УДК 621.45.034.022

doi: 10.32620/aktt.2021.4sup2.04

І. В. МОРОЗОВА, Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО

Національний авіаційний університет, Київ

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУМІШОУТВОРЕННЯ В КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Удосконалення сумішоутворення і горіння різних видів палив в камері згоряння є одним із шляхів розвитку сучасних двигунів. Вимоги до надійності, довговічності, тактико-технічним характеристикам і не менш важливо, до екологічності ставлять нові проблеми в цій галузі науки і техніки. Зазначене в значній мірі визначається ступенем досконалості окремих процесів в робочому циклі двигунів. Підвищення потужності відповідно до вимог зростання енергонасиченості і продуктивності транспортних машин лімітується ресурсом і надійністю роботи двигуна в зв'язку зі збільшенням теплового та механічного навантаження основних деталей. Розширення сфери застосування обмежується підвищеними викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами, рівнями гучності і вібрації працюючого двигуна. Споживання в зростаючих кількостях рідкого палива вимагає подальшого підвищення паливної економічності. Основним процесом робочого циклу поршневого двигуна є процес згоряння палива. Від його якості залежать паливна економічність, потужність, моторесурс і екологічні показники. Тому вдосконалення цього процесу приділяється найбільша увага. Розвитку сучасних двигунів полягає вивченням і вдосконаленням робочого процесу на рідкому і газоподібному компонентах палива. На підставі сказаного і відповідно до актуальністю даної проблеми, був вивчений спосіб електромагнітного впливу на паливо. Результати експериментальних досліджень, показали ефективність застосування електрофізичного впливу на вуглеводневе паливо щодо покращення параметрів та характеристик теплових двигунів. Встановлено, що електрофізичний вплив на вуглеводневе паливо підвищує повноту згоряння палива на 4...6 % і знижує відкладення нагару в камері згоряння газотурбінного двигуна на 20...25 %. Поліпшення процесів згоряння палива в попередніх фазах призводить до скорочення фази догорання, що тягне за собою зменшення температури відпрацьованих газів, зниження концентрації оксиду вуглецю на 0,64 ... 0,7 %, концентрації вуглеводнів на 25 ... 35 % і концентрацію оксиду азоту на 12 ... 16 %.

Ключові слова: сумішоутворення; камера згоряння теплового двигуна; швидкість хімічної реакції горіння; електромагнітний вплив; енергія активації; паливо; відпрацьовані гази.

Вступ

Паливо в камері згоряння газотурбінного двигуна (ГТД) подається форсунками в розпиленому вигляді. При несприятливих умовах (щодо низької температури повітря, малих тисків розпилювання) частина краплі може не встигнути випаруватися до факела полум'я. В цьому випадку в зону горіння надходить гетерогенна суміш, яка складається з повітря, парів палива і краплі рідкого палива. Дослідження горіння двофазних газоповітряних сумішей показало, що подібні суміші горять в більш широкому діапазоні зміни α , ніж гомогенні суміші. При випаровуванні крапель створюються місцеві концентрації суміші, більш сприятливі для горіння, ніж в гомогенної суміші при тому ж самому середньому значенні α . Швидкість поширення зони горіння в двофазних сумішах такого ж порядку, що і для однорідних сумішей [1].

В даний час вдосконалення параметрів робочого процесу камер згоряння ґрунтується на оптиміза-

ції їх термодинамічних і емісійних параметрів при різних режимах роботи ГТД [2]. Для цього розробляються нові конструкції камер згоряння, які розвиваються за двома основними напрямками: організація процесу горіння; підготовка паливо-повітряної суміші.

Серед сучасних методів підвищення ефективності камер згоряння окремо можна виділити методи електромагнітного впливу на вуглеводневі палива. Електромагнітна обробка відбувається на етапі підготовки палива до згоряння.

Складний хід процесів горіння значно ускладнює проектування камер згоряння, який пов'язаний із забезпеченням суперечливих вимог. З одного боку камери згоряння повинні мати: високу повноту згоряння палива ($\eta_f \geq 0,99$); стійкість горіння в широкому діапазоні коефіцієнтів надлишку повітря (від $\alpha_{\min}=1,0...1,5$ до $\alpha_{\max}=20...40$), тиску і швидкості; малі втрати повного тиску ($\sigma_{\text{кк}}=0,97...0,99$); забезпечення заданих окружних і радіальних епюр температури газу на вході в турбіну. З іншого боку необхід-

но забезпечити: низький рівень викидів шкідливих речовин (CO , C_nH_m , NO_x , диму), відкладень нагару в жаровій трубі; низьку собівартість виготовлення і простоту обслуговування в експлуатації; високу надійність і ресурс; забезпечення працездатності камери згоряння без ремонту певного гарантованого терміну; малу масу і габаритні розміри [3, 4].

