

УДК 629.735:662.75.017.1.03 (045)

О.Л. Матвєєва, канд. техн. наук
І.А. Кравець, д-р техн. наук

ВПЛИВ ЗАБРУДНЕНЬ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ

Інститут екології та дизайну НАУ, e-mail: mol@nau.edu.ua

Розглянуто вплив дисперсності забрудненості вуглеводневого палива на його енергетичний стан. Визначено інтенсивність зміни поверхні контакту твердої дисперсної фази при продукуванні механічних забруднень у паливах в експлуатаційних умовах. Показано, що процес забруднення негативно впливає на енергетичні властивості палив.

Вступ

У зв'язку з ускладненням функцій та умов роботи систем повітряних кораблів актуальним є забезпечення чистоти робочих рідин.

Чутливість агрегатів до забруднень, вплив чистоти робочих рідин на надійність і ресурс систем літака, тобто проблема хімотологічної надійності постійно досліджувалася та вивчалася [1–8].

Забруднення призводять до забивання робочих форсунок камер згоряння, заклинювання золотникових пар командно-паливних агрегатів, прискорення зношування паливних насосів і виконавчих механізмів, управління соплом повітрязабірника двигуна, що негативно впливає на безпеку польотів.

У працях [2; 7] показано, що основна маса забруднень паливної системи літака визначається дисперсністю менше за 3 мкм.

Дослідженнями працездатності насосів під час роботи в умовах реального забруднення робочих рідин установлено, що тверда дисперсна фаза (ТДФ) спричинює більш інтенсивне зношування вузлів та агрегатів насосів, а це, в свою чергу, є причиною генерації нових забруднень. Причому, як свідчать результати, основна їх маса припадає на частинки менше ніж 2...5 мкм.

Досліджуючи чутливість агрегатів до забруднень за залежністю вихідних параметрів агрегату від розміру та концентрації ТДФ, у праці [8] експериментально показано, що в результаті механічного подрібнення штучна концентрація N_i частинок забруднень в проточних зазорах насосів змінюється за законом:

$$N_i(t) = N_{i0} \exp\left(-\frac{t}{T_\lambda}\right),$$

де N_{i0} – початкова штучна концентрація частинок

визначеної розмірної фракції; T_λ – часова стала руйнування, що дорівнює в даному випадку 8–10 хв.

При цьому згідно з теорією зношування швидкість погіршення характеристик пари тертя пропорційна швидкості появи подрібнених частинок зношування під час механічної взаємодії [9].

Авторами праці [8] визначено, що розподіл кількості забруднень за їх розмірами в реальних гідросистемах у період експлуатації теж підпорядковується нормальному закону. А чутливість агрегатів до забруднень необхідно оцінювати залежно від концентрації та дисперсного складу ТДФ.

Отже, беручи до уваги, що переважна частка забруднення палив у процесі експлуатації визначається дисперсністю менш ніж 2 мкм, ми цілком згодні з думкою авторів праці [8] про доречність оцінювання загальної забрудненості систем не тільки тонкістю фільтрації, а й рівнем (класом) чистоти (ГОСТ 17216-71, NAS 1638).

Зі стандартом [10], що передбачає 19 класів чистоти, чистота палива, що заправляється в літак, має бути 8-го класу (маса забруднень не більше 0,0004%), а палива, що знаходиться в паливних баках літака, – 11-го класу (маса забруднень не більше 0,0016%).

Розподіл кількості ТДФ за розмірами в стандарті відповідає логарифмічно нормальному закону, згідно з природою реального утворення забруднень у процесі експлуатації.

Як свідчать дослідження [11; 12], на практиці в авіаційних паливних системах містяться забруднення, що значно перевищують допустимі норми за рахунок дрібної дисперсної фази (див. таблицю), хоча за існуючими нормативами концентрація механічних домішок у паливах на момент заправки їх в літак не повинна перевищувати 0,0003% (ГСТУ 320.00149943.011-99).

