

Копійка О.К.

кандидат фізико – математичних наук, доцент
професор кафедри загальної та хімічної фізики,
kopiuka@onu.edu.ua

Олифиренко Ю.О.

аспірант кафедри загальної та хімічної фізики
olifjulie@mail.ru

Калінчак В.В.

доктор фізико – математичних наук, професор
завідувач кафедрою теплофізики
vakaaka@yandex.ua

Дараків Д.С.

кандидат фізико – математичних наук
старший викладач кафедри загальної та хімічної фізики,
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна
darakov@onu.edu.ua

ВИПАРОВУВАННЯ КРАПЕЛЬ БІНАРНОЇ СУМІШІ БІОПАЛИВ

Як відомо, одним із загальновизнаних способів зменшення негативного впливу антропогенного фактора на навколишнє середовище є поступова заміна викопних палив на їх відновлювальні аналоги [1]. В якості останнього, у сегменті моторних палив, традиційно використовується (Е) – етанол (C_2H_5OH) [2]. Разом з тим, з появою і вдосконаленням нових ефективних технологій синтезу відновлюваних палив на основі біосировини, все більшого поширення набувають і інші гомологи ряду одноатомних насичених спиртів, таких наприклад, як (В) – бутанол (C_4H_9OH) та його ізомери [3], які мають низку переваг перед (Е). Але, як і у випадку з використанням (Е), однією з основних проблем при намаганні збільшити частку біопалив у суміші з моторними паливами, залишається наявність суттєвої відмінності теплофізичних властивостей біопаливних домішок і мінеральних палив, що не може не впливати на характерний час випаровування крапель, утворення, спалахування і горіння модифікованої паливно – повітряної суміші в камері згоряння. Враховуючи те, що ефективність згоряння палива в камері двигуна, багато в чому залежить від того, як на початковому етапі відбувається випаровування, в тому числі і відносно великих його крапель, дослідження випаровування крапель біопалив і їх бінарної паливної суміші, безумовно є актуальними.

Теоретичні дослідження процесу випаровування крапель суміші рідких палив у нагрітому повітряному середовищі проводилися із використанням дискретно – компонентного уявлення [4], відповідно до якого укладалась система рівнянь масо – теплообміну краплі палива:

$$\dot{m}_i = \pi d \cdot Sh \cdot \rho_g \cdot \varepsilon_i D_i \ln(1 + B_{M,i}); \quad (1)$$

$$\rho_l c_l \frac{dT_l}{dt} = \alpha (T_\infty - T_l) \frac{S_l}{V_l} - \frac{1}{V_l} \sum_i \dot{m}_i L_i \quad (2)$$

індекси i відносяться до i -тої компоненти суміші, g , l – до газової і рідкої фази відповідно; \dot{m}_i – потік пари; d – поточний діаметр краплі; D_i – коефіцієнт дифузії пари палива у повітрі; ρ_g – густина повітря; L_i – питома теплота випаровування; ε_i – частка компоненти в масовому потоці; $B_{M,i}$ – число Сполдінга для масопереносу.

У рамках даної моделі були отримані, розрахункові залежності квадрату поточного діаметра краплі $d^2(t)$ бінарної суміші біопалив з масовою часткою (Е) – 60% від часу, віднесені до квадрату початкового діаметра краплі d_0^2 , в інтервалі температури повітряного

середовища 440 – 675 К (рис.1.а), а також залежності температури краплі T_l від часу (рис.1.б).

