

УДК 658.562

**О.І. Шпак,**  
**П.Г. Столярчук,** д-р техн. наук,  
**В.М. Юзевич,** д-р фіз.-мат. наук

### РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

*Наведено методику експрес-контролю якості дизельного палива. Визначено критерій компромісу та встановлення категорій якості за критерієм компромісу. Проведено експериментальне дослідження розробленої методики експрес-контролю якості ДП за паспортами якості.*

*Ключові слова:* методика, експрес-контроль, якість, дизельне паливо, показники якості.

**O.I. Shpak,**  
**P.G. Stolyarchuk,** ScD.,  
**V.M. Yuzevych,** ScD.

### DEVELOPING METHODS OF DIESEL FUEL QUALITY EXPRESS CONTROLL

*Methods of express-monitoring the quality of diesel fuel are proposed in the work. The criterion of compromise is determined, due to which the quality categories are distinguished. The experimental research of the developed methods of express-monitoring the diesel fuel quality due to the quality passports is under consideration.*

*Keywords:* methods, express-monitoring, quality, diesel fuel, quality indices.

**О.И. Шпак,**  
**П.Г. Столярчук,** д-р техн. наук,  
**В.Н. Юзевич,** д-р физ.-мат. наук

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Приведена методика экспресс-контроля качества дизельного топлива. Определен критерий компромисса и установлены категории качества по данным критерия компромисса. Проведено экспериментальное исследование разработанной методики экспресс-контроля качества дизельного топлива по паспортам качества.*

*Ключевые слова:* методика, экспресс-контроль, качество, дизельное топливо, показатели качества.

**Вступ.** Контроль якості дизельного палива (ДП) базується в цілому на міжнародних стандартах якості (ISO) та ін. В процесі реалізації ДП виникають ситуації, коли необхідно приймати рішення щодо пошуку та вибору оптимального варіанту контролю якості ДП. Прийняття таких рішень здійснюються на підставі аналізу основних показників ДП, що не завжди є достатньо обґрунтованими і формалізованими.

До того ж при контролі якості ДП можуть з'являтися невизначеності, що ускладнює точний розрахунок показників якості ДП і приводить до зміни їх значення впродовж життєвого циклу ДП.

Проблема зміни значень показників якості достатньо вивчена та формалізована лише на етапі експлуатації продукту.

**Аналіз сучасного стану досліджень і публікацій.** Методику контролю якості визначається сукупність методів, засобів, умов підготовки і проведення контролю яко-

сті показників продукції [1]. Для контролю якості ДП користуються фізико-хімічними показниками якості, які є кількісними оцінками однієї або декількох властивостей ДП.

При отриманні інформації про ДП споживач звертається до відповідних стандартів та інших нормативних документів (НД), чинних в Україні, що і регламентують його характеристики. Фізико-хімічні показники ДП мають відповідати вимогам чинних в Україні стандартів [2, 3].

Перелік різномірних характеристик ДП навіть за умови, що їх числові значення у межах норми, не дає конкретному споживачеві повної інформації щодо якості ДП, потрібної саме для нього.

**Постановка задачі.** Враховуючи вищесказане, потрібно розробити методику експрес-контролю якості ДП. Її основні завдання: визначення оптимальної структури показників;

встановлення взаємозв'язку між окремими показниками якості ДП і його споживчими характеристиками;

© Шпак О.І., Столярчук П.Г.,  
Юзевич В.М., 2012

аналіз показників якості ДП та їх впливу на процеси запуску двигуна автомобіля;

розрахунок максимального і мінімального показників якості ДП та оцінка їх негативної дії на двигун;

визначення критерію негативного та позитивного впливу та формування критерію компромісу;

встановлення категорій якості за значеннями критерію компромісу;

визначення якості дизельного палива за розробленою методикою.

