

Бурлака С.А.

д.ф., доцент

Борецька Т.Ю.зав. науково-організаційного
відділу науково-дослідної частини**Вінницький національний
аграрний університет****Черниш Р.О.**

фронт-енд розробник

FlipSoft**Burlaka S.A.**Doctor of Philosophy, Associate
Professor**Boretska T.Yu.**Head of the Scientific and
Organizational Department of the
Research Unit**Vinnitsia National Agrarian
University****Chernysh R.**

Front-end Developer

FlipSoft**УДК 621.43.031:662.75****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-3-9****УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
СУМІШОУТВОРЕННЯ В КАМЕРІ
ЗГОРЯННЯ ДВИГУНА ПРИ ПОДАЧІ
ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНОЇ
ДВОФАЗНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ**

У статті розглянуто удосконалення процесу сумішоутворення в камері згоряння двигуна при подачі чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення однорідності паливоповітряного середовища, інтенсифікації випаровування рідкої фази та забезпечення стабільного згоряння багатоконпонентних палив. Запропоновано структурно-функціональну схему процесу, що охоплює окрему дозовану подачу чотирьох компонентів, їх попереднє змішування, формування двофазного потоку в змішувальній камері, подальше розпилювання через форсунку та утворення факела в камері згоряння. Особливу увагу приділено механізмам диспергування рідкої фази, випаровування крапель, взаємодії парової та рідкої фаз із повітрям і просторовому розподілу суміші в об'ємі камери. Визначено основні параметри, що впливають на якість сумішоутворення: тиск подачі, температура компонентів, співвідношення фаз, геометричні характеристики дозувальних каналів і змішувального вузла, а також дисперсність розпилю. Обґрунтовано доцільність поетапного формування суміші, яке дає змогу зменшити нерівномірність концентрації компонентів та забезпечити більш стабільну структуру двофазного факела. Запропонований підхід створює передумови для збільшення площі міжфазного контакту, прискорення тепло- і масообміну, покращення умов займання та підвищення повноти згоряння. Результати можуть бути використані при проєктуванні та модернізації систем живлення двигунів, що працюють на багатоконпонентних альтернативних паливних композиціях, а також як основа для подальшого експериментального та чисельного дослідження процесів сумішоутворення. Розроблена схема дає змогу простежити послідовність перетворення вихідних компонентів у підготовлену до займання однорідну паливоповітряну систему.

Ключові слова: чотирьохкомпонентна паливна суміш, двофазна суміш, сумішоутворення, камера згоряння, двигун внутрішнього згоряння, паливоподача, дозування компонентів, змішувальна камера, розпилювання палива, диспергування, двофазний факел, випаровування крапель, однорідність суміші, паливоповітряна суміш, альтернативне паливо.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
СУМІШОУТВОРЕННЯ В КАМЕРІ
ЗГОРЯННЯ ДВИГУНА ПРИ ПОДАЧІ
ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНОЇ
ДВОФАЗНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ © 2026
by Бурлака С.А., Борецька Т.Ю., Черниш
Р.О. is licensed under CC BY 4.0



Вступ. Підвищення енергетичної ефективності двигунів внутрішнього згоряння та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище залишаються одними з ключових завдань сучасного двигунобудування. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування багатокомпонентних паливних композицій, до складу яких можуть входити традиційні та альтернативні види палива, біокомпоненти, вода, газоподібні добавки та інші функціональні складові. Використання таких сумішей дає можливість цілеспрямовано змінювати фізико-хімічні властивості палива, впливати на характер згоряння, інтенсивність тепловиділення та екологічні показники двигуна [1].

Водночас збільшення кількості компонентів суттєво ускладнює процес формування якісної паливоповітряної суміші. Компоненти чотирьохкомпонентної паливної композиції можуть істотно відрізнятися за густиною, в'язкістю, леткістю, температурою кипіння, теплоємністю та здатністю до випаровування. За таких умов традиційні підходи до змішування та впорскування не завжди забезпечують стабільний склад суміші та рівномірний розподіл її компонентів у камері згоряння. Особливо складним є формування двофазного середовища, у якому одночасно присутні рідка та газоподібна фази [2].

