

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова

Фізичний факультет

Кафедра теплофізики

---

**Дипломна робота**

**бакалавра**

---

**на тему: «Запалювання та горіння хмари вугільного пилу в азотно-кисневих сумішах»**

«Ignition and combustion of the coal dust clouds nitrogen-oxygen mixtures»

Виконала: студентка денної форми навчання

напряму підготовки : 6.040203 Фізика

Кічук Світлана Михайлівна

Керівник : к.ф.-м.н., Черненко О.С. *А.Зери,*

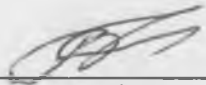
Рецензент: к.ф.-м.н., Копійка О.К.

Рекомендовано до захисту:  
Протокол засідання кафедри  
№ 20 від 13.06.2017 р.

Завідувач кафедри

Захищено на засіданні ЕК № 1  
протокол № 47 від 27.06.2017 р.  
Оцінка добре /     с     / 79  
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК



(підпис)

Калінчак В.В.



(підпис)

Калінчак В.В.

Одеса – 2017

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. РОЛЬ ЛЕТЮЧИХ ПРИ ГОРІННІ ВУГІЛЬНИХ ЧАСТИНОК.....	4
1.1. Частка летючих у вугіллі і склад летючих.....	4
1.2. Основні стадії горіння вугільної частинки. Основні хімічні газові реакції за участю летючих .....	6
1.3. Прогрівання частинки до займання летючих.....	9
1.4. Займання летючих .....	10
1.5. Горіння летючих .....	15
1.6. Горіння летючих в пиловугільному факелі.....	20
2. ЗАПАЛЮВАННЯ, ГОРІННЯ І САМОВІЛЬНЕ ЗГАСАННЯ ЧАС- ТИНОК КОКСУ В АЗОТНО-КИСНЕВИХ СУМІШАХ.....	24
2.1. Постановка фізико-математичної задачі.....	24
2.2. Умова запалювання вуглецевої частинки.....	31
2.3. Запалювання і горіння нещільної хмари вугільного пилу.....	33
2.4. Запалювання і горіння щільної хмари вугільного пилу.....	37
ВИСНОВКИ.....	42
ЛІТЕРАТУРА.....	43

## ВСТУП

Запалювання сукупності вуглецевих частинок в холодних азотно-кисневих сумішах і кінетика горіння, яка характеризується зміною температури горіння і появою чадного газу є складними процесами, хід яких залежить від концентрації компонентів. Практично недосліджені механізми впливу ендотермічної реакції вуглекислого газу з вуглецем, а також окислення чадного газу в газовій суміші на температуру горіння сукупності вуглецевих частинок, кінетику появи чадного газу і діоксиду вуглецю. В даний час інтенсивно тривають роботи з дослідження механізмів горіння поруватих частинок електродного вугілля, графіту і коксів природного вугілля з газами [1-3], незважаючи на велику кількість робіт, зроблених в попередні роки.

Для прогнозування та забезпечення пожежовибухобезпеки, важливо знати закономірності запалювання сукупності вугільних частинок, попередньо розігрітих до високої температури, правильно описувати температуру і час горіння, кінетику зменшення кисню та збільшення токсичного чадного газу. Як відмічалось в [4], запалювання вуглецевих частинок стає можливо при збільшенні концентрації кисню в холодній азотно-кисневій суміші з одночасним збільшенням початкової температури частинки вище критичної температури запалювання. Однак, велика поруватість вугільної частинки, наприклад деревного вугілля, дозволяє здійснити запалювання в повітрі кімнатної температури [5].

**Метою даної роботи** є дослідження впливу різних параметрів та механізмів на характеристики високотемпературного тепломасообміну, критичні режими спалахування й погасання сукупності вугільних частинок при різних масових концентраціях частинок  $C_m$  в холодних азотно-кисневих сумішах. Обов'язковим є врахування тепловтрат випромінюванням з навколишніми тілами та стефанівської течії, що виникає поблизу поверхні частинки.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що запалювання в сумішах з невисокою температурою (1000 К) і тиском 0.3 МПа відбувається при початковій температурі 1450 К частинок діаметром 50 мкм і концентрації кисню в суміші 50%. Зі зменшенням розміру частинок пилу температура запалювання збільшується. Гетерогенна реакція вуглецю з діоксидом вуглецю і гомогенна реакція горіння чадного газу практично не впливають на характеристики запалення.

2. Показано, що в залежності від концентрації вугільного пилу максимум температури частинок досягається з різних причин: при малій концентрації за рахунок зміни швидкостей зростання тепловиділення і тепловіддачі зі зменшенням діаметру, при значній – вигорання кисню в суміші.

