

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра загальної фізики і фізики теплоенергетичних та хімічних процесів

(повна назва кафедри)

Д и п л о м н а р о б о т а
магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **«Горіння та плавлення алканів в зовнішніх полях»**

«Burning and melting of alkanes under the action of external fields»

Виконав: студент денної форми навчання
Спеціальність: 104-фізика та астрономія
Рудоман Андрій Миколайович

Керівник к.ф.-м.н. доцент Орловська С.Г. _____
Рецензент к.ф.-м.н., доц. Копійка О.К. _____

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№5 від 10.12.2019 р.

Завідувач кафедри

_____ Гоцульський В.Г.

(підпис)

Захищено на засіданні ЕК № __

протокол №__ від.....2019 р.

Оцінка _____/_____/_____
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК

(підпис)

Шевчук В.Г.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАФІНІВ В ЯКОСТІ ПАЛИВА.....	5
1.1. Гібридні ракетні двигуни, основні принципи роботи.....	5
1.2. Питома тяга і питомий імпульс.....	8
1.3. Переваги гібридних двигунів, пошук ефективних палив.....	10
1.4. Фізико-хімічні властивості парафінів.....	15
1.5. Молекулярні кристали n-парафінів.....	18
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВЛЕННЯ ЧАСТИНОК ПАРАФІНУ.....	22
2.1. Експериментальний стенд та методика досліджень.....	23
2.2. Результати експериментальних досліджень нагрівання та плавлення частинок парафіну.....	25
2.3. Вплив електричного поля на кінетику плавлення алканів.....	30
3. ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРІННЯ КРАПЕЛЬ АЛКАНІВ.....	38
4. ФІЗИКО – МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ ПАРАФІНУ.....	44
4.1. Оцінка часу прогріву частки до моменту плавлення.....	46
4.2. Порівняння експериментальних та теоретичних результатів.....	47
ВИСНОВКИ.....	49
ЛІТЕРАТУРА.....	50

ВСТУП

Процеси випаровування і горіння крапель рідкого палива є предметом широких експериментальних і теоретичних досліджень. Отримано експериментальні данні відносно механізмів випаровування і горіння вуглеводневих палив, розроблені детальні фізико-математичні моделі високотемпературного тепломасообміну, які дають можливість розрахувати температуру займання і горіння краплі, період індукції, час горіння. [1-4]. Парафін є легкоплавким матеріалом, який може використовуватись в якості екологічно чистого і високоенергетичного палива [5]. Встановлено, що період індукції спалахування крапель парафіну складається із послідовних стадій, основними фізичними механізмами яких є плавлення та випаровування [6].

Важливим завданням є інтенсифікація процесів горіння палива в реакційному об'ємі. Чинниками, що впливають на процес горіння, можуть бути зовнішні поля, наприклад, електричне поле. У роботах [7, 8] показано, що електричне поле призводить до збільшення швидкості горіння вуглеводневих палив. Проте вплив електричного поля на кінетику фазових переходів та горіння парафінів в літературі не вивчався. Тому метою даної роботи є дослідження закономірностей впливу електричного поля на процеси високотемпературного тепломасообміну, плавлення і горіння крапель парафінового палива в повітрі.

Парафіни або алкани відзначаються тим, що при організації процесу горіння вони використовуються в твердому стані. Спалахують і горять дані речовини в рідкому стані.

Як відомо, нормальні алкани, від октадекана $C_{18}H_{38}$ до пентатриоконтана $C_{35}H_{72}$, характеризуються відносно низькими температурами переходу в рідкий стан ($26\div 65^{\circ}C$) і в той же час високими значеннями прихованої теплоти плавлення і ентальпії (теплоти згорання). Поєднання даних властивостей з хімічною інертністю при нормальних

умовах визначає широкий спектр можливих пропозицій до використання. Одна із них це використання парафіну в якості екологічно чистого палива для гібридних ракетних двигунів [6,7].

Важливим практичним завданням є інтенсифікація процесів тепломасообміну в реакційній камері. Відомо, що електричне поле прискорює процес горіння вуглеводневих палив [8-12]. В літературі відсутні дані щодо впливу електричного поля на процес плавлення парафінів і чистих алканів.

Тому *метою даної роботи* є знаходження закономірностей впливу постійного однорідного електричного поля на кінетику і характеристики плавлення і горіння алканів, які являються складовою частиною парафінів.

В задачі робіт входило:

1. Вдосконалення методики та експериментального стенду для вивчення кінетики плавлення та горіння парафіну.
2. Проведення експериментальних досліджень процесу плавлення і горіння зразків парафіну; визначення характеристик цих процесів.
3. З'ясування впливу електричного поля на процеси плавлення і горіння частинок алканів: октадекану і доказану.
4. Фізико-математичне моделювання процесу плавлення парафіну.
5. Проведення порівняльного аналізу експериментальних та розрахункових характеристик плавлення.

