

Д. А. ГУСАЧУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри матеріалознавства
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-5899-1706

Ю. П. ФЕЩУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри матеріалознавства
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6259-1916

Т. В. ФУРС

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики та механіки
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4786-9980

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ЗА ГУСТИНОЮ І В'ЯЗКІСТЮ

Робота присвячена дослідженню якості за густиною і в'язкістю зразків дизельного палива (ДП), присутніх на ринку України в умовах воєнного стану. Проаналізовано основні експлуатаційні вимоги до дизельних палив, виконання яких задовольняє надійну й економічну роботу двигунів. Акцентовано увагу на питанні забезпечення якості ДП, що оцінюється низкою фізико-хімічних показників, основними серед яких є густина і в'язкість. Зазначено, що ці параметри залежать від фракційного і вуглеводневого складу палива. Проведено аналіз впливу густини і в'язкості на процеси випаровування пального і сумішоутворення, а також загалом на роботу паливної системи двигуна.

У контексті експлуатаційних вимог обґрунтовано важливість контролю відповідності фізико-хімічних показників нафтових автомобільних палив нормам ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови». Зокрема, густина ДП визначають для розрахунку дозувальних приладів систем живлення, а також для обліку витрати палива. Проаналізовано негативні наслідки для роботи двигуна, викликані відхиленням величини кінематичної в'язкості і густини палива від стандартного значення.

Описано методики, згідно яких виконано вимірювання густини й визначення кінематичної в'язкості досліджуваних зразків. Вимірювання густини проведено безпосередньо за допомогою ареометра, значення приводили до нормованої температури 15 °С. Визначення кінематичної в'язкості здійснено за допомогою спеціального приладу, основними конструктивними елементами якого були капілярний віскозиметр і рідинний термостат, який забезпечував стабільність температури пального +40°С (стандартне значення).

Наведено дані експериментів та обчислень густини й кінематичної в'язкості, виконано порівняння одержаних значень з вимогами стандарту ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови», а також з нормативними вимогами європейських стандартів. За результатами досліджень густини і кінематичної в'язкості зроблено висновок про якість, експлуатаційні властивості і придатність до використання досліджуваних зразків дизельних палив.

Ключові слова: дизельне паливо, якість дизельного палива, технічні вимоги, фізико-хімічні показники, густина, кінематична в'язкість.

D. A. HUSACHUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Science
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0001-5899-1706

YU. P. FESHCHUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Science
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0001-6259-1916

T. V. FURS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Applied Mathematics
and Mechanics
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0002-4786-9980

DIESEL FUEL DENSITY AND VISCOSITY EVALUATION

The article deals with the quality research on density and viscosity of diesel fuel (DF) samples present on the Ukrainian market. The main diesel fuel operational requirements, the fulfillment of which satisfies the reliable and economical operation of engines, are analyzed. Attention is paid to the DF quality, evaluated by a number of physical and chemical parameters, the main ones being density and viscosity. It is also noted that these parameters depend on the fractional and hydrocarbon composition of the fuel. The influence of density and viscosity on the processes of fuel evaporation and mixture formation, as well as on the operation of the engine fuel system in general is analyzed in this article.

The paper substantiates the importance of monitoring the compliance of physical and chemical parameters in the context of operational requirements with DSTU 7688:2015 "Euro Diesel Fuel. Specifications". In particular, the DF density is determined for the calculation of dosing devices for power systems, as well as fuel log systems. The negative consequences for the operation of the engine caused by the kinematic viscosity deviation from the standard value are analyzed.

This research paper describes the methods used to measure the density and determine the kinematic viscosity of the studied samples. Density measurement was carried out directly using a hydrometer. The value was brought to a normalized temperature of 15 °C. The determination of kinematic viscosity was carried out using a special device, the main structural elements of which were a capillary viscometer and a liquid thermostat, which ensures the stability of combustible fuel +40 °C (standard value).

The experiments data, density calculations and kinematic viscosity are presented, the obtained values are compared with the standard requirements under DSTU 7688:2015 "Euro Diesel Fuel. Specifications". And, it is concluded about the performance properties and suitability for use of the studied samples of diesel fuels.

Key words: diesel fuel, diesel fuel quality, technical requirements, physical and chemical parameters, density, kinematic viscosity.