3. В залежності від масової концентрації пального в сукупності вуглецевих частинок максимальна температура горіння  $T_m$  і діаметр частинок  $d_e$  після їх самовільного погасання змінюються по-різному: зростання  $T_m$  і зменшення  $d_e$  при невеликих концентраціях вугільного пилу, зворотний хід – при значних концентраціях.

4. З ростом масової концентрації вугільного пилу відбувається якісна зміна газового складу після самовільного погасання частинок: при малих концентраціях пилу газ складається з азоту, кисню і вуглекислого газу (до 20%), а при великих: азоту, чадного (до 30%) і вуглекислого газу. При великих концентраціях пилу вигорання частинок відбувається переважно за рахунок реакції відновлення ( $C + CO_2 = 2CO$ ).

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Bermudez A., Ferrín J.L., Linan A., Saavedra L.* Numerical simulation of group combustion of pulverized coal // *Combustion and Flame*. – 2011. – Vol. 158. – P. 1852–1865.
2. *Xiaohan Wang, Xiaojun Zeng, Haolin Yang, Daiqing Zhao* General modeling and numerical simulation of the burning characteristics of porous chars // *Combustion and Flame*. – 2012. – Vol. 159. – P.2457–2465.
3. *Kuniyoshi Ishii* Advanced pulverized coal injection technology and blast furnace operation. – Eastbourne, Elsevier Science Ltd, 2000. – 325 p.
4. *Калинчак В.В., Черненко А.С.* Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры // *Физика горения и взрыва*. – 2013. – Т. 49, №2. – С. 80-88.
5. *Черненко А.С.* Зажигание и горение частиц древесного угля в холодных азотно-кислородных смесях комнатной температуры. Часть I. Экспериментальные исследования // *Физика аэродисперсных систем*. – 2014. – № 51. – С. 67-72.
6. *Основы практической теории горения / под ред. В.В. Померанцева.* — Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
7. *Калинчак В. В., Черненко А. С., Зинченко Ю. А.* Зажигание, горение и погасание углеродных частиц при параллельно-последовательном образовании оксидов углерода // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 10. – С. 21-27.
8. *Калинчак В. В., Зинченко Ю. А., Черненко А. С., Куземко Р. Д.* Влияние начальных параметров газа и частиц пылеугольного топлива на характеристики их горения в фурменном очаге. // *Физика аэродисперсных систем*. – 2015. – № 52. – С. 71-87.
9. *Хзмалян Д. М.* Теория топочных процессов : Учеб. пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
10. *Виленский Т.В., Хзмалян Д.М.* Динамика горения пылевидного топлива. – М.: Энергия, 1978. – 246 с.
11. *Калинчак В.В., Двойнишников В.А., Виленский Т.В.* Математическое моделирование горения взвеси частиц. Часть 1. Физико-математическая формулировка задачи /// *Физика аэродисперсных систем*. – 1986. – № 29. – С. 24-29.

12. *Ефименко Г.Г.* Металлургия чугуна: Учебник / Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. – Киев: Высшая школа, 1981. – 496 с.
13. *Ярошевский С.Л.* Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Металлургия, 1988. – 176 с.
14. *Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П.* Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке. – К.: Техника, 1993. – 200 с.
15. *Чернецкий М. Ю., Дектерёв А. А.* Математическая модель процессов теплообмена и горения пылеугольного топлива при факельном сжигании // Физика горения и взрыва. – 2011. – № 3. – С. 37-46.
16. *Гавин Л.В., Медведев В.А., Наумов В.А.* Модель двухфазной турбулентной струи с учетом гетерогенного горения частиц // Физика горения и взрыва. – 1988. – № 3. – С. 1-17.
17. *Калинчак В.В.* Влияние стефановского течения и конвекции на кинетику химических реакций и тепломассообмен углеродных частиц с газами // Инженерно-физический журнал. – 2001. – Т.74, №2. – С.51-55.
18. *Калинчак В.В., Черненко А.С., Куземко Р.Д.* Влияние зольности пылеугольного топлива на характеристики его сгорания в пределах фурменной зоны // Физика аэродисперсных систем. – 2016. – № 53. – С.46-60.
19. Теплопередача / *В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел* – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
20. Теплообмен излучением: Справочник/ *А.Г.Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
21. *Калинчак В.В.* Влияние излучения на критические режимы тепло- и массообмена при параллельных реакциях на поверхности частицы // Физика горения и взрыва. – 1994. – Т. 30, №4. – С. 63-74.
22. *Бабий В. И.* Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / *В. И. Бабий, Ю. Ф. Куваев.* – М.,1986. – 208 с.
23. *Канторович Б. В.* Основы горения и газификации твердого топлива. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 600 с.
24. *Крутов Ю.М., Решетняк Д.В.* Моделирование горение пылевидной коксовой частицы в присутствии водяного пара//Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. –№5. – С.47-57.