Для виконання таких жорстких вимог необхідною глибоке розуміння фізико-хімічних процесів в камері згоряння, головною відмінною особливістю яких, в порівнянні з іншими вузлами двигуна, є відсутність постійних надійних методів проектування і використання для цього емпіричних підходів.

1. Електрофізичний вплив на вуглеводневе паливо

В основу електрофізичного впливу покладено взаємодія молекулярної рідкої системи з зовнішнім магнітним і електромагнітним полями [5]. Атомні частки, потрапляючи в магнітне поле, орієнтуються в ньому і отримують зсмановську додаткову енергію:

$$E = -\mu_n H_0, \quad (1)$$

де μ_n – магнітний момент протона,
 H_0 – напруженість магнітного поля.

Ядерна поляризація при збільшенні напруженості зовнішнього магнітного поля збільшується. В обсязі речовини є спрямований уздовж зовнішнього поля сумарний магнітний момент ядер M (намагніченість):

$$M = \frac{\mu^2 H_0 n_0}{kT}, \quad (2)$$

де k – постійна Больцмана.

Різке зменшення напруженості магнітного поля призводить до того, що додаткова енергія протона, за рахунок надтонкої взаємодії, поглинається розташованим поблизу воднем, атомами елементів з відмінним від нуля електронним спіном. Цими елементами можуть бути парамагнетичний кисень, вільні радикали і т.д., тобто парамагнітні центри взаємодіють з основною хімічною сполукою. Збільшення поляризації ядер водню при зміні напруженості магнітного поля неминує викликає руйнування електронних оболонок в молекулах за рахунок надтонкої взаємодії, що, в свою чергу, викликає індукційні струми, які впливають на фізичні властивості рідин.

Для підвищення ефективності, стабільності і універсальності магнітного впливу на рідкі системи запропонований електрофізичний спосіб, заснований на резонансному поглинанні енергії протонної системою рідини. Спосіб полягає в одночасному впливі на рідину неоднорідного постійного магніт-

ного поля і резонансного височастотного електромагнітного поля. Частота коливань збігається з частотою прецесії ядер в даному магнітному полі і спостерігається виборче поглинання енергії генератора на частоті:

$$\omega = \gamma H_0, \quad (3)$$

де γ – гіромагнітне відношення ядра.

Змінне електромагнітне поле H_1 викликає обурення системи спинів, яке описується гамільтоном $\mathcal{H}$:

$$\mathcal{H}'(t) = \mathcal{H} \cos \omega t = q_n \beta (I_x H_{1x} + I_y H_{1y} + I_z H_{1z}) \cos \omega t.$$

Вплив електромагнітного поля викликає інтенсивні переходи "від низу до верху" і, навпаки, між енергетичними рівнями і больцманівський розподіл порушується. При цьому електромагнітна енергія поля частково поглинається протонною системою рідини, спостерігається сигнал абсорбції, а також, збільшується енергія середовища.

Потужність P , яка поглинається спинами зі змінного електромагнітного поля, дорівнює:

$$P = h\omega W_n = h\omega W \frac{n_0}{1 - (\gamma H_1)^2 T_1 T_2}, \quad (4)$$

де T_1, T_2 – час релаксації;
 h – постійна Планка.

Таким чином, резонансне поглинання протонною системою рідини електромагнітної енергії коливального контуру, а в подальшому обмін цієї енергії з молекулярною системою рідини, призводить до зміни фізичних і фізико-хімічних показників палива [6, 7].

В кінцевому підсумку, електрофізичний вплив призводить до зміни константи швидкості хімічної реакції K_f , зумовленою, по закону Арреніуса, за рахунок зміни енергії активації E_a , що, в свою чергу, впливає на швидкість і повноту горіння (рис. 1):

$$K_f = k_0 \sqrt{\frac{-E_a}{RT}}, \quad (5)$$

де k_0 – коефіцієнт, що залежить від молярних мас речовини і розмірів реагуючих молекул; $e^{\frac{-E_a}{RT}}$ – експонента функції Ареніуса.