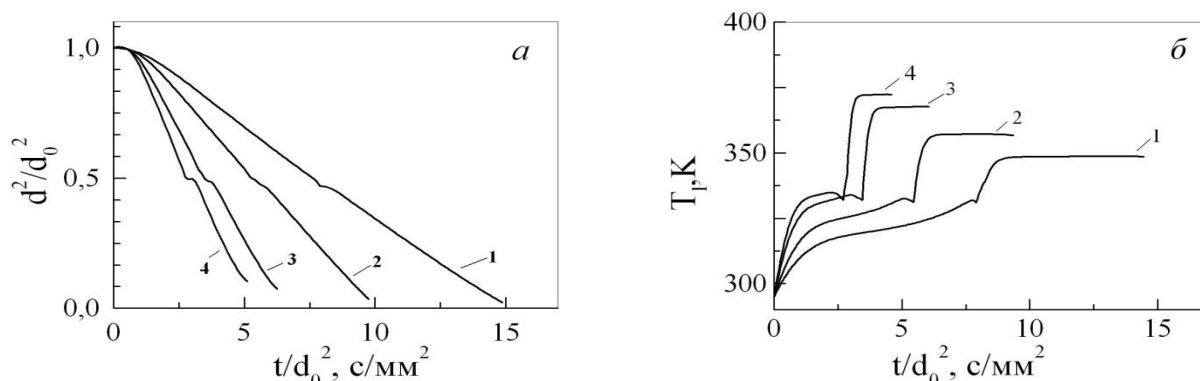


Рис.1. Кінетика випаровування краплі бінарної суміші біопалив Е 60% + В 40%
(1) – 440К, (2) – 500К, (3) – 605К, (4) – 675К.

Аналіз представлених на рис.1а даних показав, що кінетика випаровування краплі бінарної суміші в основному відповідає закону Срезневського, за виключенням недовготривалих нелінійних ділянок залежності $d^2(t)$, які спостерігалися для всього розглянутого інтервалу температур, і ця не лінійність була виражена тим сильніше, чим вище ставала температура середовища. Причина такої поведінки залежності $d^2(t)$ стає зрозумілою із співставлення її з результатами моделювання динаміки зміни температури цієї ж краплі під час випаровування рис.1.б. Наявність нелінійної ділянки $d^2(t)$ при $t/d_0^2 < 2 c/mm^2$ можна пояснити нагріванням краплі, і як наслідок, її тепловим розширенням на початку випаровування. Моменту появи іншої нелінійної ділянки $d^2(t)$, при подальшому випаровуванні краплі, відповідає момент різкого зростання температури краплі. Все це дозволяє припустити існування стадійного механізму випаровування краплі бінарної суміші досліджуваних біопалив, відповідно до якого, під час початкової стадії швидкість випаровування більш летючої компоненти – (Е) суттєво перевищує швидкість випаровування (В) – менш летючої компоненти бінарної суміші. І так буде продовжуватися до тих пір, поки перша компонента (Е) паливної суміші не випариться майже повністю при температурі що є близькою до її температури кипіння $T_b^E = 351K$. Під час наступної стадії крапля буде випаровуватися вже як однокомпонентна, проходячи при цьому послідовно всі стадії, включно зі стадією швидкого прогріву до температур близьких до температури $T_b^B = 390K$, та поступового випаровування за лінійним законом.

Для перевірки відповідності отриманих результатів реальному перебігу подій були проведені експериментальні дослідження кінетики випаровування крапель однокомпонентних біопалив (Е) і (В), а також бінарної суміші Е60%+В40% у нагрітому повітряному середовищі в діапазоні температур 350÷700К і атмосферному тиску. Дослідження проводилися за методом підвішеної краплі, – крапля палива поміщалась на рухомий П-подібний підвіс з металевого дроту з діаметром спая 600 мкм. Після чого за час $\sim 0,2$ с потрапляла у нагріте повітряне середовище. Поточний розмір краплі досліджуваного палива визначався за допомогою відеозйомки з частотою 5 кад/с і авторської програмної розробки для захоплення та обробки зображення. Отримані експериментальні дані для однієї із температур середовища представлені на рис.2. порівняно з відповідними теоретичними залежностями.

Аналіз залежності $d^2(t)$ для досліджуваних палив дозволив зробити оцінку величини константи випаровування крапель як однокомпонентних палив, так і їх бінарної суміші. Як видно з рис.2, значення констант випаровування, отриманих дослідним шляхом достатньо

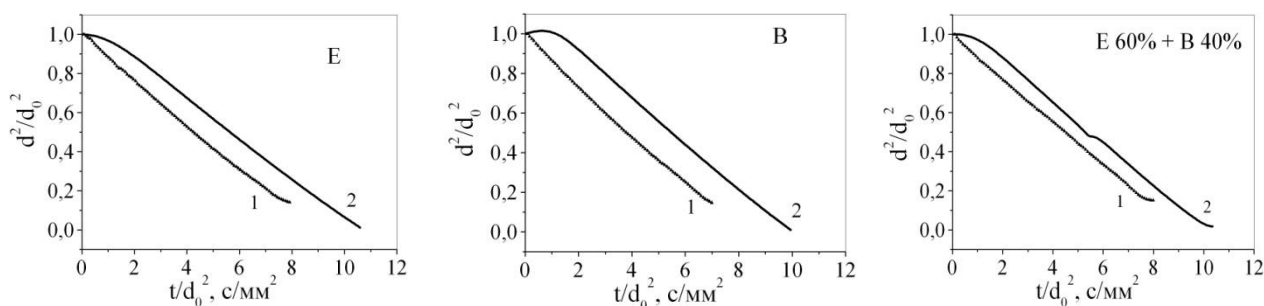


Рис.2 Порівняння експериментальних даних – (1) з результатами розрахунків кінетики випаровування однокомпонентних палив (E) і (B) та їх бінарної суміші E60%+B40% – (2) при температурі повітря .

