

Троценко О.В., Григоров А.Б., д. техн. н., професор, Назаров В.М., к. техн. н., професор

## ОТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",  
Харків, Україна*

**Ключові слова:** дизельне паливо, компаундування, синтез, присадка, діазосполуки, властивості, стабільність, колір

**Вступ.** Підвищення якості моторних палив, зокрема дизельних, відноситься до ряду першочергових завдань, на вирішення якого спрямовані зусилля передових нафтопереробних підприємств України. Певну складність у вирішенні цього завдання вносить відсутність власної якісної вуглеводневої сировини, застарілість технологій виробництва палива та їх значна енергоємність. Ці фактори призвели до тієї ситуації, коли відбувається щорічне збільшення імпортованого палива у загальному обігу нафтопродуктів. При цьому, спостерігаються постійні перебої в забезпеченні існуючої потреби у паливі та стрімке зростання цін на паливо. Одним з рішень у змінненні цієї ситуації є використання у складі дизельних палив поліфункціональних присадок, які дозволять збільшити обсяги виробництва палива та підвищити його якість. Окрім цього, використання присадок дозволяє отримати якісне паливо з наявної вуглеводневої сировини без використання складних технологій очищення продуктів – паливних фракцій, що без сумніву впливає на зниження їх собівартості.

**Аналіз публікацій.** Історія використання присадок у дизельних паливах для поліпшення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей бере свій початок з першої половини ХХ сторіччя і, навіть у сучасних умовах виробництва палив є досить велими актуальним.

Присадки у складі дизельного палива використовують для поліпшення таких властивостей як миючі, диспергувальні, змащувальні, депресорні, протикорозійні та займистість, що виражена у одиницях цетанового числа [1–4].

Недоліком таких присадок є складність їх отримання, висока вартість та те, що вони в основному здатні поліпшувати тільки одну з наведених властивостей. Також, при формуванні пакету присадок до дизельного палива слід брати до уваги і їх сумісність.

Частково позбавитися означених вище недоліків можливо за рахунок застосування у складі дизельних палив біфункціональних та поліфункціональних присадок. Так, в роботі [5] у дизельному паливі для тепловозу запропоновано використовувати присадку DFC2020, яка збільшує повноту згорання палива, підвищуючи його коефіцієнт корисної дії (ККД), та знижує кількість шкідливих викидів в атмосферу.

Авторами роботи [6] проведені дослідження властивостей дизельного палива з додаванням багатофункціональної присадки «Thermol-D». Вона складається з вуглеводнів і поверхнево-активних речовин та здатна поліпшувати змащувальні, антиокислювальні, диспергуючі властивості та займистість. Встановлено, що додавання 2 % Thermol-D до складу дизельного палива підвищило на 21 % термічний ККД двигуна,

зменшило викиди оксиду вуглецю на 32–36 % та викиди оксидів азоту на 18–20,5 %. В якості поліфункціональної присадки до дизельних палив досліджувалося додавання наночастинки (розмір до 25 ppm) оксиду церію ( $\text{CeO}_2$ ). Було встановлено, що означені наночастинки здатні покращувати повноту згоряння дизельного палива та зменшувати шкідливі викиди вихлопних газів [7].

В роботі [8] синтезовано нітратні похідні соєвої олії та оцінено їх вплив на властивості дизельного палива. Встановлено, що ці продукти характеризуються підвищеною стабільністю і мають здатність відновлювати  $\text{NO}_x$ , забезпечувати значне підвищення змащувальної здатності палива та цетанового числа.

Відома багатофункціональна паливна присадка SO-2E, яка є ефективною для покращення повноти згоряння дизельного палива та зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Застосування цієї присадки в концентрації 0,2 об. % призводить до зменшення викидів  $\text{NO}$  на 7,8–11,8 % [9].