Постановка проблеми

Попри тенденції розробки і виробництва альтернативних видів палив для автомобільних двигунів на ринку України домінує пальне, вироблене з нафтової сировини. Зауважимо, згідно статистики, у нашій країні в останні роки зростає частка автомобілів з дизельним типом двигуна. Пальне для дизельних двигунів в Україні наразі не виробляється, адже в умовах воєнного стану вітчизняна нафтопереробна галузь вимушено не функціонує через цілеспрямовані російські ракетні обстріли. Тому нині Україна цілком залежить від імпорту нафтопродуктів. Зокрема, основну частку дизельного палива ми отримуємо з Євросоюзу: лідерами постачання є Румунія, Литва, Словаччина, Греція, Болгарія і Польща [1].

Закордонні автовиробники надають ключове значення якості дизельних палив, щораз підвищуючи вимоги до технічних, експлуатаційних та екологічних характеристик. Як відзначають експерти і споживачі, закордонні зразки дизельних палив відрізняються дещо вищою якістю від вітчизняних українських аналогів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні за Технічним регламентом встановлено вимоги до якості дизельного палива. Цим документом встановлюються вимоги до обігу палива на ринку, вимоги до якості, вимоги до процедури до оцінки відповідності. За Технічним регламентом [3], якість дизельних палив оцінюється низкою фізико-хімічних показників, які нормуються стандартами. Вітчизняний стандарт на дизельні палива (ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні

умови» [4]) за технічними вимогами наближений до європейських норм. У країнах ЄС дизельні палива виробляються за стандартом EN 590:2013 «Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods» або ASTM D 975 «Standard Specification for Diesel Fuel Oils».

Втім, надійна й економічна робота дизельних двигунів забезпечується, насамперед, правильним підбором і якістю палива, що дозволяє забезпечити наступні основні експлуатаційні вимоги [2]:

- безперебійну подачу палива;
- оптимальне розпилення палива форсункою й достатнє сумішоутворення;
- здатність до самозаймання та м'яку роботу двигуна;
- повне згорання й мінімум нагароутворення;
- щонайменшу корозійну активність;
- хімічну стабільність при зберіганні й транспортуванні.

Водночас забезпечення експлуатаційних вимог до дизельного палива ґрунтується на таких основних характеристиках як густина і в'язкість. Це ті взаємопов'язані фізичні характеристики, які опосередковано дозволяють зробити висновок про якість пального, адже ці параметри залежать від хімічного, вуглеводневого та фракційного складу. Недотримання встановлених норм виробництва, транспортування й зберігання дизельних палив призводить до погіршення їх якості, а іноді й до заборони використання.

Передусім, густина і в'язкість впливають на процеси випаровування і сумішоутворення, а відтак – на роботу паливної системи двигуна, зокрема на рівень палива у поплавковій камері. Залежність цих характеристик від хімічного складу наступна: чим більша молярна маса вуглеводнів палива, тим вищою є його густина і в'язкість. Зауважимо, що дизельне паливо одержують, здебільшого, з прямогінних нафтових фракцій, які википають у діапазоні температур 150 ... 360 °С. Груповий склад дизпалив – переважно парафінові (10 ... 40%) і нафтові (20 ... 60%) вуглеводні, решта – ароматичні (14 ... 30%). Товарні дизельні палива виготовляють шляхом змішування продуктів перегонки нафти з фракціями, що пройшли гідроочистку і депарафінізацію з додаванням додання біокомпонентів (метилових/етилових естерів жирних кислот) та присадок. Комплекс експлуатаційних вимог до дизельних палив забезпечується підбором їх оптимального фракційного й вуглеводневого складу [2, с. 182].

Густину дизпалив потрібно знати для розрахунку дозувальних приладів систем живлення, а також для обліку витрати і нормування палив. При отриманні і транспортуванні партії палив обліковують у одиницях маси, а видають при заправці транспортних засобів у одиницях об'єму. У Держстандартах України густина дизпалив нормується за температури 15 °С, її значення варіюються в діапазоні 820 ... 845 кг/м³ [2, с. 187].

З огляду на вище викладене, паливо для дизелів повинно відповідати експлуатаційним вимогам і володіти відповідною оптимальною густиною і в'язкістю. Коли паливо має високу в'язкість і густину, то його фільтрація буде затруднена, порушується подача палива помпою, погіршується розпилювання й згорання неповне. Це викликає димність і збільшення витрати палива, потужність двигуна за таких умов зменшується. І навпаки, при низькій в'язкості порушується дозування палива внаслідок просочування його у плужерній парі помпи високого тиску, внаслідок значного розпилення дальність струменя виявляється недостатньою, факел короткий і широкий, паливо згорає біля форсунки, нові порції подаються у продукти згорання попередньої порції палива, у результаті чого процес згорання палива неповний [5, с. 221].

Разом з тим, дизпаливо є мастильним матеріалом для деталей системи подачі, однак, недостатньо в'язке паливо не виконує змащувальних функцій. Тому, для забезпечення надійної, ефективної й економічної роботи двигуна ДП має бути оптимальної в'язкості й густини.

