УДК 543:662.6

Класифікація товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій родовищ східних областей України на основі діелектрометричних та газохроматографічних даних

В.А. Руднєв[1], О.П. Бойченко[2], П.В. Карножицький[1]

[1] Кафедра палива та вуглецевих матеріалів, НТУ „ХПІ",вул. Фрунзе, 21, Харків, 61002, Україна, e-mail: vasiliy-rudnev@mail.ru

[2] Кафедра хімічної метрології, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, Харків 61077, Україна e-mail: boichenko@univer.kharkov.ua

Надійшла: 20 липня 2010 р. / Затверджена до друку: 20 вересня 2010 р.

В статті досліджено можливість проведення класифікаційного аналізу класів товарних бензинів та легких (бензинових) газоконденсатних фракцій. Застосування кластерного аналізу дозволило однозначно відрізнити класи товарних бензинів від легких газоконденсатних фракцій за результатами діелектричних досліджень. Класифікація всередині класу товарних бензинів за товарною маркою виявилась можливою при використанні тільки значень відносної діелектричної проникності вихідного зразка та 3-х фракцій, відібраних за обраними температурами кипіння, а всередині класу легких газоконденсатних фракцій – за результатами значень діелектричної проникності та значень об'ємів фракцій та густини вихідного зразка. Перевагами цього методу є низька вартість виконання одиничного визначення, висока мобільність приладу для вимірювань відносної діелектричної проникності, а також експресність вимірювань.

VASILIY A. RUDNEV, ALEXANDER P. BOICHENKO, PAVEL V. KARNOZGICKIJ. CLASSIFICATION OF COMMERCIAL GASOLINE AND LIGHT CONDENSATE FRACTIONS OF GAS FIELDS OF EASTERN REGIONS OF UKRAINE BASED ON DIELECTRIC AND GAS-CHROMATOGRAPHIC DATA - The opportunities of the application of the classification analysis of the commercial gasoline samples and light (gasoline) fraction of gas condensate were investigated. The application of the cluster analysis allowed distinguishing the classes of commercial gasoline from the light fraction of gas condensate by results of dielectric measurements. Classification inside of the class of commercial gasoline by brand is possible by using the data of relative capacitivity of sample and of three fractions collected according to the chosen boiling temperatures. The classification inside of the class of light gas condensate fraction is possible by using data on relative capacitivity and results of physical-chemical analysis of samples. The advantages of proposed method are low rate of single analysis and high portability of the offered instruments for conducting the analysis.

Ключові слова: *Товарний бензин, Легка газоконденсатна фракція, Діелектрична проникність, Кластерний аналіз*

Keywords: *Commercial gasoline, Light fraction of gas condensate, Dielectric capacitivity, Cluster analysis*

Вступ

Зростання кількості автомобільного транспорту та типів двигунів внутрішнього згорання, що є вимогливими до якості бензинів, та наявність кількох марок бензинів на українському ринку [1] викликають потребу створення експресних, дешевих та надійних методів класифікації великої кількості зразків палив. На сьогодні автомобільні бензини отримують з використанням різної за своїм складом та місцем добування сировини [2]. Визначення походження сировини, яка використовується при виробництві бензинів, є актуальною для завдань криміналістики та екологічного моніторингу. Значну частину вітчизняних бензинів отримують шляхом переробки газоконденсатів, великі поклади яких знаходяться на території східних областей України [3], тому необхідною є розробка методик визначення приналежності зразка газоконденсату до відповідного родовища. Значна кількість зловживань в сфері переробки сировини та реалізації готової продукції вимагає розробки підходів як до диференціації товарних бензинів та сировини, особливо легких газоконденсатних фракцій, так і для визначення відповідності бензинів марці, а сировини – місцю добування.

Незважаючи на потребу створення підходів

© В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

до класифікації палив та сировини такі роботи почали з'являтись лише нещодавно [4, 5]. Це пов'язано з розвитком методів хемометрики та удосконаленням комп'ютерної техніки, що сьогодні дозволяє обробляти значні масиви даних.

Відомі спроби застосувати нейронні мережі до спектрів флуоресценції зразків палив та мастил збуджених лазером [4].

