

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИН

УДК 681.2.083:555.7

ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ЇХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

В. В. Древецький, М. М. Клепач

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, тел.(0362)223-565, e-mail: klepachmm@ukr.net

Розглянуто метод визначення цетанового числа дизельних палив на основі його фізико-хімічних параметрів із використанням штучних нейронних мереж.

Ключові слова: дизельне паливо, цетанове число, в'язкість, густина, штучна нейронна мережа.

Рассмотрен метод определения цетанового числа дизельных топлив на основе их физико-химических параметров с использованием искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: дизельное топливо, цетановое число, вязкость, плотность, искусственная нейронная сеть.

The method for cetane number of diesel fuels based on its physical-chemical parameters using artificial neural networks determination has been considered.

Key words: diesel fuel, cetane number, viscosity, density, artificial neural network.

Основними якісними показниками дизельних палив є в'язкість та густина нафтопродуктів. Ці параметри є одними із визначальних при оцінці якості нафтопродуктів. Вони визначають рівень випаровування та сумішоутворення палива. Іншою важливою якісною характеристикою дизельних палив є їх здатність до самозаймання при стисненні. Ця здатність виражається в умовних одиницях цетанового числа (ЦЧ), яке чисельно дорівнює процентному (за об'ємом) вмісту цетану (н-гексадекану) в суміші з альфа-метилфталейном. Якщо дизпаливо характеризується такою ж займістістю, що і модельна суміш цих двох вуглеводнів, то цетанове число такого палива приймають рівним процентній частці цетану у даній суміші. Чим воно більше, тим легша займістість суміші при стисненні. Оптимальним, для сучасних дизельних двигунів, значення ЦЧ становить 45÷55 одиниць. При низьких ЦЧ підвищується жорсткість роботи двигунів, а при високих - знижується економічність та підвищується задимленість відпрацьованих газів.

Згідно [1] найбільш точним при визначенні ЦЧ є моторний метод, який виконується згідно відомої методики [2]. Випробування проводяться на стандартному одноциліндровому чотиритактному форкамерному двигуні зі змінною величиною

стиснення. Такі дослідження є досить трудомісткими, вимагають багато часу і великої кількості матеріалів для досліджень. При тому вони є досить затратними через високу вартість як самого устаткування та його обслуговування, так і через вартість еталонних сумішей.

Крім цього, існує також лабораторний метод визначення ЦЧ, який по точності наближається до моторного. Він ґрунтується на експериментальному визначенні густини і кінематичної в'язкості продукту при температурі 20°C та розрахунку цетанового числа за відомими залежностями.

Зокрема, для розрахунку ЦЧ використовують залежність [3]:

$$\text{ЦЧ} = (v_{20} + 17,87) \frac{1,5879}{\rho_{20}}, \quad (1)$$

де v_{20} - кінематична в'язкість в $\left[\frac{\text{мм}^2}{\text{с}} \right]$, ρ_{20} - густина в $\left[\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right]$ при температурі дизпалива 20°C.

Метою роботи є підвищення точності визначення ЦЧ дизельних палив на основі вимірних значень їх кінематичної в'язкості і густини та використання при цьому штучних нейронних мереж.

З метою оцінки ефективності використання розрахункових методів визначення ЦЧ на основі значень в'язкості і густини дизельних палив нами здійснено вибірку з масиву сертифікатів якості партій дизельного палива класу С виду І виробництва Мозирського НПЗ (табл. 1).

Проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку фізико-хімічних параметрів дизпалива з цетановим числом. В результаті обробки вказаного масиву даних отримано коефіцієнти кореляції Пірсона між густиною та цетановим числом, що рівний $R_{ЦЧ,\rho} = -0,299$, та кінематичною в'язкістю і цетановим числом $R_{ЦЧ,\nu} = 0,606$. Отже між вказаними вище фізико-хімічними параметрами і цетановим числом дизельного палива існують суттєві взаємозв'язки.

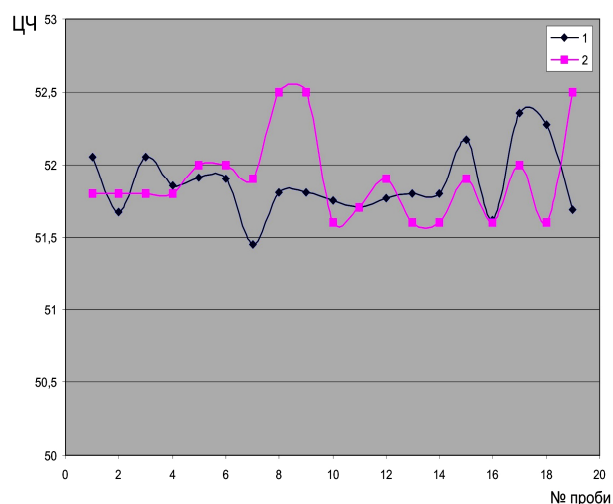
При розрахунку ЦЧ за формулою (1) кінематична в'язкість та густина повинні бути приведені до температури 20°C. За діючим стандартом кінематичну в'язкість дизпалива вимірюють при 40°C, а густину при 15, 20 і 40°C. В той же час стандартизована методика приведення значення кінематичної в'язкості від 40°C до 20°C відсутня. У зв'язку з цим доцільно уточнити коефіцієнти залежності (1) з метою використання значень кінематичної в'язкості та густини при 40°C. Після уточнення коефіцієнтів методом послідовного наближення отримано залежність виду:

$$ЦЧ = (\nu_{40} + 16,77) \frac{2,1759}{\rho_{40}}, \quad (2)$$

де ν_{40} – кінематична в'язкість в $\left[\frac{мм^2}{с} \right]$, ρ_{40} –

густина в $\left[\frac{г}{см^3} \right]$ при температурі дизпалива 40°C.

На рис.1 приведено порівняння результатів розрахунків, визначених за залежністю (2), та дійсних значень ЦЧ, визначених моторним методом згідно сертифікатів.



1 – ЦЧ розраховане згідно (2); 2 – ЦЧ згідно сертифікату

Рисунок 1 – Порівняльна характеристика ЦЧ розрахованого за формулою (2) та виміряного моторним методом

Як видно з рис.1, розрахунковий метод характеризується невисокою точністю. Сучасний етап розвитку інформаційної технології та обчислювальних пристроїв дозволяє суттєво підвищити точність обробки експериментальних даних, використовуючи, зокрема, штучні нейронні мережі.

Таблиця 1 – Вибірка показників якості партій дизельного палива Мозирського НПЗ

Номер проби	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цетанове число	51.8	51.8	51.8	51.8	52	52	51.9	52.5	52.5
Густина, кг/м ³	825.1	823.6	825.1	823.2	821.6	822.1	818.7	822.3	822.3
Кінематична в'язкість, сСт	2.97	2.79	2.97	2.85	2.83	2.84	2.59	2.81	2.81

Продовження табл. 1

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
51.6	51.7	51.9	51.6	51.6	51.9	51.6	52	51.6	52.5
821.9	820.2	819.2	821.2	821.2	822.0	818.2	820.8	819.5	820.9
2.78	2.72	2.72	2.78	2.78	2.94	2.92	2.98	2.64	2.73

Для обчислення цетанового числа дизельних палив на основі вимірних густини та кінематичної в'язкості в багатофункціональному автоматичному аналізаторі показників якості нафтопродуктів [4] створена штучна нейронна мережа в Neural Network Toolbox з використанням пакету прикладних програм Matlab [5]. Нейронна мережа однонапрямлена двошарова (рис. 2): перший (прихований) шар з 50 нейронів має функцію активації $\tan \operatorname{sig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1$, другий (вихідний) шар представлений одним нейроном – лінійну функцію активації. Входом мережі є матриця–стовпець з 2 параметрів: густини та кінематичної в'язкості, виражених відповідно в кг/м³ та сСт. Вихід мережі – значення цетанового числа.

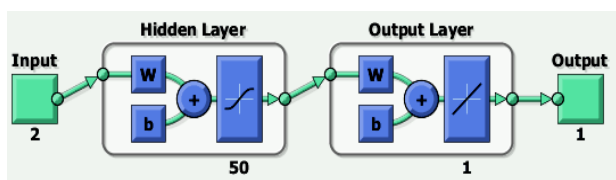


Рисунок 2 – Структура нейронної мережі

Для навчання мережі використана функція `trainscg`, що модифікує ваги та зміщення мережі за методом градієнтного спуску Моллера. Показником ефективності функціонування мережі обрано середню квадратичну похибку.

Параметрами навчання мережі обрані такі:

- максимальна кількість епох навчання – 1000;
- цільова ефективність функціонування – 0;
- мінімальний градієнт ефективності функціонування – 10⁻⁹⁰;
- максимальна кількість раз підвищення ефективності функціонування з моменту останнього зменшення – 100;
- зміна ваги для наближення другої похідної $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$;
- параметр регуляризації 5·10⁻⁷.

В якості вихідних даних для навчання мережі взята матриця 2x19 із значеннями густини і кінематичної в'язкості при 40°C (табл. 1), а цільових даних – матриця 1x19 значень цетанового числа, визначеного моторним методом (рис. 3).

В результаті навчання середню квадратичну помилку навчання мережі зведено до $1,55 \cdot 10^{-29}$ за 105 епох.

Після виконання процедури навчання нейронна мережа з достатньо високою точністю визначає цетанове число за густиною та

кінематичною в'язкістю дизельного палива, вимірних при температурі 40°C (рис. 4).