Особливо суттєвим є вплив в'язкості на експлуатаційні властивості палива в зимовий період. Із зниженням температури в'язкість дизпалива зростає. При цьому ускладнюється його прогонність крізь паливопроводи, погіршується фільтрація палива та пуск двигуна, що пов'язано з погіршенням розпилення і випаровуваності палива. Тому за технологією виготовлення для забезпечення нормальної роботи дизелів у холодний період року зимові сорти палива виготовляють із меншою в'язкістю та вводять в'язкісні присадки.

Згідно вітчизняних нормативних документів для дизелів контролюють кінематичну в'язкість палив при температурі + 40 °С, допустиме значення якої залежить від марки палива: 2,0 ... 4,5 мм²/с – літне (Л) і 1,5 ... 4,0 мм²/с – зимове (З) й арктичне (Арк) [4].

Оптимальна в'язкість ДП забезпечує: надійну роботу паливної апаратури, хорошу прокачуваність палива по паливній системі, незначні втрати палива через зазори у прецизійних парах помпи, розпилювача і форсунки, достатнє змащування паливної помпи, необхідний ступінь розпилення палива, його швидке випаровування і повне згорання. Загалом, в'язкість дизельного палива впливає на подачу палива, потужність, економічність, зношуваність двигуна й на його екологічні показники [5, с. 221].

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на те, що український ринок автомобільного палива нині залежить від імпорتنих поставок, виникає питання чи достатньо якісне паливо реалізують АЗС України в період воєнного стану. Тому доцільним

є проведення оцінювання імпортованого ДП за фізико-хімічними показниками та порівняння з їх нормативними значеннями відповідно до ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови». За напрямок дослідження обрано такі параметри як густина і кінематична в'язкість, що характеризують вуглеводневий та фракційний склад пального.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для проведення досліджень використано два зразки дизельного палива літньої та зимової марок, реалізованих на АЗС м. Луцька. Вимірювання густини зразків дизельних палив виконували безпосередньо за допомогою ареометра згідно стандартної методики ДСТУ ГОСТ 31072:2006 [6]. Ареометр, який використовується для визначення густини нафтопродуктів, називається нафтоденсиметром. Це скляний поплавок з баластом у нижній частині і витягнутою трубкою, на якій нанесена шкала густин. У наших дослідженнях використано ареометр з градуванням шкали у межах 800...900 кг/м³. Температура зразків дизельного палива під час дослідження становила 18 °С. Для переведення значень густини до стандартної температури 15 °С використано значення середньої температурної поправки, взяті з довідкової таблиці до густини нафтопродуктів.

Перерахунок густини виконували за формулою:

$$\rho_{15^\circ} = \rho_t + \gamma(t - 15)$$

де: γ – температурна поправка, яка визначає зміну густини при зміні температури на 1 °С;

ρ_t – покази ареометра при температурі заміру t ;

t – температура досліджуваного палива.

Дані вимірювань й обчислень стандартного значення густини приведені у таблиці 1. Отримані результати обидва досліджувані зразки ДП відповідають нормам Державного стандарту.

Для визначення кінематичної в'язкості зразків ДП використовували спеціально змонтований прилад, основним елементом якого був капілярний віскозиметр, поміщений у рідинний термостат, за допомогою якого підтримувалося стабільне температурне середовище (методика ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ИСО 3104-94 [7])). Визначення в'язкості полягало у встановленні часу перетікання певного об'єму рідини через капілярну трубку віскозиметра. Прилад для визначення кінематичної в'язкості приведено на рис. 1.

Для вимірювань використано віскозиметр з внутрішнім діаметром 0,8 мм. Віскозиметр з паливом занурювали у термостат (4) і закріплювали на штативі в строго вертикальному положенні. У термостаті встановлювали температуру 40 °С, яка є стандартною для контролю кінематичної в'язкості дизельних палив згідно ДСТУ 7688:2015, з точністю до ± 0,1 °С. Віскозиметр витримували у термостаті протягом 15 хв, щоб паливо набуло заданої температури. Визначали секундоміром час проходження рівня рідини від верхньої M_1 до нижньої M_2 мітки віскозиметра, що рівний часу проходження деякого об'єму палива через капіляр.