### **Теоретичні засади методики експрес-контролю якості ДП.**

*Визначення оптимальної структури показників ДП.* Під час встановлення номенклатури (переліку) показників якості (ПЯ) продукції враховуються дві взаємно протилежні вимоги [4]: з одного боку, кількість показників має бути достатньою, щоб дійсно давати об'єктивну оцінку якості товару, а з іншого – велика кількість показників ускладнює процес встановлення відповідності. Отже, потрібно, щоб кількість показників якості продукції була оптимальною, а до їх складу, насамперед, входили ті показники, які найповніше характеризують якість продукції залежно від функціонального призначення і потреб споживачів.

*Визначення взаємозв'язку між окремими показниками якості ДП і його споживчими характеристиками.* Згідно [2] у [5] розглянуто важливі для споживача показники якості ДП. Необхідно встановити взаємозв'язок між показниками якості ДП за [3] і його споживчими характеристиками. До кожної споживчої характеристики ДП належать певні ПЯ (рис. 1).

Проаналізуємо ПЯ ДП і визначимо, які з них є найважливіші, і як вони впливають на процеси запуску двигуна автомобіля.

*Аналіз показників якості ДП та їх вплив на процеси запуску двигуна автомобіля.* Найбільш важливими показниками якості ДП за [6] є фракційний склад і цетанове число. Фракційний склад ДП впливає на витрату палива, склад відпрацьованих газів, запуск двигуна, нагароутворення і закоксованість форсунок, зношеність поршневих кілець і циліндрів, пригорання кілець та ін. Чим важ-

че паливо за фракційним складом, тим більша зношеність верхніх компресійних поршневих кілець та більша питома витрата палива і часу на прокручування двигуна при запуску.

Цетанове число характеризує самоспалахуючі характеристики ДП. З підвищенням цетанового числа палива процес згорання протікає плавніше та м'якше. Окрім того, чим вище цетанове число, тим нижча мінімальна температура запуску двигуна.

З підвищенням граничної температури фільтрованості закупорюються частково або повністю пори фільтрів тонкої очистки, і тим самим порушується подача палива до насосів і форсунок. Вміст сірки в ДП збільшує зношеність циліндра і поршневих кіл.

В'язкість – один із важливих показників якості ДП. Від в'язкості залежать процеси випаровування і згорання палива, надійність і довговічність паливної апаратури та можливість використання ДП при низькій температурі. Чим менша в'язкість, тим паливо краще розпилюється.

Зі збільшенням зольності ДП значно зростає зношеність елементів системи живлення та деталей циліндро-поршневої групи двигуна [7]. З підвищенням вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів у ДП збільшується цетанове число і підвищується його температура застигання, а також утворюється багато нагару. Збільшення коксівності призводить до прискорення нагароутворюючих процесів у двигуні. Вода і механічні домішки в ДП впливають на корозію деталей двигуна. Корозія також залежить від окислювальної нестабільності ДП.

Визначивши оптимальну структуру ПЯ, їх взаємозв'язок зі споживчими характеристиками та проаналізувавши вплив ПЯ ДП на запуск і нагароутворюючі процеси в двигуні, слід встановити, які з них завдають більше або менше шкоди двигуну, і яким чином необхідно контролювати якість ДП.

### **Методика експрес-контролю якості дизельного палива**

1. Нехай маємо  $n$  показників  $P_i$ , які найбільш точно характеризують якість ДП, де  $i = 1 \dots n$ .



Рис. 1. Взаємозв'язок між фізико-хімічними показниками дизельного палива та його споживчими характеристиками

2. Визначаємо максимальне, мінімальне і виміряне значення показників  $P_i$  ( $P_i \max$ ,  $P_i \min$ ,  $P_i \text{ вим}$ ) ДП.

3. Обчислюємо *середнє* значення ДП

$$P_{\text{ісеп}} = \frac{P_{i \max} + P_{i \min}}{2}. \quad (1)$$

4. Розраховуємо

$$\Delta P_i = \frac{|P_{i \text{ вим}}| - |P_{i \min}|}{|P_{\text{ісеп}}|}. \quad (2)$$

5. Визначаємо, які з показників  $P_i$  ДП прямують до *максимального* значення, а які – до *мінімального*.