В роботі [10] досліджено використання наноемульсійної структурованої паливної присадки, яка при кількості 125 ppm у складі комерційного дизельного палива підвищує його стабільність, покращує процес згоряння та призводить до його економії (до 9,7 %).

Для підвищення якості дизельного палива в роботі [11] запропоновано використовувати паливну присадку (octamix), яка була отримана шляхом змішування етанолу, аміачного бору та триоктилборату. При додаванні 1 % присадки до дизельного палива термічний ККД двигуна збільшився на 26,2 %, також у вихлопних газах зменшився вміст  $\text{NO}_x$  (на 15,66 %),  $\text{CO}$  (на 46,67 %),  $\text{CO}_2$  (на 23,63 %),  $\text{CH}$  (на 24,24 %).

Зважаючи на позитивний вітчизняний та закордонний досвід використання поліфункціональних присадок у дизельних паливах, нами запропоновано використовувати у якості поліфункціональної присадки органічну речовину, яка є представником класу ароматичних діазосполук.

**Лабораторні дослідження.** Дослідження впливу запропонованої поліфункціональної присадки на властивості дизельного палива відбувалося за програмою, що наведена на рис. 1.

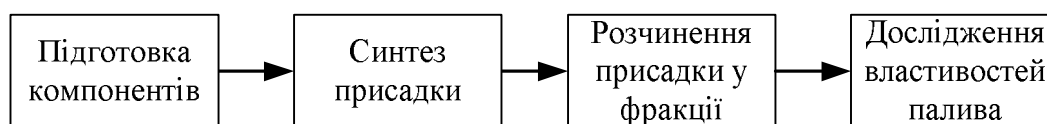


Рисунок 1 – Програма досліджень

Зазначимо, що у якості середовища, де розчинялася отримана присадка, було обрано прямогонну дизельну фракцію (240–350 °C), яка була отримана з вітчизняного газового конденсату. Тобто, дослідження відбувалися з використанням наявної, реальної сировини, яка використовується підприємствами нафтопереробної галузі України для виробництва дизельних палив.

Розчинення присадки у дизельній фракції, відбувалося за допомогою лабораторного перемішуючого пристрою лопатевого типу при температурі 35 °C, протягом 6 годин, а діапазон концентрацій присадки знаходився у межах від 0 до 1,0 %. При розчиненні присадки у дизельній фракції відбувалося її стійке забарвлення. Колір змінювався від жовтого до насиченого помаранчевого, в залежності від концентрації розчиненої присадки. Дану властивість присадки можна розглядати у якості позитивного явища,

особливо при виробництві брендovanого дизельного палива з поліпшеними експлуатаційними або екологічними властивостями, а також у боротьбі з її фальсифікацією.

При лабораторному дослідженні отриманої суміші спочатку досліджувалась її фізична стабільність за допомогою приладу, схему якого наведено на рис. 2. Фізична стабільність дизельного палива відноситься до основних його властивостей, яка разом з хімічною стабільністю характеризує термін і умови його зберігання.

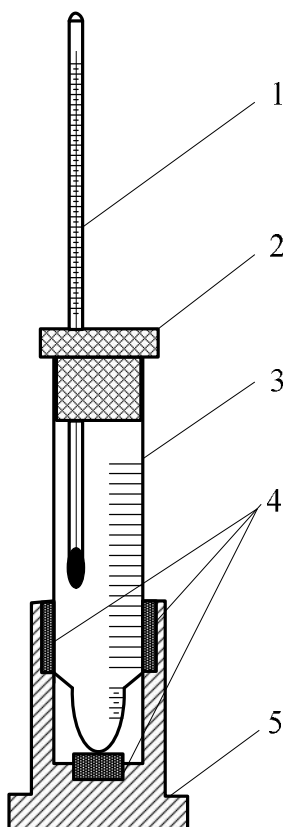


Рисунок 2 – Прилад для визначення фізичної стабільності палива:  
1 – термометр; 2 – кришка; 3 – колба; 4 – прокладки; 5 – підставка