добре узгоджуються з даними модельних розрахунків, а відсутність в експерименті передбачених цими розрахунками особливостей (нелінійні ділянки $d^2(t)$) процесу випаровування краплі бінарної суміші можна пояснити неврахуванням в моделі тепловим впливом підвісу. Певне підтвердження існування виявлених обрахунками особливостей процесу випаровування крапель суміші палив можна знайти в роботі [5], де представлені результати експериментальних досліджень кінетики випаровування та вимірювання температури крапель бінарної суміші етанолу і ацетону з водою. А саме, якісний характер поведінки температури краплі при випаровуванні водяних розчинів з значним (>65–72%) вмістом етанолу або ацетону, і температури краплі бінарної суміші біопалив, що представлена на рис. 1.б, співпадає.

Література

1. *Dukes J.S.* Burning buried sunshine human consumption of ancient solar energy / *J.S. Dukes* // *Climatic Change*.– 2003. – V.61. –P. 31–44.
2. *Gomez L.D.* Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls / *L.D.Gomez, C.G.Steele-King, S.J.McQueen-Mason* // *New Phytologist*.– 2008.–V.178, no. 3. –P. 473–485.
3. *Wallner T.* A Comparison of Ethanol and Butanol as Oxygenates Using a Direct-Injection, Spark-Ignition Engine / *T.Wallner, S. A.Miers and S. McConnell* // *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. – 2007. – V.131, no.3. –P. 129 – 139.
4. *Zhang L.* Vaporization modeling of petroleum-biofuel drops using a hybrid multi-component approach / *L. Zhang, S-Ch. Kong.* // *Combustion and Flame*. – 2010. – Vol. 157. – P. 2165-2174.
5. *В.И.Терехов* Тепломассообмен при испарении капель бинарных растворов / *В.И.Терехов, Н.Е.Шишкин* // *Испарение, конденсация: сб. трудов V Российской национальной конференции по теплообмену*. – М., 2010. – Т.4. – С.302 – 305.

Копійка О.К., Олифиренко Ю.О., Калінчак В.В., Дараків Д.С. Випаровування крапель бінарної суміші біопалив.

У роботі представлені результати досліджень випаровування крапель одноатомних насичених спиртів: етанолу (E), бутанолу (B) та їх бінарної суміші з масовою часткою (E) - 60% у нагрітому повітрі ($T_{\infty}=440\div 675\text{K}$). Застосовуючи дискретно-компонентний підхід для опису процесів тепло- масопереносу, що мають місце при випаровуванні різних за початковим складом крапель паливної суміші, запропоновані прогностичні оцінки динаміки зміни розміру, складу і температури крапель досліджуваних палив під час їх випаровування. Порівняльний аналіз, отриманих в рамках розглянутої моделі, розрахункових даних дозволив запропонувати можливий механізм випаровування крапель двохкомпонентної паливної суміші і пояснити деякі передбачені особливості у поведінці основних характеристик цього процесу.

Ключові слова: біопаливо, етанол, бутанол, бінарні суміші, випаровування, крапля.

Kopeyka A.K., Olifirenko J.O., Kalinchak V.V., Darakov D.S Binary biofuel mixtures droplet evaporation.

This paper presents the results of lower alcohols - ethanol (E), butanol (B) and their binary mixtures droplets evaporation process simulation in hot air ($T_{\infty} = 440 \div 675\text{K}$). During evaporation fuel droplets size, composition and temperature change dynamics prognostic evaluations were obtained using discrete-component approach for description of different initial composition fuel mixtures heat-mass transfer processes. Obtained within the framework calculated data comparative analysis allowed to propose a possible mechanism of multicomponent fuel mixtures droplets evaporation and explain some of predicted features in main process characteristics behavior.

Key words: biofuel, ethanol, butanol, binary mixtures, evaporation, drop.