6. Визначаємо, які з  $P_{i \min}$  ДП завдають менше шкоди (позначивши їх  $P_{si}$ ) і які з  $P_{i \min}$  завдають більше шкоди ( $P_{ki}$ ), причому

$$P_{i \min} = P_{si} + P_{ki}. \quad (3)$$

7. Визначаємо коефіцієнти вагомості  $q_i$  для кожного  $P_{i \min}$ . Присвоюємо коефіцієнти вагомості  $q_{si}$  для  $P_{si}$ , що відповідають першому набору параметрів,

$$q_{si} = \frac{2}{2 \cdot s + k}, \quad (4)$$

де  $s$  і  $k$  – кількість показників, які завдають відповідно менше, більше шкоди ДП. Присвоюємо коефіцієнти вагомості  $q_{ki}$  для  $P_{ki}$ , що відповідають другому набору параметрів,

$$q_{ki} = \frac{1}{2s + k}, \quad (5)$$

причому  $\sum_{i=1}^{s+k} q_i = 1$ .

8. Запропоновано критерій негативного впливу

$$K_n = \sqrt{\sum_{i=1}^s q_{si} \Delta P_{si}^2 + \sum_{i=1}^k q_{ki} \Delta P_{ki}^2}. \quad (6)$$

9. Аналогічно вводимо критерій позитивного впливу

$$K_n = \sqrt{\sum_{i=1}^s q_{si} \Delta P_{si}^2 + \sum_{i=1}^k q_{ki} \Delta P_{ki}^2}. \quad (7)$$

10. Формуємо критерій компромісу

$$K_{opt} = \alpha K_n + \beta K_n, \quad (8)$$

де  $\alpha + \beta = 1$  – коефіцієнти вагомості.

11. Визначаємо якість ДП за значеннями  $K_{opt}$  (табл.1).

#### 1. Категорії якості дизельного палива

$K_{opt}$	Категорії якості	Характеристика якості
[0–0,4]	I	Висока
(0,4–0,6]	II	Добра
(0,6–1]	III	Допустима

Оцінюючи отримані значення виразу  $K_{opt}$ , що відображають якість ДП, можна провести його категоризацію за табл.1. Для цього область значень вказаних показників, тобто проміжок від 0 до 1, розбивається на певні діапазони рівнів якості.

Діапазон від 0 до 0,4 включно відображає рівень високої якості, від 0,4 до 0,6 включно – доброї від 0,6 до 1 включно – допустимої якості. Таку класифікацію встановлено експертним методом.

#### Визначення категорій якості за значеннями критерію компромісу

Для визначення категорій якості за критерієм компромісу проаналізуємо нормовані показники якості ДП за такими значеннями:

- 1) мінімальні;
- 2) значенням між мінімальним і середнім;
- 3) середнім;
- 4) значенням між середнім і максимальним;
- 5) максимальним.

Зведемо виміряні значення для варіантів 1–5 та значення критерію компромісу (табл.2), попередньо провівши розрахунки за формулами (1)–(8) згідно з вищевказаною методикою.

Як видно із табл.2, значення критерію компромісу змінюється в межах від 0 до 1,05. Цей діапазон можна розділити на три категорії якості.

До першої віднесемо ДП з  $K_{opt}$  від 0 до 0,4 включно (вважатимемо високою якістю). До другої ДП з  $K_{opt}$  від 0,4 до 0,6 включно (добра якість). До третьої категорії з  $K_{opt}$  від 0,6 до 1 включно (допустима якість).

#### Визначення якості дизельного палива за розробленою методикою

Застосуємо дану методику для ДП підвищеної якості [3]. Для цього визначимо *максимальне* та *мінімальне* значення для кожного показника якості  $P_i$ , які взаємопов'язані зі споживчими характеристиками даного ДП.

Вміст води та механічних домішок не нормуються числовими значеннями (у ДСТУ в графі “Значення” написано *відсутній*, але ці показники сильно впливають на корозію деталей двигуна), з цієї причини в обчисленнях їх не використовуємо.

Визначаємо середнє значення всіх показників за формулою (1) і всі результати обчислень заносимо в табл. 3.