Методика дослідження фізичної стабільності полягала в заповненні колби приладу (3) досліджуваною пробєю палива у кількості 50 см<sup>3</sup> (див. рис. 2). Далі колба (3) закупорювалася кришкою (2) з розташованому у ній термометром (1) та встановлювалася на металеву підставку (5). Далі, для дослідження фізичної стабільності дизельного палива в умовах підвищених температур прилад встановлювався в сушильну шафу, нагріту до температури плюс 50 °С. Там він витримувався протягом 24 годин. Після цього, його виймали з сушильної шафи та візуально проводили оцінку фізичної стабільності палива. Після цього, для дослідження фізичної стабільності дизельного палива в умовах низьких температур прилад встановлювався в холодильну камеру з температурою мінус 25 °С. Там він витримувався також протягом 24 годин, а далі відбувалася оцінка фізичної стабільності палива. Проведене дослідження показало, що в означеному діапазоні температур, в складі досліджуваного дизельного палива не відбувалося розшарування та утворення осаду, а значить, воно повністю зберігало свою фізичну стабільність.

Результати дослідження інших властивостей дизельного палива, виражених в зміні значень фізико-хімічних показників (густини, в'язкості і температури застигання) в залежності від концентрації поліфункціональної присадки, наведено на рис. 3–5.