Якість сумішоутворення безпосередньо визначає перебіг подальших процесів займання та згоряння. Недостатня дисперсність рідкої фази, нерівномірність концентрації компонентів, локальне перезбагачення або збіднення суміші можуть призводити до погіршення умов займання, зниження повноти згоряння, збільшення питомої витрати палива та утворення шкідливих компонентів відпрацьованих газів. Тому особливого значення набуває не лише точне дозування кожної складової, але й організація послідовного процесу їх об'єднання, попереднього змішування, диспергування та подальшого розподілу в об'ємі камери згоряння.

Перспективним підходом є поетапне формування чотирьохкомпонентної двофазної суміші. Така організація процесу передбачає окрему дозовану подачу компонентів через відповідні канали, їх попереднє змішування, формування двофазного потоку в спеціалізованій змішувальній камері та подальше розпилювання через форсунку. Після виходу з форсунки формується двофазний факел, у якому відбуваються дроблення крапель, їх нагрівання, випаровування, взаємодія з повітрям та просторовий перерозподіл паливних компонентів.

Особливу роль у цьому процесі відіграють тиск і температура подачі, геометричні характеристики дозувальних каналів і змішувальної камери, співвідношення

компонентів, розмір крапель рідкої фази та структура факела [3, 4]. Узгодження зазначених параметрів може забезпечити збільшення міжфазної поверхні контакту, інтенсифікацію тепло- і масообміну, прискорення випаровування та формування більш однорідного паливоповітряного середовища.

У зв'язку з цим актуальним є удосконалення процесу сумішоутворення в камері згоряння двигуна шляхом формування керованого чотирьохкомпонентного двофазного потоку. Особливий науковий інтерес становить дослідження послідовності проходження компонентів від моменту їх дозування до утворення готової до займання паливоповітряної суміші, а також визначення основних фізичних процесів, що відбуваються на кожному етапі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання підвищення ефективності сумішоутворення в двигунах внутрішнього згоряння тісно пов'язане з удосконаленням процесів дозування палива, його розпилювання, формування двофазного факела, нагрівання та випаровування крапель. Особливо складними ці процеси стають при використанні багатокомпонентних палив, складові яких відрізняються за густиною, в'язкістю, поверхневим натягом, температурою кипіння та леткістю. У такому випадку якість сумішоутворення визначається не лише характеристиками форсунки, а й способом попередньої підготовки компонентів та закономірностями їх взаємодії у рідкій і газовій фазах.

Проблеми адаптації процесу паливоподачі до зміни складу сумішевого палива досліджували С.С. Кравченко, А.О. Прохоренко та А.П. Кузьменко [5]. На прикладі бензино-біоетанольних сумішей авторами показано, що введення біоетанолу змінює стехіометричне співвідношення, теплотворну здатність та умови займання паливоповітряної суміші, а при значних концентраціях біокомпонента виникає необхідність коригування алгоритму паливоподачі. Таким чином, при переході до чотирьохкомпонентної системи важливим є не тільки забезпечення фізичного змішування компонентів, а й узгодження їх дозування з режимом роботи двигуна.

У закордонних дослідженнях значна увага приділяється безпосередньо фізичним процесам у багатокомпонентних краплях і паливних факелах. Фундаментальний підхід до опису випаровування багатокомпонентного палива запропонували Y. Ra та R. D. Reitz [6]. Розроблена ними модель дискретного багатокомпонентного палива враховує нестационарне випаровування окремих складових краплі, внутрішній теплоперенос та зміну температури її поверхні. Модель була орієнтована на опис реальних бензинових і дизельних композицій і продемонструвала



необхідність урахування відмінностей у леткості окремих компонентів.

Експериментальне підтвердження важливості багатокомпонентного складу отримано в роботі L. Zigan, I. Schmitz, A. Flügel, M. Wensing та A. Leipertz [7]. Дослідники вивчали структуру випарного одно- та багатокомпонентного паливного факела при безпосередньому впорскуванні та показали, що властивості окремих паливних фракцій впливають на просторову структуру рідкої й парової фаз, процес випаровування та стабільність факела. Це особливо важливо для чотирьохкомпонентної суміші, оскільки випаровування її компонентів відбуватиметься неодноразово.