Аналогічно визначаємо  $\Delta P$  для кожного показника ДП за формулою (2) та  $\Delta P^2$  для формули (6) та (7).

За виміряні використаємо значення показників ДП за паспортом якості [8].

Визначимо, які з показників ДП при збільшенні їх значення покращують якість ДП, а які, навпаки, погіршують. Чим вище цетанове число, тим процес згорання ДП протікає більш плавно, двигун працює економніше і не так жорстко, як на низькоцетановому паливі, тобто чим вище цетанове число, тим вища якість ДП, тому приймаємо, що цетанове число прямує до *максимального* значення  $P_{i\ max}$ . Чим нижчі значення решти показників, тим вища якість ДП, тобто бажаною умовою є спадання значень показників до *мінімального* значення  $P_{i\ min}$ .

Оскільки в нашому випадку лише зі збільшенням цетанового числа до *максимального* значення  $P_{i\ max}$ , якість ДП буде покращувати, то за формулою (7) критерій позитивного впливу

$$K_n = \sqrt{\sum_{i=1}^s q_{si} \cdot \Delta P_{si}^2 + \sum_{i=1}^k q_{ki} \cdot \Delta P_{ki}^2} = \sqrt{1 \cdot 0,000190} = 0,013793.$$

Визначимо для показників ДП, які з  $P_{i\ min}$  приносять менше шкоди ДП, позначивши їх  $P_{si}$ , і які з  $P_{i\ min}$  приносять більше шкоди ДП –  $P_{ki}$ .

Оскільки сірка, не зважаючи на її малий вміст, негативний показник для ДП, і завдає великої шкоди двигуну, то віднесемо її до  $P_{ki}$ . Вплив решти показників є менш шкідливим, тому відносимо їх до  $P_{si}$ .

Розраховуємо коефіцієнти вагомості  $q_{si}$  для кожного  $P_{si}$ , які відповідають першому набору параметрів, за формулою (4)

$$q_{si} = \frac{2}{2s+k} = \frac{2}{27+1} = 0,1333$$

а також коефіцієнти вагомості  $q_{ki}$  для кожного  $P_{ki}$ , що відповідають другому набору параметрів, за формулою (5)

$$q_{ki} = \frac{1}{2s+k} = \frac{1}{2 \cdot 7 + 1} = 0,0667$$

де  $s=9-l-k=7$ , а 9 – загальна кількість показників, за якими досліджується ДП, з них  $l$  – цетанове число ( $P_{i \max}$ ),  $k = 1$  – сірка.

$$\text{Причому } \sum_{i=1}^{s+k} q_i = 1$$

Обчислимо критерій негативного впливу за формулою (6)

$$K_H = \sqrt{\sum_{i=1}^s q_{si} \cdot \Delta P_{si}^2 + \sum_{i=1}^k q_{ki} \cdot \Delta P_{ki}^2} =$$

$$= \sqrt{0,1333 \cdot 0,011249 + 0,1333 \cdot 0,030246 +$$

$$+ 0,1333 \cdot 0,031849 + 0,1333 \cdot 4 +$$

$$+ 0,1333 \cdot 0,235225 + 0,1333 \cdot 0,016649 +$$

$$+ 0,01333 \cdot 0,094675 + 0,0667 \cdot 0,01} =$$

$$= 0,768105$$

Оцінимо вираз  $K_{opt}$  (він характеризує критерій компромісу) за формулою (8), де  $\alpha + \beta = 1$  – коефіцієнти вагомості.

Прийmemo, що  $\alpha = 0,33$ , а  $\beta = 0,67$ , тоді

$$K_{opt} = \alpha K_n + \beta K_n = 0,33 \cdot 0,013793 +$$

$$+ 0,67 \cdot 0,768105 = 0,519182$$

За значеннями  $K_{opt}$  згідно з табл. 1 оцінимо якість досліджуваного ДП. Оскільки

$K_{opt}$  дорівнює 0,519182 і відповідає категорії II якості відповідно даної табл. 1, тобто дане ДП має добру якість. Друга категорія якості досліджуваного ДП, в нашому випадку, значається максимальним значенням зольності, тому  $K_{opt}$  набуває такого значення. Для того, щоб дане ДП набуло категорії I якості необхідно знизити зольність ДП.