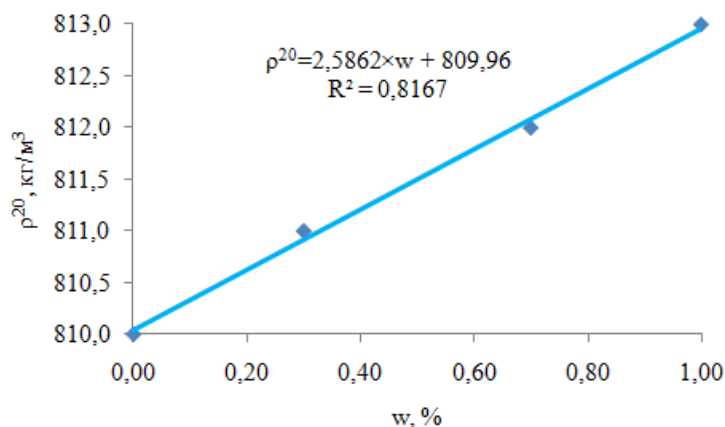


Рисунок 3 – Залежність  $\rho^{20}$  від  $w$

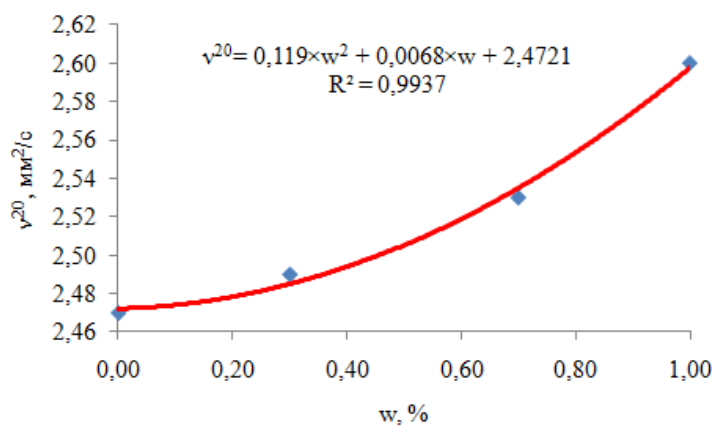


Рисунок 4 – Залежність  $\nu^{20}$  від  $w$

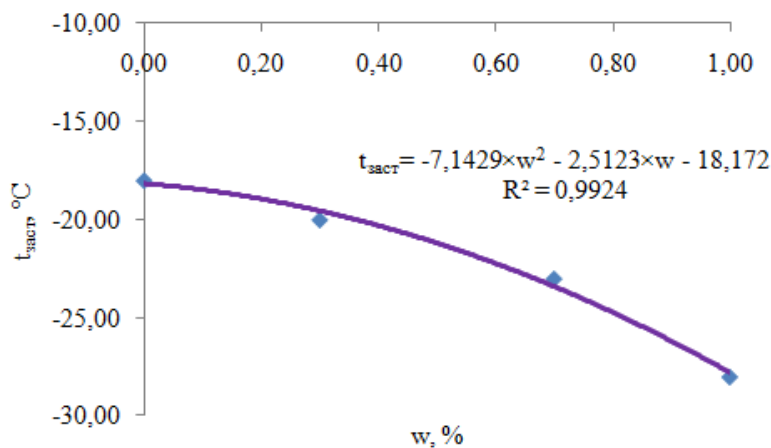


Рисунок 5 – Залежність  $t_{заст}$  від  $w$

Згідно інформації, що представлена на рис. 3–5, збільшення концентрації поліфункціональної присадки у дизельній фракції до 1,0 %, впливає на збільшення її  $\rho^{20}$  (на 3 кг/м<sup>3</sup>),  $\nu^{20}$  (на 0,16 мм<sup>2</sup>/с) та зменшення  $t_{заст}$  (на -10 °С). Очевидно, що при подальшому збільшенні концентрації присадки буде спостерігатися більш суттєве поліпшення властивостей дизельної фракції. При цьому, припустимо, що максимально-припустима концентрація присадки у дизельній фракції буде обмежуватися розчинністю присадки у фракції та фізичною стабільністю отриманої суміші. Збільшення величини густини та в'язкості дизельного палива, якщо вона не перевищує значень встановлених [12], є позитивним моментом, який впливає на зменшення витрати палива у наслідок протічок і підтікань, зменшує нагароутворення, підвищує ККД двигуна та поліпшує змащувальну здатність дизельного палива особливо в плунжерній парі паливного насоса [13, 14]. Зменшення температури застигання свідчить про поліпшення депресорних властивостей від яких, залежить температурний діапазон застосування дизельного палива [15].

**Висновки.** Застосування для поліпшення властивостей дизельного палива присадок є найбільш раціональним та економічно доцільним шляхом для збільшення обсягів виробництва дизельного палива, підвищення його рівня якості до існуючих вимог нормативної документації, і як наслідок, здійснювати імпортозаміщення, що повністю відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року».

Спектр присадок, які сьогодні використовуються у дизельному паливі є вельми різноманітним, але при цьому світові тенденції, що склалися у сфері виробництва та застосування присадок у дизельних паливах такі, що найбільшою перевагою користуються поліфункціональні присадки – здатні одночасно поліпшувати декілька властивостей палива. При цьому, спрощується процедура підбору пакету присадок до палива (не має потреби визначати їх сумісність та оптимальні концентрації) та знижується вартість власне дизельного палива.

Додавання до складу дизельної фракції 1,0 % отриманої нами поліфункціональної присадки надає їй стійкий колір, дозволяє дещо збільшити її густину і в'язкість та значно поліпшити низькотемпературні властивості (на -10 °С). При цьому, слід розуміти, що для більш значного поліпшення властивостей дизельних фракцій та товарних палив, концентрацію присадки необхідно збільшити, але це потребує проведення додаткових досліджень.

### Література

1. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф.С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с.
2. Безюков О.К. Современные присадки к дизельному топливу / О.К. Безюков, В.А. Жуков, М.М. Маад // Вестник АГТУ. – 2016. – № 1 (61). – С. 28–33.
3. Беркань В.О. Присадки для дизельных топлив / В.О. Беркань, А.В. Мамлиева // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2015. – №2(2). – С. 41–46.