У роботі S.S. Sazhin [8] та співавторів поєднано чисельне моделювання з експериментальними даними щодо нагрівання та випаровування багатокомпонентних крапель. Розроблена модель враховує теплоперенос, дифузії компонентів усередині краплі та взаємодію краплі з навколишнім газовим середовищем. Автори показали, що для багатокомпонентної системи необхідно враховувати не тільки зовнішню тепловіддачу, але й внутрішній перерозподіл температури та концентрацій компонентів. Такий підхід є безпосередньо застосовним до етапу «двофазний факел → нагрівання крапель → випаровування → формування паливоповітряної суміші» у запропонованій схемі сумішоутворення.

Подальший розвиток моделей багатокомпонентного випаровування представлено в роботі D. Fredrich та A. Giusti, де чисельно досліджено випаровування та самозаймання трикомпонентного паливного сурогату за різних температур, тисків і початкових розмірів крапель. Особливу увагу приділено переважному випаровуванню більш летких компонентів, унаслідок якого склад рідкої краплі постійно змінюється в процесі її нагрівання. Для чотирьохкомпонентної суміші цей ефект може бути ще більш вираженим і повинен враховуватися при визначенні послідовності введення компонентів та температурного режиму їх подачі.

Сучасні експериментальні дослідження M. Stöhr, S. Ruoff, B. Rauch, W. Meier та P. Le Clercq спрямовані на визначення впливу фізичних властивостей і хімічного складу традиційних та відновлюваних палив на випаровування крапель. У роботі 2024 року експериментально досліджено широкий набір транспортних палив та встановлено зв'язок між властивостями палива і динамікою його випаровування. Це підтверджує необхідність урахування індивідуальних характеристик кожної складової при розробленні чотирьохкомпонентної паливної композиції.

Порівняння розглянутих вітчизняних і закордонних досліджень показує певну відмінність

у їх спрямованості. У проаналізованих українських роботах основна увага приділяється технології приготування сумішевого палива, конструкції змішувальних пристроїв, течії емульгованого палива у форсунці, фазовій стабільності композицій та адаптації системи паливоподачі. У закордонних дослідженнях значно детальніше опрацьовані процеси вторинного розпилювання, внутрішнього тепло- і масопереносу в краплях, переважного випаровування окремих компонентів, взаємодії рідкої та газової фаз і просторового розвитку багатокомпонентного паливного факела.

Разом із тим аналіз наведених праць дає підстави виділити недостатньо досліджену ланку: комплексний процес послідовного перетворення чотирьох окремо дозованих компонентів у керований двофазний потік, його розпилювання форсункою, формування факела, випаровування крапель та остаточний просторовий розподіл компонентів у камері згоряння.

Метою досліджень є удосконалення процесу сумішоутворення в камері згоряння двигуна при подачі чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші шляхом обґрунтування послідовності дозування, попереднього змішування, формування двофазного потоку, його розпилювання та подальшого просторового розподілу компонентів у камері згоряння.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є процес формування чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші та її подальшого сумішоутворення в камері згоряння двигуна. Предметом дослідження є закономірності впливу способу дозування, послідовності введення компонентів, параметрів попереднього змішування, режимів розпилювання та фазового стану суміші на однорідність паливоповітряного середовища, дисперсність рідкої фази та характер формування паливного факела [9].

Досліджувану систему представлено у вигляді послідовного технологічного ланцюга: подача чотирьох компонентів → дозування → попереднє змішування → формування двофазного потоку → змішувальна камера → форсунка → утворення двофазного факела → випаровування крапель → просторовий розподіл суміші в камері згоряння. Така структура дає можливість окремо оцінити вплив кожної стадії на кінцеву якість сумішоутворення.