Перевіримо, чи працює створена методика експрес-контролю для реальних значень за паспортами якості (табл.4):

1. паспорт № 888 ДП підвищеної якості (Євро) марки С виду II;
2. паспорт №179 ДП Л-0,2-62.

Як видно з табл.4 ДП за паспортами 1 і 2 відповідає I категорії – високій якості, так як  $K_{opt}$  перебуває в межах від 0 до 0,4 включно.

## 2. Виміряні значення показників дизельного палива

Вимірювання	Цетанове число <b>P1</b>	Фракційний склад (95% пере ганяється за $t^0$ ), <b>P2</b> , $^0C$	Гранична температура фільгрованості, <b>P3</b> , $^0C$	Масова частка сірки, <b>P4</b> , мг/кг	Кінематична в'язкість (за темпе-ратури 40 $^0C$ ), <b>P5</b> мм $^2$ /с	Зольність, <b>P6</b> , %	Вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів, <b>P7</b> , %	Коксівність 10-% залишку, <b>P8</b> , %(мас)	Окислювальна стабільність, <b>P9</b> , г/м $^2$	Критерій компромісу, $K_{opt}$
1-ше	51	300	-5	0,001	2	0	1	0,01	1	<b>0</b>
2-ге	60	315	-9	0,0015	2,625	0,0025	3,5	0,0825	7	<b>0,318</b>
3-ге	58	330	-7,5	0,003	3,25	0,005	6	0,155	13	<b>0,524</b>
4-ге	54	345	-6	0,0045	3,75	0,0075	8	0,2	18	<b>0,702</b>
5-ге	65	360	-10	0,005	4,5	0,01	11	0,3	25	<b>1,05</b>

## 3. Значення показників якості дизельного палива

Значення	Цетанове число <b>P1</b>	Фракційний склад (95% пере ганяється за t <sup>0</sup> ), <b>P2</b> , °C	Гранична температура фільтрованості, <b>P3</b> , °C	Масова частка сірки, <b>P4</b> , мг/кг	Кінематична в'язкість (за температури 40 °C), <b>P5</b> , мм <sup>2</sup> /с	Зольність, <b>P6</b> , %	Вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів, <b>P7</b> , %	Коксівність 10-% залишку, <b>P8</b> , %(мас)	Окислювальна стабільність, <b>P9</b> , г/м <sup>2</sup>
min	51	300	-20	0,001	2	0	1	0,01	1
max	65	360	-26	0,005	4,5	0,01	11	0,3	25
виміряне	51,8	335	-24	0,0013	2,58	0,01	3,91	0,03	5
середнє	58	330	-23	0,003	3,25	0,005	6	0,155	13
ΔP	0,013793	0,10606	0,17391	0,1	0,17846	2	0,485	0,129032	0,30769
ΔP <sup>2</sup>	0,000190	0,01125	0,03025	0,01	0,03185	4	0,23523	0,016649	0,09468

## 4. Виміряні значення показників дизельного палива за паспортами якості

Вимірювання	Цетанове число <b>P1</b>	Фракційний склад (95% пере ганяється за t <sup>0</sup> ), <b>P2</b> , °C	Гранична температура фільтрованості, <b>P3</b> , °C	Масова частка сірки, <b>P4</b> , мг/кг	Кінематична в'язкість (за температури 40 °C), <b>P5</b> , мм <sup>2</sup> /с	Зольність, <b>P6</b> , %	Вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів, <b>P7</b> , %	Коксівність 10-% залишку, <b>P8</b> , %(мас)	Окислювальна стабільність, <b>P9</b> , г/м <sup>2</sup>	Критерій компромісу <b>K<sub>opt</sub></b>
1-ше	53	339,5	-9	0,0041	2,74	0,001	5	0,06	13	<b>0,384</b>
2-ге	52,1	358	-5	0,0015	2,9	0,005	4,4	0,027	2,6	<b>0,303</b>

**Висновок**

Розроблена методика експрес-контролю якості ДП дає змогу реально оцінити якість ДП від різних виробників за значеннями параметра  $K_{opt}$ , що відповідає критерію компромісу, і на його основі встановити якість ДП за категоріями якості.