4. Li H. Effect of Multifunctional fuel additive package on fuel injector deposit, combustion and emissions using pure rape seed oil for a DI diesel / Li H., Lea-Langton, A., Biller, P., Andrews, G. et al.// SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2010. – №2(2). – Pages. 54–65.
5. Вихопень І.Р. Випробування дизельного палива, модифікованого присадкою DFC2020 / І.Р. Вихопень, О.В. Клецька, О.В. Кіріцева, А.Л. Сумцов, М.А. Барібін // Вісник приазовського державного технічного університету. – 2020. – №41. – С. 188–196.
6. Ashok B. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and biodiesel in CI engine characteristics / B. Ashok, K. Nanthagopal et al.// Fuel. – 2020. – № 278, [118250]. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250>.
7. Venkatraman Narasiman. Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel / Venkatraman Narasiman, Suppandipilai Jeyakumar, Muthu Mani // JSME Journal of Thermal Science and Technology. – 2015. – Vol.10. – No.1. – Pages 1–9.
8. Suppes, G.J. Multifunctional diesel fuel additives from triglycérides / G. Suppes, J., Goff, M., Burkhart, M. L., Bockwinkel et al. // Energy and Fuels. – 2001. – 15(1). – Pages 151–157.
9. Labeckas G. The effect of fuel additive SO-2E on diesel engine performance when operating on diesel fuel and shale oil / G. Labeckas, A. Pauliukas, S. Slavinskas // Transport. – 2006. – № 21(2). – Pages 71–79.
10. Hicks R. Nanoemulsion Fuel Additive Used as a Diesel Combustion Catalyst / R. Hicks // Hindawi Journal of Combustion. – 2020. – Volume 1. – Pages 1–6.
11. Suleyman Simsek. Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions /Suleyman Simsek, Samet Uslu, Mukerrem Sahin, Fatih Arlı et al. // Energy Sources. 2021. – Part A. – Pub Date : 2021-07-01, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1946621>.
12. ДСТУ 7688:2015 «ПАЛИВО ДИЗЕЛЬНЕ ЄВРО. Технічні умови». ДЦ «УкрНДНЦ», Київ, 2015. – 16 с.
13. Шмелев В.П. Опыт исследований и эксплуатации топливной аппаратуры судовых дизелей: монографія / В.П. Шмелев, А.Л. Лемещенко, А.Е. Пилецкий. – СПб. ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – 118 с.
14. Надежкин А.В. Результаты ресурсных испытаний плунжерных пар топливных насосов на различных видах судовых дисцилятных топлив / А.В. Надежкин, С.В. Глушков, К.Х. Лыу // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 3(33). – С. 146–152.
15. Васильев Г.Г. Применение депрессорнодиспергирующих присадок при производстве дизельных топлив ЕВРО / Г.Г. Васильев, Н.В. Наврилов, М.М. Лобашова // Мир нефтепродуктов. – 2013. – № 1 – С. 5–11.

Bibliography (transliterated)

1. Motorni paliva: vlastivosti ta yakist [tekst] pidruchnik / Sergiy Boychenko, Andriy Pushak, Petro Topilnitskiy, Kazimir Leyda; za zag. red. prof.S. Boychenka. – К. : «Tsentr uchbovoyi literaturi», 2017. – 324 p.