2. Дослідження змішоутворення палива до і після ЕФВ

Вуглеводневі палива представляють собою неполярні рідкі діелектрики з розведеними в них полярними молекулами невеликої концентрації. Властивості діелектриків на змінному струмі розгляда-

ють, користуючись поняттям комплексної діелектричної проникності:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' , \quad (6)$$

де ε' і ε'' – дійсна і уявна частини комплексної діелектричної проникності.

Рис. 1. Енергія активації

Комплексна діелектрична проникність ε визначає комплексну ємність C конденсатора:

$$C = \varepsilon C_B ,$$

де C_B – ємність вакуумного конденсатора.

Тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ виражається формулою (рис. 2):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} .$$

Рис. 2. Залежність тангенса кута втрат $\operatorname{tg} \delta$ реактивних палив

Діелектрична проникність ε і тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ вуглеводневих рідин залежать від температури [8]. Діелектрична проникність палив при зміні температури змінюється незначно і практично лінійно, що повністю узгоджується з теорією діелектриків і аналітична залежність ε від температури для досліджуваних нафтопродуктів виражається рівнянням прямої лінії:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 - \alpha t_0 , \quad (7)$$

де ε_t – діелектрична проникність при даній температурі;

ε_0 – діелектрична проникність при $t = 0^\circ\text{C}$;

α – температурний коефіцієнт ε і має порядок $10^{-3} \text{ град}^{-1}$;

t_0 – температура рідини.

У певних умовах при підвищенні температури і контакті з киснем нестабільні вуглеводні і гетероорганічні сполуки окислюються, що призводить до збільшення їх молекулярної ваги, отже до зміни діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат. Первинні продукти окислення повністю розчиняються в паливах, але в подальшому, у міру збільшення глибини окислення і ускладнення складу стають нерозчинними. Внаслідок цього в паливах гомогенна система перетворюється в гетерогенну [9, 10], в якій поступово збільшуються розміри частинок другої фази. Проведені дослідження, показали, що діелектрична проникність всіх зразків палив залежить від температури і з підвищенням температури лінійно зменшується. При нагріванні палива розширюються, внаслідок чого в одиниці об'єму виявляється менше молекул і діелектрична проникність рідини падає.

3. Дослідження швидкості окислення палива після впливу

Встановлений ефект більш високої швидкості окислення палив після ЕФВ має велике практичне значення. У двигунах швидкість наступних процесів окислення випарованого палива істотно залежить від «хімічної передісторії» палива, тобто порівняно легко здійснюване ініціювання окислення крапель палива служить способом регулювання самозапалювання палива в двигунах.

При електрофізичному впливі на паливо відбувається підвищення займистості вуглеводневого палива, зменшення періоду затримки запалення τ_i , який визначається за формулою Н. Н. Семенова:

$$\tau_i = \frac{\text{const}}{A_{\text{см}}} P^{-\nu} e^{\frac{E_a}{RT}} , \quad (8)$$

де $A_{\text{см}}$ – множник, що залежить від складу реагуючої суміші;

ν – сумарний порядок реакції розгалуження;

P – тиск повітря в циліндрі;

E_a – енергія активації;

T – температура реагуючої суміші.

Тривалість перебування палива в краплинному стані невелика, обчислюється частками секунди [11], в той час як швидкість окислення з утворенням перексид та інших легкозаймистих продуктів неповного окислення дуже значна і залежить від

енергії активізації E_a . Швидкість хімічної реакції горіння по паливу в даний момент часу пропорційна добутку концентрації реагуючих речовин в той же момент часу:

$$W_f = \frac{dC_f}{d\tau} = k_f C_f^{v_f} C_k^{v_k}, \quad (9)$$

де k_f – константа швидкості реакції;

C_f , C_k – концентрація відповідно палива і кисню;

v_f , v_k – порядки реакції відповідно по паливу і кисню;

τ – час.

Залежність константи швидкості хімічної реакції визначається за законом Арреніуса (5), отже, при зменшенні енергії активації E_a , як наслідок електрофізичного впливу на енергію міжмолекулярної взаємодії між молекулами палива і кисню, швидкість реакції горіння (9) по паливу W_f зростає [10]. Завдяки зменшенню τ_i , тривалість (8) першої фази скорочується, відтак менша частка палива потрапляє за цей час в циліндр двигуна. Зменшення кількості палива в період затримки запалення τ_i , але достатнього для стійкого займання суміші, призводить до отримання найкращого показника жорсткості і економічності робочого процесу двигуна [11].