Чотири складові паливної композиції подавалися умовно незалежними каналами, що дозволяє задавати необхідне співвідношення їх масових або об'ємних витрат. Для кожного каналу передбачається наявність дозувального елемента, за допомогою якого забезпечується регулювання витрати компонента.

Після дозування компоненти надходять у зону попереднього змішування, де відбувається

первинне вирівнювання їх концентрацій. Наступним етапом є формування двофазного потоку в змішувальній камері. У межах дослідження двофазною вважається система, в якій одночасно присутні рідка та газоподібна або парова фази.

Для аналізу процесу утворення факела враховували геометрію розпилю, швидкість витікання суміші з форсунки, кут розкриття факела, довжину проникнення рідкої фази та характер її просторового розподілу. У зоні після виходу з форсунки процес розглядався як сукупність взаємопов'язаних явищ: первинного і вторинного дроблення крапель, їх нагрівання, випаровування та перемішування парової фази з повітряним зарядом.

Результати досліджень та їх обговорення. Запропонована схема процесу сумішоутворення відображає послідовне формування чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші від моменту подачі окремих складових до утворення паливоповітряного середовища безпосередньо в камері згоряння двигуна. Основною особливістю запропонованого підходу є роздільне дозування компонентів, їх поетапне об'єднання, попереднє змішування та формування керованого двофазного потоку перед розпилюванням.

На першому етапі чотири компоненти паливної композиції подаються окремими магістралями до дозувального блока. Використання незалежних каналів забезпечує можливість регулювання витрати кожного компонента та підтримання заданого їх співвідношення відповідно до режиму роботи двигуна. Така організація подачі дозволяє уникнути неконтрольованої зміни складу суміші та

створює передумови для керування її фізико-хімічними характеристиками.

Після проходження дозувальних елементів потоки спрямовуються до зони попереднього змішування. На цьому етапі відбувається первинне об'єднання компонентів, вирівнювання їх концентрацій та формування початкової структури багатокомпонентної суміші. Попереднє змішування має особливе значення для компонентів, які відрізняються за густиною, в'язкістю, леткістю та температурою випаровування, оскільки забезпечує більш рівномірне їх надходження до наступної стадії процесу.

Із зони попереднього змішування сформований потік надходить до змішувальної камери. У цій зоні відбувається інтенсивне перемішування компонентів під дією швидкісних градієнтів і турбулентних пульсацій потоку. Одночасно відбувається формування двофазної структури, представлені рідкою та газоподібною або паровою фазами. Інтенсивність процесу визначається тиском і температурою суміші, геометрією каналів, швидкістю руху компонентів та їх фізичними властивостями.

Формування двофазного потоку перед форсункою створює сприятливі умови для подальшого диспергування рідкої фази [10]. При проходженні суміші через соплові канали форсунки відбувається прискорення потоку, виникнення значних градієнтів швидкості та руйнування рідкої фази на окремі краплі. На виході з форсунки формується просторовий двофазний паливний факел, який складається з диспергованих крапель, паливної пари та газоподібної складової.