2. Bezyukov O.K. Sovremennyye prisadki k dizelnomu toplivu / O.K. Bezyukov, V.A. Zhukov, M.M. Maad // Vestnik AGTU. – 2016. – # 1 (61). – P. 28–33.
3. Berkan V.O. Prisadki dlya dizelnykh topliv / V.O. Berkan, A.V. Mamlieva // Vestnik mladogo uchenogo UGNTU. – 2015. – #2(2). – P. 41–46.
4. Li H. Effect of Multifunctional fuel additive package on fuel injector deposit, combustion and emissions using pure rape seed oil for a DI diesel / Li H., Lea-Langton, A., Biller, P., Andrews, G. et al. // SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2010. – #2(2). – Pages. 54–65.
5. Vihopen I.R. Viprobuвання дизельного палива, модифікованого присадкою DFC2020 / I.R. Vihopen, O.V. Kletska, O.V. Kiritseva, A.L. Sumtsov, M.A. Baribin // Visnik priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. – 2020. – #41. – P. 188–196.
6. Ashok B. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and biodiesel in CI engine characteristics / B. Ashok, K. Nanthagopal et al. // Fuel. – 2020. – # 278, [118250]. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250>.
7. Venkatraman Narasiman. Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel / Venkatraman Narasiman, Suppandipilai Jeyakumar, Muthu Mani // JSME Journal of Thermal Science and Technology. – 2015. – Vol.10. – No.1. – Pages 1–9.
8. Suppes, G.J. Multifunctional diesel fuel additives from triglycerides / G. Suppes, J., Goff, M., Burkhart, M. L., Bockwinkel et al. // Energy and Fuels. – 2001. – 15(1). – Pages 151–157.
9. Labeckas G. The effect of fuel additive SO-2E on diesel engine performance when operating on diesel fuel and shale oil / G. Labeckas, A. Pauliukas, S. Slavinskas // Transport. – 2006. – № 21(2). – Pages 71–79.
10. Hicks R. Nanoemulsion Fuel Additive Used as a Diesel Combustion Catalyst / R. Hicks // Hindawi Journal of Combustion. – 2020. – Volume 1. – Pages 1–6.
11. Suleyman Simsek. Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions / Suleyman Simsek, Samet Uslu, Mukerrem Sahin, Fatih Arlı et al. // Energy Sources. 2021. – Part A. – Pub Date : 2021-07-01, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1946621>.
12. DSTU 7688:2015 «PALIVO DIZELNE EVRO. Tehnichni umovi». DTs «UkrNDNTs», Kiyiv, 2015. – 16 p.
13. Shmelev V.P. Opyit issledovaniy i ekspluatatsii toplivnoy apparaturyi sudovykh dizeley: monografiya / V.P. Shmelev, A.L. Lemeschenko, A.E. Piletskiy. – SPb. GMA im. adm. S.O. Makarova, 2009. – 118 p.
14. Nadezhkin A.V. Rezultaty resursnykh ispytaniy plunzhernykh par toplivnykh nassosov na razlichnykh vidakh sudovykh distsilyatnykh topliv / A.V. Nadezhkin, S.V. Glushkov, K.H. Lyiu // Morskie intellektualnyie tehnologii. – 2016. – T. 1. – # 3(33). – P. 146–152.
15. Vasilev G.G. Primenenie depressornodispergiruyuschih prisadok pri proizvodstve dizelnykh topliv EVRO / G.G. Vasilev, N.V. Navrilov, M.M. Lobashova // Mir nefteproduktov. – 2013. – # 1 – P. 5–11.

УДК 665.753.4

Троценко О.В., Григоров А.Б., Назаров В.М.

### **ОТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Відомо, що одним із шляхів підвищення рівня експлуатаційних властивостей дизельних палив є введення до їх складу спеціальних компонентів – присадок. Цей шлях на сьогоднішній день є досить раціональним та економічно доцільним для України, особливо в умовах відсутності якісної нафтової сировини для виробництва палив, що у свою чергу призводить до значної імпортозалежності.

Спектр присадок, які використовуються у дизельних паливах, є вельми різноманітним, що вносить певні складності до підбору їх збалансованого пакету, особливо з огляду на їх ефективність та сумісність одна з одною. Дещо спростити цю процедуру можливо за рахунок додавання до дизельних палив поліфункціональних присадок, використанню яких присвячено багато періодичної літератури.