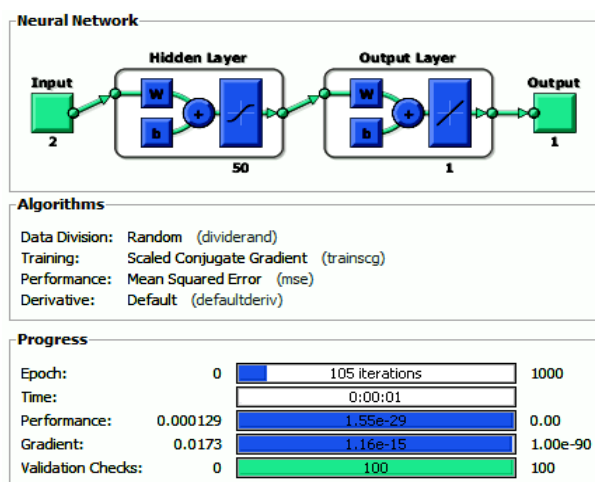


Рисунок 3 – Досягнуті показники в процесі навчання

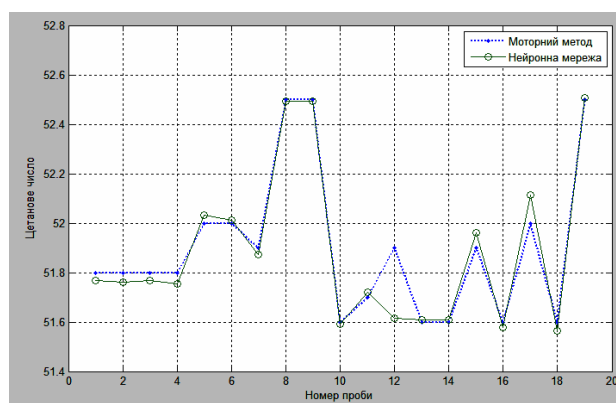


Рисунок 4 – Порівняння значень цетанових чисел, визначених за допомогою нейронної мережі та моторним методом

Проведене порівняння результатів розрахунків ЦЧ дизельних палив по відомій залежності (2) і з використанням нейронних мереж (табл.2) показує, що використання останніх дозволяє досягти відносної похибки визначення ЦЧ не більше 2%.

Використання у автоматичному аналізаторі якісних показників нафтопродуктів [4] запропонованого інформаційного забезпечення дозволяє реалізувати одночасне неперервне вимірювання кінематичної в'язкості, густини і цетанового числа дизельних палив в процесах його виробництва та використання. Здатність штучних нейронних мереж до перенавчання робить його універсальним і дозволяє пристосовувати до різних виробництв та видів дизельного палива.

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз методів вимірювання ЦЧ

Номер проби	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЦЧ (моторний метод)	51,8	51,8	51,8	51,8	52	52	51,9	52,5	52,5
ЦЧ розраховане за (2)	52,06	51,67	52,06	51,86	51,91	51,90	51,45	51,81	51,81
ЦЧ з використанням нейронної мережі	51,77	51,76	51,77	51,75	52,03	52,01	51,87	52,49	52,49

Продовження табл. 2

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Похибка	
51,6	51,7	51,9	51,6	51,6	51,9	51,6	52	51,6	52,5	Δ_{\max}	$\sigma, \%$
51,75	51,70	51,77	51,80	51,80	52,17	51,62	52,36	52,27	51,69	0,81	8,78%
51,59	51,72	51,61	51,61	51,61	51,96	51,58	52,11	51,56	52,51	0,29	1,74%

Поєднання в автоматизованому аналізаторі класичних методів вимірювання, сучасних засобів автоматизації та новітніх інформаційних технологій для обробки первинної інформації дозволяє створювати інтелектуальні вимірювальні системи нового покоління.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень показано, що за умови використання нейронних мереж при обробці результатів вимірювань можна з високою точністю визначити цетанове число дизельних палив за значенням їх кінематичної в'язкості та густини.

1. *Топливо дизельное. Технические условия* : ГОСТ 305-82– М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.–10 с. 2. *Топлива дизельные. Определение цетанового числа* : ГОСТ 52709–

2007. – М. : Стандартинформ, 2007.–28 с. 3. *Бойченко С. В. Моторные топлива и масла для современной техники* / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К.: НАУ, 2005.–216 с. 4. *Древецький В. В. Багатофункціональний автоматичний аналізатор показників якості нафтопродуктів* / В. В. Древецький, М. М. Клепач, С. П. Воробюк. / *Вісник Інженерної академії України: Теоретичний і науково-практичний журнал.* - Київ, 2010. - Вип.2. - С.208-212. 5. *Neural Network Toolbox*. [Електронний ресурс] : [режим доступу] <http://www.mathworks.com/help/toolbox/nnet/>.

Поступила в редакцію 11.04.2011 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Яцук В.О.