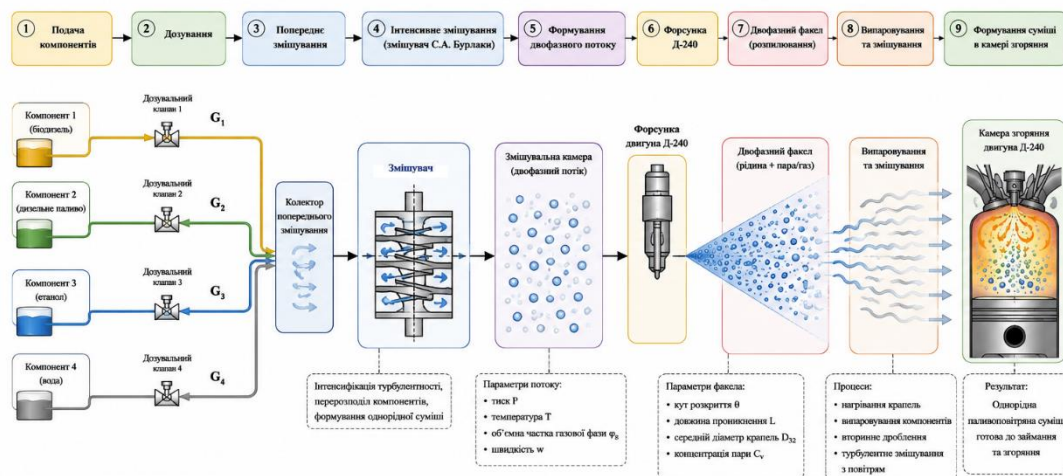


Рис. 1. Структурна схема процесу сумішоутворення

Після надходження факела до камери згоряння відбувається подальше вторинне дроблення окремих крапель, їх нагрівання та випаровування. Зменшення діаметра крапель приводить до збільшення питомої площі

міжфазної поверхні, що інтенсифікує тепло- і масообмін між паливом та повітряним зарядом. При цьому більш леткі компоненти випаровуються швидше, тоді як менш леткі залишаються в рідкій фазі протягом більш тривалого проміжку часу.

У процесі розвитку факела паливна пара та газоподібні складові змішуються з повітрям, що знаходиться в камері згоряння. Одночасно відбувається просторове вирівнювання концентрацій компонентів [11, 12]. Турбулентний рух повітряного заряду сприяє поширенню паливних компонентів у всьому об'ємі камери та зменшенню зон локального перезбагачення або збіднення суміші.

Висновки У результаті проведеного дослідження удосконалено структурно-функціональний підхід до формування чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші в камері згоряння двигуна.

Встановлено, що роздільне дозування компонентів із подальшим попереднім змішуванням є доцільним для багатокомпонентних паливних композицій, оскільки дозволяє підтримувати задане співвідношення складових та враховувати відмінності їх фізико-хімічних властивостей. Формування двофазного потоку перед форсункою створює передумови для підвищення якості розпилювання, збільшення міжфазної поверхні та інтенсифікації процесів тепло- і масообміну.

Обґрунтовано необхідність урахування селективного випаровування компонентів чотирьохкомпонентної суміші, оскільки відмінності температур кипіння та леткості складових зумовлюють зміну локального складу суміші в процесі розвитку факела. Врахування цього явища є важливою умовою адекватного математичного опису процесів сумішоутворення та подальшого згоряння.

Запропонована структурна схема може бути використана як основа для проектування та модернізації систем живлення двигунів, призначених для роботи на багатокомпонентних альтернативних паливних композиціях. Практична реалізація запропонованого підходу створює передумови для підвищення стабільності займання, повноти згоряння, енергетичної ефективності та зниження екологічного навантаження двигуна.

Список використаних джерел

1. Бурлака С. А. Розробка змішувача біодизельного палива та моделювання процесу змішування. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. Т. 11, № 1. С. 11–17. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-11-17.
2. Бурлака С. А., Галушак О. О., Гуменюк Ю. В. Дослідження течії палива в розпилювачі форсунок при використанні спиртових добавок в емульгованих паливах. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. Т. 11, № 1. С. 18–27. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-18-27.
3. Бурлака С. А., Митко М. В., Борецька Т. Ю., Ярошук Р. О. Стабілізація біопаливних

сумішей методом фазової сепарації дизельного палива з біоетанолом. *Вісник машинобудування та транспорту*. Т. 21, № 1. С. 30–37. DOI: 10.31649/2413-4503-2024-19-1-30-37.

4. Галушак О. О., Бурлака С. А., Галушак Д. О., Малаков О. І. Обґрунтування впливу температури компонентів сумішевого палива на роботу двигуна. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. Т. 9, № 1. С. 38–43. DOI: 10.31649/2413-4503-2019-9-1-38-43.

5. Кравченко С. С., Прохоренко А. О., Кузьменко А. П. Адаптація автомобільного бензинового двигуна для роботи на сумішевому паливі з біоетанолом. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2025. № 1. С. 22–28. DOI: 10.20998/0419-8719.2025.1.03.