Підвищення швидкості реакції окиснення W_f в основній фазі горіння є однією з вимог поліпшення економічності і сприяє збільшенню повноти згоряння [12]. Поліпшення процесів згоряння палива в попередніх фазах призводить до скорочення фази догорання, що тягне за собою зменшення температури відпрацьованих газів, зниженню концентрації оксиду вуглецю на 0,64 ... 0,7%, концентрації вуглеводів на 25...35 % і концентрацію оксиду азоту на 12 ... 16%.

Висновки

Удосконалення процесу сумішоутворення і горіння палива в камері згоряння теплових двигунів, а також результати теоретичних і експериментальних досліджень показали, що для вирішення завдання поліпшення паливної ефективності двигунів доцільно шляхом впливу на паливо. Встановлено, електрофізичний вплив призводить до збільшення діамagnetизму вуглеводневої рідини за рахунок надтонкої взаємодії збуджених ядерних спінів водню і електронами парамагнітних центрів (розчиненого кисню) утворюючи діамagnetні комплекси, що сприяє збільшенню швидкості окислення вуглеводнів в обсязі рідкої фази. При зменшенні енергії активації як наслідок електрофізичного впливу на енергію міжмолекулярної взаємодії між молекулами палива і кисню, швидкість реакції горіння по паливу зростає.

Література

1. Теорія теплових двигунів. Газодинамічний розрахунок елементів газотурбінних двигунів: навч. Посібник [Текст] / Ю. М. Терещенко, М. С. Кулик, М. М. Мітрахович [та ін.] ; за ред. Ю. М. Терещенка. – К. : НАУ, 2015. – 292 с.
2. Федякин, В. Н. Прогноз развития авиационных двигателей до 2030 г. [Текст] / В. Н. Федякин, А. И. Ланишин, В. Д. Николаева // Материалы конференции Авиадвигатели XXI века, ЦИАМ имени П. И. Баранова, 2015. – Москва, 2015. – С. 112-114.
3. Теория авиационных трехконтурных турбореактивных двигателей [Текст] : монография / Ю. М. Терещенко, Н. С. Кулик, И. А. Ластивка [и др.] ; под ред. проф. Ю. М. Терещенко. – К. : Изд-во Нац. авиац. ун-та «НАУ-друк», 2010. – 116 с.
4. Литвинов, Ю. А. Характеристики и эксплуатационные свойства авиационных турбореактивных двигателей [Текст] / Ю. А. Литвинов, В. О. Боровик. – М. : Машиностроение, 1995. – 395 с.
5. Абрагам, А. Ядерный магнетизм [Текст] / А. Абрагам. – М. : Иностранная литература, 1963. – 551 с.
6. Morozova, I. V. Decrease in the Concentration of Hazardous Components of Exhaust Gases from a Combustion Chamber of a Heat Engine [Text] / I. V. Morozova, V. I. Morozov // Nanostructured Materials for the Detection of CBRN. – Springer, 2019. – P. 319-330.
7. Эффект изменения свойств углеводородных топлив под воздействием электрического поля [Текст] / О. В. Белый, Ю. М. Искандеров, В. Г. [и др.] // Механика и наномеханика структурно-сложных и гетерогенных сред. Успехи, проблемы, перспективы, 12–14 апреля 2010 г. : сборник трудов всероссийской конференции приуроченной к 20-летию ИПРИМ. – М., 2016. – Т. 2. – С. 83–94.
8. Morozova, I. V. Change of heat engine performance by electro-physical influence on fuel. [Text] / I. V. Morozova, Yu. M. Tereschenko, S. L. Maksimov // The Advanced Science Journal. – 2016. – vol. 2016, issue 02. – P. 45-49.
9. Энергоемкие горючие для авиационных ракетных двигателей [Текст] / В. И. Бакулин, Н. Ф. Дубовкин [и др.]. – М. : Физматлит, 2009. – 400 с.
10. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения [Текст] / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова. – Санкт-Петербург : С-ПГТУРП, 2011. – 84 с.
11. Погорлецкий, Д. С. Перспективы магнитной обработки углеводородных топлив на автотранспорте [Текст] / Д. С. Погорлецкий, А. Б. Малыгин, А. В. Котыло // Научный вестник Херсонского государственного морского института. – 2013. – №3. – С. 58–66.
12. Прудников, А. Г. Процессы смесеобразования и горения в воздушно-реактивных двигателях

[Текст] / А. Г. Прудников, М. С. Вольнский, В. И. Сагалович. – М. : Машиностроение, 2003. – 356 с.