Результати визначення якості ДП підтвердили справедливність запропонованих теоретичних засад розробленої методики експрес-контролю його якості та можливість її використання у нафтовій галузі.

## Список використаної літератури

1. Управління якістю. Сертифікація: Навч. Посібник / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, Л. І. Сопільник, О. О. Калинський. – К.: Школа, 2005. – 432 с.

2. ДСТУ 3868-99. Паливо дизельне. Технічні умови.

3. ДСТУ 4840-2007. Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови.

4. Бубела Т. Що ж таке якість товару? / Т. Бубела, Т. Бойко, П. Столярчук // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 4. – С. 51–54.

5. Столярчук П. Формування вимог до методів оцінювання якості дизельного палива / П. Столярчук, О Шпак // Вимірювальна техніка та метрологія: Міжвідомчий науково-техніч. зб. – 2011. – № 72 – С.107–111.

6. Папок К. К. Дизельные топлива / К. К. Папок. – М.: Воениздат, 1957, – 112 с.

7. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. К / Упор. В. Я. Чабанний // Центрально-Українське видавництво. – Кіровоград: 2008. – 353 с.

[http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi\\_Pal\\_mast\\_Mater\\_kn1.pdf](http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn1.pdf).

8. Паспорт якості №0309114/0-0519 Дизельне паливо підвищеної якості (Євро) марки F виду II від 20.12.2010.

Отримано 25.05.2012

#### References

1. Quality Management. Certification: Teach. Manual / R. V. Bychkivskyy, P. G. Stolyarchuk, L. I. Pipers, A. A. Kalynskyy. - Kiev: School, 2005. – 432 p. [in Ukrainian].

2. GOST 3868-99. Diesel fuel. Specifications [in Ukrainian].

3. ISO 4840-2007. High quality diesel fuel. Specifications [in Ukrainian].

4. Bubela T. What is the quality of the goods? / T. Bubela, T. Boiko, P. Stolyarchuk // Standardization tion, certification, quality. – 2005. N 4. –P. 51–54 [in Ukrainian].

5. Stolyarchuk P. Forming requirements for methods of evaluating the quality of diesel fuel / P. Stolyarchuk, O. Shpak // Measuring equipment and metrology: Interdepartmental Scientific and technight collection. – 2011. – № 72 - P.107–111 [in Ukrainian].

6. Browse K. K. Diesel fuel / K. K. Browse. – Moscow: Voenizdat, 1957. – 112 p. [in Ukrainian].

7. Fuel and lubricants, technical night and fluid system of their maintenance. K / stop. V. Ja Chabanna. – Kirovograd: Central Ukrainian Publishing, 2008. – 353 p. [http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi\\_Pal\\_mast\\_Mater\\_kn1.pdf](http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn1.pdf) [in Ukrainian].

8. Passport № 0309114/0-0519 as diesel fuel high quality (Eu-ro) F grade type II from 20.12.2010 [in Ukrainian].



Шпак  
Оксана Іванівна,  
молодший наук. співробітник каф. Метрології, стандартизації та сертифікації НУ“Львівська політехніка”.  
Тел.: (032) 258-23-94,  
0953607593  
E-mail:  
oxana.shpakk@gmail.com



Столярчук  
Петро Гаврилович,  
д-р техніч.наук,проф.,зав. каф. Метрології, стандартизації та сертифікації НУ“ Львівська політехніка”.  
Тел.: (032) 258-23-94.  
E-mail:  
stolyarchuk@polinet.lviv.ua



Юзевич  
Володимир  
Миколайович,  
д-р фізико-математич. наук, проф. каф. Метрології, стандартизації та сертифікації, НУ“Львівська політехніка”.  
Тел.: (032) 258-23-94.  
E-mail:  
yuzevych@rambler.ru