6. Ra Y., Reitz R. D. A vaporization model for discrete multi-component fuel sprays. *International Journal of Multiphase Flow*. 2009. Vol. 35, No. 2. P. 101–117. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2008.10.006.

7. Zigan L., Schmitz I., Flügel A., Wensing M., Leipertz A. Structure of evaporating single- and multicomponent fuel sprays for 2nd generation gasoline direct injection. *Fuel*. 2011. Vol. 90, No. 1. P. 348–363. DOI: 10.1016/j.fuel.2010.08.001.

8. Sazhin S. S., Elwardany A. E., Krutitskii P. A., Deprédurand V., Castanet G., Lemoine F., Sazhina E. M., Heikal M. R. Multi-component droplet heating and evaporation: Numerical simulation versus experimental data. *International Journal of Thermal Sciences*. 2011. Vol. 50, No. 7. P. 1164–1180. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2011.02.020.

9. Fredrich D., Giusti A. Numerical investigation of multi-component droplet evaporation and autoignition for aero-engine applications. *Combustion and Flame*. 2022. Vol. 241. Article 112023. DOI: 10.1016/j.combustflame.2022.112023.

10. Stöhr M., Ruoff S., Rauch B., Meier W., Le Clercq P. Experimental study of droplet vaporization for conventional and renewable transportation fuels: Effects of physical properties and chemical composition. *Fuel*. 2024. Vol. 356. Article 129535. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129535.

11. Zhang Y., Meng K., Bao L., Lin Q., Pavlova S. Experimental Study on Evaporation and Micro-Explosion Characteristics of Ethanol and Diesel Blended Droplets. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, No. 5. Article 604. DOI: 10.3390/atmos15050604.

12. Cuoci A., Cipriano E., Saufi A. E., Frassoldati A. A numerical framework for modeling evaporation and combustion of isolated, spherically-symmetric, multi-component fuel droplets. *Journal of Computational Science*. 2024. Vol. 83. Article 102453. DOI: 10.1016/j.jocs.2024.102453.



References

1. Burlaka S. A. Development of a biodiesel mixer and modeling of the mixing process. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 11–17. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-11-17.
2. Burlaka S. A., Galushchak O. O., Gumenyuk Y. V. Investigation of fuel flow in the nozzle atomizer when using alcohol additives in emulsified fuels. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 18–27. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-18-27.
3. Burlaka S. A., Mytko M. V., Boretska T. Yu., Yaroshchuk R. O. Stabilization of biofuel mixtures by the method of phase separation of diesel fuel with bioethanol. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. Vol. 21, No. 1. P. 30–37. DOI: 10.31649/2413-4503-2024-19-1-30-37.
4. Galushchak O. O., Burlaka S. A., Galushchak D. O., Malakov O. I. Substantiation of the influence of the temperature of the components of the mixed fuel on the engine operation. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. 2019. Vol. 9, No. 1. P. 38–43. DOI: 10.31649/2413-4503-2019-9-1-38-43.
5. Kravchenko S. S., Prokhorenko A. O., Kuzmenko A. P. Adaptation of an automobile gasoline engine to operate on a mixed fuel with bioethanol. *Internal Combustion Engines*. 2025. No. 1. P. 22–28. DOI: 10.20998/0419-8719.2025.1.03.
6. Ra Y., Reitz R. D. A vaporization model for discrete multi-component fuel sprays. *International Journal of Multiphase Flow*. 2009. Vol. 35, No. 2. P. 101–117. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2008.10.006.
7. Zigan L., Schmitz I., Flügel A., Wensing M., Leipertz A. Structure of evaporating single- and multicomponent fuel sprays for 2nd generation gasoline direct injection. *Fuel*. 2011. Vol. 90, No. 1. P. 348–363. DOI: 10.1016/j.fuel.2010.08.001.
8. Sazhin S.S., Elwardany A.E., Krutitskii P.A., Deprédurand V., Castanet G., Lemoine F., Sazhina E.M., Heikal M.R. Multi-component droplet heating and evaporation: Numerical simulation versus experimental data. *International Journal of Thermal Sciences*. 2011. Vol. 50, No. 7. P. 1164–1180. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2011.02.020.
9. Fredrich D., Giusti A. Numerical investigation of multi-component droplet evaporation and autoignition for aero-engine applications. *Combustion and Flame*. 2022. Vol. 241. Article 112023. DOI: 10.1016/j.combustflame.2022.112023.
10. Stöhr M., Ruoff S., Rauch B., Meier W., Le Clercq P. Experimental study of droplet vaporization for conventional and renewable transportation fuels: Effects of physical properties

and chemical composition. *Fuel*. 2024. Vol. 356. Article 129535. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129535.