Характеристика забрудненості авіаційної паливної системи [11]

Групи дисперсності, мкм	1–3	3–5	5–10	15–20	Маса забрудненості, г/т
Кількість частинок	7100–28809	230–1600	60–80	0–150	1,2–7,4

Вивчаючи дію такого чинника, як фізико-хімічні властивості в хімотологічній системі “паливо–техніка–експлуатація”, експериментально доведено, що механічні забруднення та їх дисперсність здійснюють значний вплив на процеси окиснення й утворення осаду у вуглеводневих паливах (рис. 1, 2), зменшуючи якість і стабільність палива щодо регламентованих показників під час експлуатації [7].

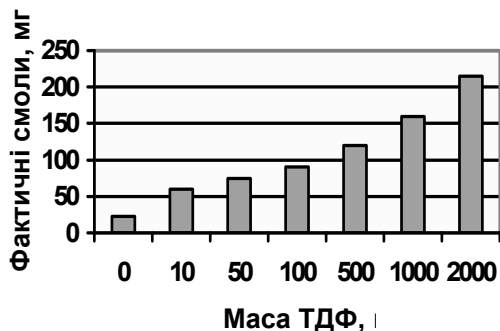


Рис. 1. Вплив кількості ТДФ на процеси утворення смол та осадів у вуглеводневих паливах

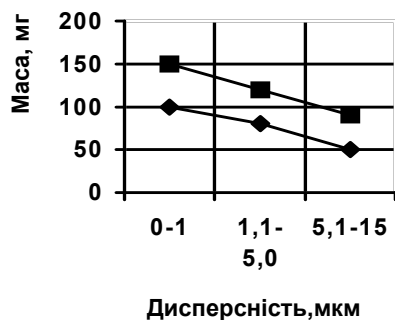


Рис. 2. Вплив дисперсності ТДФ на інтенсивність окиснення палив:
– осад; – фактичні смоли

Чим менше дисперсність забруднень, тим більший негативний вплив на якість палива вона здійснює.

Пояснюється це тим, що частинки дисперсністю 1 мкм і менше практично знаходяться в зведеному стані і відіграють роль центрів коагуляції, які інтенсифікують процеси окиснення й утворення осаду в паливах.

Окиснювальні процеси, які відбуваються у вуглеводневому середовищі і проявляються у вигляді фактичних смол та осаду, зменшують нижчу теплоту згоряння [13].

З погляду визначення впливу механічних забруднень на надійність і ресурс роботи систем та агрегатів сучасна наука має досить значні і всебічні здобутки.

Установлено і досліджено факт погіршення якості палива при його забрудненні. Але сьогодні, коли проблема енергозабезпечення вкрай актуальна, нас цікавить, яким чином, якою мірою

та за якими механізмами в процесі експлуатації змінюються саме енергетичні властивості палив і як це впливає на їх енергетичну ефективність.

Під енергетичною ефективністю розуміємо максимальний вихід потенціальної енергії палива в процесі його згоряння, тобто максимальне енерговіддавання.

Показниками енергетичної ефективності є нижча теплота та повнота згоряння.

Поставлена задача дослідження підвищення енергетичної ефективності палив досить різномановна.

Постановка завдання

Метою даної роботи є визначення залежності продукування частинок ТДФ у паливах у процесі експлуатації, а також прогностична оцінка можливих енергетичних змін.

Продукування твердої дисперсної фази в процесі експлуатації

Для спрощення розрахунку задамося початковими умовами, що всі забруднення – це частинки ТДФ правильної сферичної форми з коефіцієнтом еліпсності $K_e = S_{сф}/S_q = 1$, тобто площа ідеальної сфери відповідає площі частинки.

Частинка при взаємодії з технологічним обладнанням у процесі експлуатації під час кожного подрібнення ділиться на дві частини.

Об'єм та поверхня сфери визначаються за формулами:

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi R_0^3; \quad (1)$$

$$S_0 = 4\pi R_0^2, \quad (2)$$

де V_0 – об'єм початкової частинки; R_0 – радіус початкової частинки; S_0 – поверхня початкової частинки.