ВИСНОВКИ

1. Визначена стадійність процесів тепломасообміну, що передують горінню крапель алканів в нагрітому газі. Встановлено, що період індукції складається з трьох послідовних стадій: прогріву твердої фази; плавлення частинки; прогріву і випаровування рідкої фази коли пара досягає температури спалахування.
2. Отримано, що в електричному полі зменшується швидкість плавлення частинки парафіну і, як наслідок, збільшується час плавлення. Це пов'язано з витратами енергії на пружну деформацію молекул парафіну в електричному полі, внаслідок зміщення електронних орбіт в атомах.
3. Доведено, що при плавленні частинки октадекана в електричному полі відбувається обертання нерозплавлених залишкової твердої фази в розплаві, що є проявом ефекту Квінке. У зв'язку з затратами енергії на цей процес відбувається подовження часу плавлення.
4. В результаті дослідження кінетики горіння крапель октадекана і доказано доведено, що на певній ділянці горіння виконується лінійний закон зміни квадрату діаметра краплі з часом.
5. Доведено, що електричне поле приводить до зменшення швидкості горіння крапель октадекана і зміщення полум'я в напрямку поля. При цьому полум'я стає асиметричним, значно змінюються його геометричні розміри. Ці явища пов'язані з дією «іонного вітру» в полум'ї, внаслідок чого фронт горіння наближається до поверхні краплі, збільшуючи швидкість її випаровування.
6. Проведено фізико-математичне моделювання теплообміну частинки палива з оточуючим середовищем і визначено час плавлення частинок октадекана. Проведені оцінки часу плавлення дали добру згоду з експериментальними даними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнорре Г.Ф., Павлеев И.И. Теория топочных процессов.-М.:Энергия, 1966.- 491 с.
2. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва. – М.: Изд. Московского университета, 1967. - 442 с.
3. Кумагаи С. Горение: Пер. с японского. – М.: Химия, 1980. - 256 с.
4. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. – М.: Наука, 1980. - 478 с.
5. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение, физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ: Пер. с английского. – М.: Физмалит, 2003. - 251 с
6. Кацуми Т., Кодама Х., Мацуо Т., Огава Х., Цубои Н., Хори К. Характеристики горения жидкого топлива на основе нитрата гидроксиламмония. Механизм горения и приложение к ракетным двигателям малой тяги.// Физика горения и взрыва. - 2009, Т. 45, № 4. С. 109 - 120.
7. Santos L.M.C., Almeida L.A.R., Fraga A.M., Veras C.A.G. Experimental investigation of a paraffin based hybrid rocket.// Thermal Engineering, Vol.5 - № 01 - July 2006. P. 8-12.
8. Лаутон Дж. Электрические аспекты горения. М.: Из-во "Энергия", 1976. - 296 с.
9. Ilchenko E.P., Shevchuk V.G. Role of charged soot grains in combustion of liquid hydrocarbon fuels in external electric field// Ukr. J. Phys, 2005, V. 50, № 2. – P. 144 - 150.
10. Imamura O., Kubo Y, Osaka J. A study on single fuel droplets combustion in vertical direct current electric fields// Proceedings of Combustion Institute. 2005.– V. 30, 2.– P.1949 - 1956.
11. Третьяков П.К., Тупикин А.В., Денисова Н.В., Ганеев О.В., Замашиков В.В., Козорезов Ю.С. Ламинарное пропановоздушное пламя

- В слабом электрическом поле// Физика горения и взрыва. -2012.-№ 2., С. 9 - 14.
- 12.Orlovskaya S.G., Kalinchak V.V., Shkoropado M.S., Karimova F.F., Chernyak V.Ya. Investigation of the Burning of Paraffin Droplets // Ukr. J. Phys. 2014, Vol. 59, № 4, P.396 - 400.
 - 13.Абугов Д.И., Бобылев В.М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение. 1987.- 272 с.
 - 14.Timothy R. Brown, Michael C. Lydon Testing of paraffin – based hybrid rocket fuel using hydrogen peroxide oxidizer// Department of Astronautical Engineering, USAFA. Colorado Space Grant Consortium. - 2005. P. 1 - 8.
 15. Переверзев А.Н. Производство парафинов.Москва: Химия, 1973. - 224с.
 - 16.Вайнштейн Б.К., Пинскер З.Г. Электронографическое изучение парафинов // Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР. Т. 6. 1951. С. 163-172.
 - 17.Вайнштейн Б.К., Лобачев А. Н., Стасова М. М. Электрографическое определения расстояния С–Н в некоторых парафинах // Кристаллография. 1958. Т. 3. Вып. 4. С. 452-460.
 - 18.Muller A. An X-ray investigation of normal paraffins near their ,melting points // Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1932. V. 138. P 514-530.
 - 19.Muller A. The crystal structure of the normal paraffins at temperatures ranging from that of liquid air to the melting points // Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1930. V. 127. P. 417-430.
 - 20.Sirota E.B., Singer D.M. Phase transitions among the rotator phases of the normal alkanes//J.Chem.Phys.1994.V.101.№15. P.1873-1882.
 - 21.Орловська С.Г., Каримова Ф.Ф, Шкоропато М.С., Бондаренко А.А. Дослідження впливу електричного поля на плавлення октадекану// Фізика і хімія твердого тіла.- 2016, Т.17, №2.- С.256-261.
 - 22.Орловська С.Г., Шкоропато М.С., Каримова Ф.Ф, Односталко А.О.// Вивчення високотемпературного тепломасообміну і кінетики фазових

- перетворень при горінні вищих алканів в повітрі// Фізика і хімія твердого тіла.- 2015, Т.16, №2.- С.347-350.
- 23.Orlovskaya S.G., Shkoropado M.S., Karimova F.F.Electric field interaction with hydrocarbon flames //Ukr. J. Phys. 2018. Vol.63, № 5, P. 402-405.
- 24.Kalinchak V.V., Karimova F.F., Orlovskaya S.G., Shkoropado M.S. Image processing to define burning rates// 16th International Conference Digital Signal Processing and its Applications. – 2014. – Moscow. – P. 449 - 452.
- 25.Орловська С.Г. Вплив електричного поля на характеристики плавлення та горіння парафіну// Фізика і хімія твердого тіла. -2015, Т.16, №4.- С. 747-750
- 26.Орехов К.Н. Повышение эффективности метеорологических ракет при применении гибридных двигателей// Космічна наука і технологія. -2016, Т. 22. № 2. - С. 52-59