Марка ДП	Покази ареометра, г	Температура палива, t, °	Температурна поправка на 1°	Густина палива (експер.) г	Густина палива за ДСТУ 7688:2015 г
ДП-Л-Євро4	829	21	0,738	831	820 ... 845
ДП-З-Євро4	827	21	0,738	829	820 ... 845

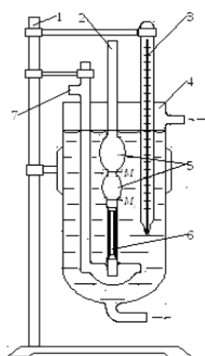


Рис. 1. Прилад для визначення кінематичної в'язкості ДП:
 1 – штатив; 2 – віскозиметр; 3 – термометр; 4 – термостат;
 5 – сферичні розширення на віскозиметрі; 6 – капіляр; 7 – відвідна трубка

Дослід повторювали декілька разів. Відкидали значення, що відрізняється від середнього більш, ніж на 0,5%. За значеннями, що залишилися, знаходили середньоарифметичний час (τ) витікання палива в секундах. Одержані дані представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Дані дослідів та обчислень кінематичної в'язкості зразків ДП

Марка ДП	Температура дослідження	Час перетікання τ , с	Кінематична в'язкість (експеримент) ν , мм ² /с	Кінематична в'язкість ν , мм ² /с за ДСТУ 7688:2015
ДП-Л-Євро4	40 °С	91,8	2,7	2,0 ... 4,5
ДП-З-Євро4	40 °С	90,2	2,65	1,5 ... 4,0

Кінематичну в'язкість дизельних палив (ν) обчислювали за формулою:

$$\nu = c \cdot \tau,$$

де $c = 0,02942 \text{ мм}^2/\text{с}^2$, – постійна віскозиметра (за паспортом);

τ – середньоарифметичний час перетікання палива, с.

Значення кінематичної в'язкості досліджуваних зразків ДП знаходиться в межах допустимих значень відповідно до норм вітчизняного та європейського стандартів.

Висновки

На основі результатів експериментальних досліджень зразків дизельних палив отримали: середнє значення густини палива марки ДП-Л-Євро4 становить $831 \text{ кг}/\text{м}^3$, а марки ДП-З-Євро4 – $829 \text{ кг}/\text{м}^3$, що відповідає нормам вітчизняного стандарту. Значення кінематичної в'язкості при стандартній температурі 40 °С : для палива марки ДП-Л-Євро4 – $2,7 \text{ мм}^2/\text{с}$, для марки ДП-З-Євро4 – $2,65 \text{ мм}^2/\text{с}$, що допустимо згідно ДСТУ 7688:2015.

На основі експериментальних даних можна зробити висновок, що якість за густиною і кінематичною в'язкістю досліджуваних дизельних палив є задовільною, оскільки відповідає стандартним значенням. Отримані результати вказують на оптимальний вуглеводневий та фракційний склад дослідних зразків ДП.

Список використаної літератури

- Імпорт дизельного палива. URL: https://24tv.ua/economy/import-dizelyu-ukrayini-zrostayut-postavki-paliva-porri-naprugu_n2451741
- Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Лейда К. Моторні палива: властивості та якість : підручник / за заг. ред. проф. С. Бойченка. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 324 с.
- Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#n11>
- ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7688_2015.pdf
- Чабанний В.Я. Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кіровоград: ЦентральнoУкраїнське видавництво, 2008. 353 с.
- ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах API ареометром (ГОСТ 31072-2002, ЮТ). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56160
- ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ИСО 3104-94) Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), ЮТ). URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=62368

References

- Import dyzelnoho palyva. URL: https://24tv.ua/economy/import-dizelyu-ukrayini-zrostayut-postavki-paliva-porri-naprugu_n2451741
- Boichenko S., Pushak A., Topilnytskyi P., Leida K. Motorni palyva: vlastyvoosti ta yakist : pidruchnyk / za zah. red. prof. S. Boichenka. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 2020. 324 s.
- Tekhnichniy rehlement shchodo vymoh do avtomobilnykh benzyniv, dyzelnoho, sudnovykh ta kotelnykh palyv URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#n11>
- DSTU 7688:2015 Palyvo dyzelne Yevro. Tekhnichni umovy. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7688_2015.pdf
- Chabanniy V.Ia. Palyvno-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy yikh zabezpechennia. Kirovohrad: TsentralnoUkrainske vydavnytstvo, 2008. 353 s.
- DSTU HOST 31072:2006 Nafta i naftoprodukty. Metod vyznachennia hustyny, vidnosnoi hustyny ta hustyny v hradusakh ARI areometrom (HOST 31072-2002, YuT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56160
- DSTU HOST 33-2003 (YSO 3104-94) Naftoprodukty. Prozori i neprozori ridyny. Vyznachennia kinematychnoi viazkosti i rozrakhunok dynamichnoi viazkosti (HOST 33-2000 (YSO 3104-94), YuT). URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=62368