11. Zhang Y., Meng K., Bao L., Lin Q., Pavlova S. Experimental Study on Evaporation and Micro-Explosion Characteristics of Ethanol and Diesel Blended Droplets. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, No. 5. Article 604. DOI: 10.3390/atmos15050604.

12. Cuoci A., Cipriano E., Saufi A.E., Frassoldati A. A numerical framework for modeling evaporation and combustion of isolated, spherically-symmetric, multi-component fuel droplets. *Journal of Computational Science*. 2024. Vol. 83. Article 102453. DOI: 10.1016/j.jocs.2024.102453

IMPROVEMENT OF THE MIXTURE FORMATION PROCESS IN THE ENGINE COMBUSTION CHAMBER WHEN SUPPLYING A FOUR-COMPONENT TWO-PHASE FUEL MIXTURE

The article considers the improvement of the mixture formation process in the engine combustion chamber when supplying a four-component two-phase fuel mixture. The relevance of the study is due to the need to increase the homogeneity of the fuel-air environment, intensify the evaporation of the liquid phase and ensure stable combustion of multicomponent fuels. A structural and functional scheme of the process is proposed, which includes a separate metered supply of four components, their preliminary mixing, the formation of a two-phase flow in the mixing chamber, subsequent spraying through the nozzle and the formation of a torch in the combustion chamber. Particular attention is paid to the mechanisms of dispersion of the liquid phase, evaporation of droplets, interaction of vapor and liquid phases with air and spatial distribution of the mixture in the chamber volume. The main parameters that affect the quality of mixture formation are determined: supply pressure, temperature of components, phase ratio, geometric characteristics of dosing channels and mixing unit, as well as spray dispersion. The feasibility of step-by-step mixture formation is substantiated, which allows to reduce the unevenness of the concentration of components and ensure a more stable structure of the two-phase torch. The proposed approach creates the prerequisites for increasing the area of interphase contact, accelerating heat and mass transfer, improving ignition conditions and increasing the completeness of combustion. The results can be used in the design and modernization of power systems for engines operating on multi-component alternative fuel compositions, as well as as a basis for further experimental and numerical research of mixture formation processes. The developed scheme allows us to trace the sequence of transformation of



the initial components into a homogeneous fuel-air system prepared for ignition.

Keywords: four-component fuel mixture, two-phase mixture, mixture formation, combustion chamber, internal combustion engine, fuel supply,

component dosing, mixing chamber, fuel atomization, dispersion, two-phase torch, droplet evaporation, mixture homogeneity, fuel-air mixture, alternative fuel.

Відомості про авторів

Бурлака Сергій Андрійович – доктор філософії з галузевого машинобудування, доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>)

Борецька Тетяна Юріївна – зав. науково-організаційного відділу науково-дослідної частини Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: boretska2002@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7966-228X>).

Черниш Роман Олександрович – фронт-енд розробник у FlipSoft, (м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tschernysh@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0505-9374>).

Burlaka Serhii – PhD in Industrial Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics and Technological Processes in the Agro-Industrial Complex, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: ipserhiy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>).

Boretska Tetiana – Head of the Scientific and Organizational Department of the Research Unit, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: boretska2002@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-228X>).

Chernysh Roman – Front-end Developer at FlipSoft (Vinnytsia, 21008, Ukraine; e-mail: tschernysh@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-0505-9374>).

Стаття надійшла 21.08.2026

Стаття прийнята 04.09.2026

Опубліковано 12.10.2026