Подано радіус початкової частинки через її об'єм

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \quad (3)$$

і підставимо вираз (3) у формулу (2):

$$S_0 = 4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \right)^2.$$

Ураховуючи, що кожне наступне подрібнення дає нам з однієї частинки дві, то площа поверхні n -ї частинки після багаторазових подрібнень, що відбуваються в реальній практиці при технологічних процесах з паливом, забрудненим ТДФ, буде такою:

$$S_n = 4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{1}{2^n} \frac{3V}{4\pi}} \right)^2$$

де S_n – поверхня n -ї частинки; n – кількість подрібнень частинок.

Тоді відношення η поверхонь подрібнених частинок при багаторазових подрібненнях до поверхні початкової частинки після проведених алгебричних перетворень буде мати вигляд:

$$\eta = \frac{S_n n}{S_0} = \frac{4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3V}{2^n 4\pi}} \right)^2 n}{4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \right)^2} = \sqrt[3]{2^n} \quad (4)$$

Якщо кількість частинок після подрібнення визначити q , то вираз (4) набуває вигляду:

$$\eta = \sqrt[3]{q^n} \quad (5)$$

Кількість частинок N після n -х подрібнень визначається, як

$$N = q^n.$$

У такому разі, беручи за основу залежності (1), (2) та уявляючи відповідним чином радіус і площу поверхні багаторазово подрібнених частинок, маємо:

$$R_n = \sqrt[3]{\frac{3V}{N_n 4\pi}},$$

$$S_n = 4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3V}{N_n 4\pi}} \right)^2.$$

Відношення η поверхонь подрібнених частинок при багаторазових подрібненнях до поверхні початкової частинки буде таким:

$$\eta = \frac{S_n N_n}{S_0} = \sqrt[3]{N_n},$$

тобто

$$\eta = \sqrt[3]{N_n} \quad (6)$$

Застосувавши незначні алгебричні перетворення, маємо:

$$\eta^3 = N_n; \quad 3 \ln \eta = \ln N_n; \quad \frac{\ln N_n}{\ln \eta} = 3 = \text{const}.$$

За формулами (5), (6) побудовано графічні залежності (рис. 3), що демонструють інтенсивність зміни поверхні контакту подрібненої дисперсної фази при продукуванні частинок забруднень в паливах у процесі експлуатації.

Ми розуміємо, що введені нами на початку розрахунку початкові обмеження ідеалізували процес подрібнення на відміну від реально існуючого. Ми розуміємо також, що в реальних умовах експлуатації технологічного обладнання в процесі транспортування, зберігання, підготовки до заправлення, знаходження в паливній системі літака неможливо дослідити характер та інтенсивність подрібнення і кількість подрібнених частинок.

Незважаючи на це, характер графічних залежностей, що наведено на рис. 3, на наш погляд, демонструє головне – з моменту виробництва палива до його згоряння в паливній системі постійно діє процес продукування та подрібнення частинок ТДФ, при якому достатньо ефективно збільшується поверхня контакту палива з матеріалом забруднення.

Активована частинка забруднення утворює з паливним середовищем міжмолекулярні зв'язки, на побудову яких необхідно витратити певну кількість енергії.

Так з'являються агломерати, що є центрами коагуляції та інтенсифікації подальшого окиснення палива.

Отже, при збільшенні під час експлуатації кількості активованих частинок ТДФ у вуглеводневому середовищі, знаходженні їх у звищеному стані збільшується кількість молекул, здатних утворювати нові міжмолекулярні зв'язки.

На думку авторів усі ці процеси мають знижувати певною мірою енергетичну ефективність палива.

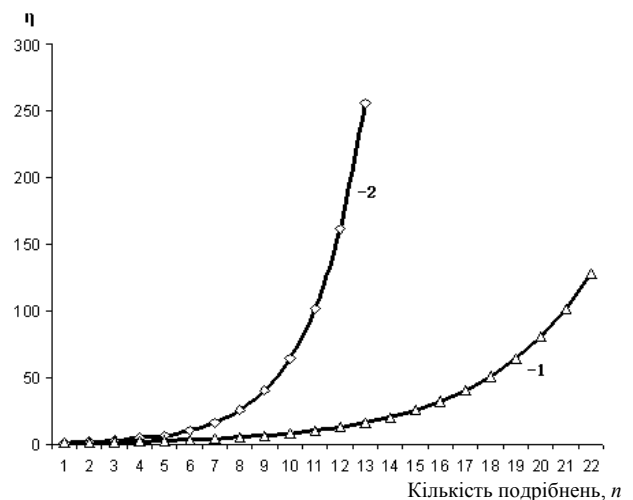


Рис. 3. Інтенсивність зміни поверхні контакту подрібненої дисперсної фази при продукуванні частинок забруднень в паливах у процесі експлуатації:

1 – $q=4$; 2 – $q=2$

Висновки

1. У процесі організації паливозабезпечення й експлуатації паливних систем відбувається постійне зростання вмісту в паливі забруднень, розмір яких менше 3 мкм.

2. Збільшення кількості активних частинок механічних забруднень підвищує вірогідність виникнення міжмолекулярної взаємодії в системі “паливо–ТДФ”.

3. Взаємодія частинок забруднення з паливом зменшує енергетичну ефективність, що проявляється в зменшенні повноти та теплоти згоряння.

Список літератури

1. *Химмотология ракетного и реактивного топлив* / Под ред. А.А. Браткова. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
2. *Большаков Г.Ф.* Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – 2-е изд. – Л.: Недра, 1984. – 349 с.
3. *Писаренко В.Г., Никитин А.Г., Прокофьева Е.Л., Чайковский О.И.* Анализ влияния твердой дисперсной фазы в диэлектрических рабочих жидкостях на надежность гидроаппаратуры. – К., 1986. – 26 с. – Препринт/ Ин-т геофизики АН УССР.
4. *Василенко В.Г., Черненко Ж.С.* Влияние эксплуатационных факторов на топливную систему самолетов. – М.: Машиностроение, 1986. – 180 с.
5. *Пискунов В.А., Зрелов В.Н.* Влияние топлив на долговечность и надежность работы двигателей и

самолетов. – М.: Машиностроение, 1978. – 408 с.

6. *Матвеева О.Л., Столінець С.Л.* Аналіз процесів, які характеризують зміну якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні // Матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. “Авіа–2002”. – К.: НАУ, 2002. – Т. IV. – С. 41.31–41.34.

7. *Матвеева О.Л., Столінець С.Л.* Вплив дисперсного складу забруднень на процеси окиснення та осадоутворення вуглеводневих палив // Матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. „Авіа–2004”. – К.: НАУ, 2003. – Т. IV. – С.41.64–41.66.

8. *Тимиркеев Р.Г., Сапожников В.М.* Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.

9. *Fitch E.C.* Investigations into contaminant sensitivity // Eighth Annual Fluid Power Research Conference. – 1974. – P. 250.

10. *ГОСТ 17216-71.* Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей. – Введ. 01.01.71. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 3 с.

11. *Никитин Г.А.* Проблемы чистоты рабочих жидкостей // Вопр. авиационной химмотологии. – К.: КИИГА, 1978. – С. 3–13.

12. *Никитин Г.А., Никитин А.Г., Данилов В.М.* Экономия нефтепродуктов, используемых в технологических целях. – К.: Техніка, 1984. – 128 с.

13. *Матвеева О.Л., Тітова О.С.* Окиснювальні процеси в системі забезпечення енергетичної ефективності вуглеводневих палив // Технологічні системи. – 2004. – № 2 (22). – С.63–66.

Стаття надійшла до редакції 22.06.04.

Е.Л. Матвеева, И.А. Кравец

Влияние загрязнений на энергетические свойства углеводородных топлив

Рассмотрено влияние дисперсности загрязненности углеводородного топлива на его энергетическое состояние. Определена интенсивность изменения поверхности контакта твердой дисперсной фазы при продуцировании механических загрязнений в топливах в эксплуатационных условиях. Показано, что процесс загрязнения негативно влияет на энергетические свойства топлив.

E.L. Matvyeveva, I.A. Kravets

Influencing of pollution on power properties of hydrocarbonaceous fuel

The result investigation of influencing of a dispersion pollution of hydrocarbonaceous fuel on its power condition are reviewed. The intensity of change of a surface of a contact of a disperse phase is determined at splitting mechanical pollution in fuel. Is shown, that the process of pollution negatively influences power properties of fuel.