Спираючись на актуальність напрямку наукових досліджень, пов'язаного з поліпшенням властивостей дизельного палива, яке виробляється на підприємствах нафтопереробної галузі України, нами було запропоновано використовувати у складі дизельних палив речовину, яка відноситься до класу ароматичних діазосполук та володіє поліфункціональними властивостями. Так, дана присадка додавалася до прямогонної дизельної фракції (240–350 °С) у кількості до 1,0 %, з подальшим дослідженням властивостей отриманої суміші. Дослідження показали, що присадка значно поліпшує низькотемпературні властивості (на -10 °С), сприяє підвищенню густини і в'язкості та додатково надає стійкий колір (від жовтого до помаранчевого) дизельному паливу. Отже, може бути використана у складі товарних дизельних палив, с підвищеними експлуатаційними властивостями.

**Ключові слова:** дизельне паливо, компаундування, синтез, присадка, діазосполуки, властивості, стабільність, колір

Троценко О.В., Григоров А.Б., Назаров В.М.

### **ПОЛУЧЕНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Известно, что одним из путей повышения уровня эксплуатационных свойств дизельных топлив является введение в их состав специальных компонентов – присадок. Этот путь на сегодняшний день достаточно рационален и экономически целесообразен для Украины, особенно в условиях отсутствия качественного нефтяного сырья для производства топлив, что в свою очередь приводит к значительной зависимости от импорта.

Спектр присадок, используемых в дизельных топливах, весьма разнообразен, что вносит определенные сложности в подбор их сбалансированного пакета, особенно, учитывая их эффективность и совместимость друг с другом. Несколько упростит эту



процедуру можно за счет добавления в дизельное топливо полифункциональных присадок, использованию которых посвящено много периодической литературы.

Опираясь на актуальность направления научных исследований, связанного с улучшением свойств дизельного топлива, которое выпускаются на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли Украины, нами было предложено использовать в составе дизельных топлив вещество, относящееся к классу ароматических diazocompounds и обладающее полифункциональными свойствами. Так, данная присадка добавлялась к прямогонной дизельной фракции (240–350 °C) в количестве до 1,0 %, с последующим исследованием свойств полученной смеси. Исследования показали, что присадка значительно улучшает низкотемпературные свойства (на -10 °C), способствует повышению плотности и вязкости топлива, и дополнительно придает дизельному топливу устойчивый цвет (от желтого до оранжевого). Следовательно, может быть использована в составе товарных дизельных топлив с повышенными эксплуатационными свойствами.

**Ключевые слова:** дизельное топливо, компаундирование, синтез, присадка, diazocompounds, свойства, стабильность, цвет

Trotsenko A.V., Grigorov A.B., Nazarov V.N.

### OBTAINING DIESEL FUEL WITH IMPROVED PROPERTIES

It is known that one of the ways to increase the level of operational properties of diesel fuels is the injection of special components – additives – into their composition. Today this way is a quite rational and economically feasible for Ukraine, especially in the absence of high-quality oil raw materials for the production of fuels, which in turn leads to a significant dependence on imports.

The range of additives used in diesel fuels is very diverse, which makes it difficult to select a balanced package, especially considering their effectiveness and compatibility with each other. This procedure can be a bit simplified by adding poly-functional additives to diesel fuel, the use of which is devoted to a lot of periodical literature.

Based on the relevance of the direction of scientific research related to improving the properties of diesel fuel, which is produced at the enterprises of the oil refining industry in Ukraine, we proposed to use a substance belonging to the class of aromatic diazocompounds and having polyfunctional properties in the composition of diesel fuels. Thus, this additive was added to a straight-run diesel fraction (240–350 °C) in an amount of up to 1.0%, followed by a study of the properties of the resulting mixture. Studies have shown that the additive significantly improves low-temperature properties (by -10 °C), contributes to an increase in fuel density and viscosity, and additionally gives diesel fuel a stable color (from yellow to orange). Consequently, it can be used in the composition of commercial diesel fuels with improved performance properties.

**Keywords:** diesel fuel, compounding, synthesis, additive, diazocompounds, properties, stability, color