugin V.V.* Effect of the Concentration of a Combustible Gas on the Limiting Critical Conditions of Its Catalytic Oxidation // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics.* – 2015. – Vol. 88, Issue 3. – pp. 737-742.
7. *Kalugin V.V., Kalinchak V.V. and Chernenko A.S.* High-temperature ammonia oxidation over a platinum catalyst under conditions of the parallel formation of nitrogen-containing products // *Kinetics and Catalysis.* – 2015. – Vol. 56, №.3. – pp. 335–342.
8. *Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В., Софронков А.Н.* Гистерезис тепломассообмена при неизотермическом окислении примесей горючих газов

в воздухе на платиновой проволоке // Физика аэродисперсных систем. – 2014. – № 51. – С. 41-52.

9. *Wonyoung Choi, Sejin Kwon, Hyun Dong Shin* Combustion characteristics of hydrogen-air premixed gas in a sub-millimeter scale catalytic combustor // International journal of hydrogen energy. – 2008. – Vol. 33. – P. 2400–2408.
10. *Франк-Каменецкий Д.А.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – Москва: Наука, 1987. – 502 с.
11. *Smyntyna V.* Semiconductor Materials for Gas Sensors. – New York: 2013. – p. 195.
12. *Преображенский В.П.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
13. *Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н.* Теплообмен излучением (справочник). – М.: Энергоатомиздат, 1991. — 432 с.