References

1. Tereshchenko, Yu. M., Kulik, N. S., Mitrahovich, M. M. *Teorija teplovih dviguniv* [Theory of thermal engines]. Kiev, Publishing House of the National Aviation University Publ., 2015. 292 p.
2. Fedjakin, V. N., Lanshin, A. I., Nikolaeva, V. D. *Prognoz razvitiya aviacionnyh dvigatelej do 2030 g.* [Forecast of the development of aircraft engines until 2030 g.]. Materialy konferencii Aviadvigateli XXI veka [Materials of the conference Aircraft engines of the XXI century], CIAM named after P. I. Baranova, Moscow, 2015, pp. 112-114.
3. Tereshchenko, Yu. M., Kulik, N. S., Lastivka, I. A. *Teorija aviacionnyh trehkonturnykh turboreaktivnyh dvigatelej* [Theory of aircraft three-circuit turbojet engines]. Kiev, Publishing House of the National Aviation University "NAU-Druk", 2010. 116 p.
4. Litvinov, Yu. A., Borovik, V. O. *Harakteristiki i eplutastionny svoistva aviationsionnih turboreaktivnyh dvigatelei* [Characteristics and performance properties of aircraft turbojet engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995. 395 p.
5. Abraham, A. *Yaderny mahnetizm* [Nuclear magnetism]. Moscow, Inostrannaja literatura Publ., 1963. 551 p.
6. Morozova, I. V., Morozov, V. I. Decrease in the Concentration of Hazardous Components of Exhaust Gases from a Combustion Chamber of a Heat Engine.

Nanostructured Materials for the Detection of CBRN, Springer, 2019, pp. 319-330.

7. Bely, O. V., Iskanderov, Yu. M., Muramovich, B. G. *Jeffekt izmenenija svojstv uglevodorodnyh topliv pod vozdejstviem jelektricheskogo polja* [Effect of changes in the properties of hydrocarbon fuels under the influence of an electric field]. *Proceedings of the IAMRAS 2010*, 12–14 April 2010, Moscow, 2010, vol. 2, pp. 83-94.
8. Morozova, I. V., Tereshchenko, Yu. M., Maksimov, S. L. Change of heat engine performance by electro-physical influence on fuel. *The Advanced Science Journal*, 2016, vol. 2016, issue 02, pp. 45-49.
9. Baculin, V. I., Dubovkin, N. F. *Enerhoyomkia goryuchia dlya aviationsionnikh raketnikh dvigateley* [Energy-intensive fuels for aircraft rocket engines]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 400 p.
10. Belousov, V. N., Smorodin, S. N., Smirnova, O. S. *Toplivo i teoriya horenya* [Fuel and combustion theory]. St. Petersburg, St-PSTUPP Publ., 2011. 84 p.
11. Pogorletsky, D. S., Malygin, A. B., Kotylo, A. V. *Perspektivy magnitnoj obrabotki uglevodorodnyh topliv na avtotransporte* [Prospects for magnetic processing of hydrocarbon fuels in vehicles]. *Naukovij visnik Hersons'kogo derzhavnogo mors'kogo institutu – Scientific Visnik of the Kherson Sovereign Marine Institute*, 2013, no. 3, pp. 58–66.
12. Prudnikov, A. G., Volinskij, M. S., Sagalovich, V. I. *Procesi smeseobrazovaniya i goreniya v vozdushno-reaktivnyh dvigatelyah* [Mixing and combustion processes in air-breathing engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 356 p.

Надійшла до редакції 29.06.2021, розглянута на редколегії 20.08.2021

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

И. В. Морозова, Ю. М. Терещенко

Совершенствование смесеобразования и горения различных видов топлив в камере сгорания является одним из путей развития современных двигателей. Требования к надежности, долговечности, тактико-техническим характеристикам и, что немаловажно, к экологичности ставят новые проблемы в этой области науки и техники. Указанное в значительной степени определяется степенью совершенства отдельных процессов в рабочем цикле двигателей. Повышение мощности в соответствии с требованиями роста энергонасыщенности и производительности транспортных машин лимитируется ресурсом и надежностью работы двигателя в связи с увеличением тепловой и механической нагруженности основных деталей. Расширение сферы применения ограничивается повышенными выбросами вредных веществ с отработавшими газами, уровнями шумности и вибрации работающего двигателя. Потребление в возрастающих количествах жидкого топлива требует дальнейшего повышения топливной экономичности. Основным процессом рабочего цикла поршневого двигателя является процесс сгорания топлива. От его качества зависят топливная экономичность, мощность, моторесурс и экологические показатели. Поэтому совершенствованию этого процесса уделяется наибольшее внимание. Развития современных двигателей заключается изучением и совершенствованием рабочего процесса на жидком и газообразном компонентах топлива. На основании сказанного и соответствии с актуальностью данной проблемы, был изучен способ электромагнитного воздействия на топливо. Результаты экспериментальных исследований, показали эффективность применения электрофизического воздействия на углеводородное топливо по улучшению параметров и характеристик тепловых двигателей. Установлено, что электрофизическое воздействие на углеводородное топливо повышает полноту сгорания топлива на 4 ... 6% и снижает отложение нагара в камере сгорания газотурбинного двигателя на 20 ... 25%. Улучшение процессов сгорания топлива в предыдущих фазах приводит к сокращению фазы догорания,

что влечет за собой уменьшение температуры отработавших газов, снижению концентрации оксида углерода на 0,64...0,7 %, концентрации углеводородов на 25...35 % и концентрацию оксида азота на 12...16 %.

Ключевые слова: смесеобразование; камера сгорания теплового двигателя; скорость химической реакции горения; электромагнитное воздействие; энергия активации; топливо; отработавшие газы.

IMPROVEMENT OF MIXING PROCESSES IN THE COMBUSTION CHAMBER OF THERMAL ENGINES

I. Morozova, Yu. Tereshchenko

Improving the mixture formation and combustion of various types of fuels in the combustion chamber is one of the ways for the development of modern engines. Requirements for reliability, durability, tactical and technical characteristics and, importantly, for environmental friendliness pose new problems in this area of science and technology. This is largely determined by the degree of perfection individual processes in the engine operating cycle. An increase in power in accordance with the requirements for an increase in energy saturation and productivity of transport vehicles is limited by the resource and reliability of the engine due to an increase in thermal and mechanical loading of the main parts. The expansion of the scope of application is limited by increased emissions of harmful substances with exhaust gases, levels of noise and vibration of a running engine. Consumption of increasing amounts of liquid fuels requires further improvements in fuel efficiency. The main process of the working cycle of a piston engine is the process of fuel combustion. Fuel efficiency, power, service life and environmental performance depend on its quality. Therefore, the greatest attention is paid to the improvement of this process. The development of modern engines consists in the study and improvement of the working process on liquid and gaseous fuel components. Based on the foregoing and in accordance with the urgency of this problem, the method of electromagnetic action on fuel was studied. The results of experimental studies have shown the effectiveness of the use of electro-physical effects on hydrocarbon fuel to improve the parameters and characteristics of heat engines. It has been established that the electro-physical effect on hydrocarbon fuel increases the completeness of fuel combustion by 4 ... 6% and reduces the deposition of carbon deposits in the combustion chamber of a gas turbine engine by 20 ... 25%. Improvement of the fuel combustion processes in the previous phases leads to a reduction in the afterburning phase, which entails a decrease in the exhaust gas temperature, a decrease in the concentration of carbon monoxide by 0.64 ... 0.7%, the concentration of hydrocarbons by 25 ... 35% and the concentration of nitrogen oxide by 12 ... 16%.

Keywords: mixture formation; combustion chamber of a heat engine; combustion chemical reaction rate; electromagnetic effect; activation energy; fuel; exhaust gases.

Морозова Ирина Владимировна – канд. техн. наук, доц., доц. каф. электроники, робототехники и технологий мониторинга и Интернета вещей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Терещенко Юрий Матвеевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. авиационных двигателей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Iryna Morozova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Dept. of electronics, robotics, monitoring technologies and Internet of things, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: iramoro@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4238-4001, Scopus Author ID: 57202956987, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=TIIfsFUAAAAJ>

Yuriy Tereshchenko – Doctor of Technical Sciences, Head of Dept. of aviation engine, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: terj@nau.edu.ua, ORCID: 0000-0003-4367-3232, Scopus Author ID: 57194568327, <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=A67lffQAAAAJ>