В роботі [5] дані газо-хроматографічного аналізу з мас-спектрометричним детектором використано для класифікації звичайних та „преміум" бензинів з застосуванням методу нейронних мереж. Аналогічні експериментальні дані використано для класифікації мастил за методом мультиканального паралельного факторного аналізу [6]. Класифікація автомобільних бензинів за експериментальними даними, що вимірювались «електронним носом», запропонована в роботі [7]. В роботах [8, 9] порівнюються різні хемометричні методи для класифікації бензинів за даними ІЧ спектроскопії. Запропоновано цікавий метод класифікації бензинів за допомогою аналізу головних компонент та дискримінаційного аналізу за даними кривих дистиляції [10]. Найбільшою перевагою методів класифікації, що базуються на хемометричних методах аналізу даних полягає у відсутності суб'єктивізму при прийнятті рішення щодо приналежності зразка, що аналізують. Крім того в більшості випадків автори вказують на прийнятну похибку при класифікації, що складає менше 10-15 %.

Серед основних недоліків запропонованих підходів є досить висока тривалість хроматографічного аналізу та необхідність в більшості випадків використовувати стандартні зразки складу бензинів.

Крім того, хроматографічне обладнання має високу вартість та невелику мобільність, що унеможливлює проведення експресного аналізу. ІЧ спектроскопічні дослідження бензинів є досить експресними, однак, як і хроматографічне обладнання, ІЧ спектрометри мають високу вартість, крім того ІЧ спектрометри практично не можуть застосовуватись у мобільних лабораторіях.

В нашій попередній роботі запропоновано використовувати діелектрометричну проникність товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій для їх ідентифікації та класифікації [11].

В цій роботі розроблено підхід до класифікації товарних бензинів українського виробництва та легких газоконденсатних фракцій добутих на території України з використанням діелектрометричних даних та хемометричних методів класифікації.

Результати класифікації за діелектрометричними даними порівняно з результатами класифікації за газохроматографічними даними.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Методи дослідження

В даній роботі використовували методи діелектрометрії для визначення діелектричної проникності, газорідинної хроматографії для визначення фракційного складу, ареометрії для визначення густини зразків.

Показник діелектричної проникності вимірювався за резонансним методом, сутність якого полягає в вимірюванні ємності вимірювальної комірки з двома електродами, між якими знаходиться досліджувана рідина, та наступним розрахунком діелектричної проникності [12]. Вимірювання проводилося на вимірювачі типу Е4-4. Розрахунок діелектричної проникності проводився за формулою (1):

$$\varepsilon = \frac{c_1 - c_n}{c_0 - c_n} \quad (1)$$

де ε – показник діелектричної проникності;

c_0 – ємність (пФ) вимірювальної комірки, що заповнена повітрям;

c_1 – ємність вимірювальної комірки, яка заповнена досліджуваною рідиною;

c_n – паразитна ємність комірки [13].

Паразитну ємність розраховували за наступною формулою:

$$c_n = \frac{c_0 \varepsilon_k - c_k}{\varepsilon_k - 1} \quad (2)$$

де c_0 – ємність (пФ) вимірювальної комірки, що заповнена повітрям;

c_k – ємність вимірювальної комірки, яка заповнена калібрувальною рідиною;

ε_k – значення діелектричної проникності калібрувальної рідини [13].

В якості калібрувальної рідини використовувався толуол. ε_k толуолу складає 2.379 [12]. При виміряному значенні c_0 =32.8 пФ значення c_n склало 15.89 пФ. Калібрування комірки за толуолом та вимірювання c_0 повторювали перед кожною серією вимірювань. Об'єм рідкої проби, що використовували для проведення одного вимірювання, складав 25 мл.

Для встановлення компонентного складу досліджуваних нафтопродуктів використовувався метод газорідинної хроматографії. Хроматографування проводили на хроматографі «Кристалл-2000М» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Російська Федерація). Хроматографування проводили за наступних умов: ручне введення проби мікрошприцем (об'єм проби 1 мкл); газ-носій – азот; детектор – пламенно-іонізаційний; колонка – Quadrex 007–1 50м×0.25мм (Quadrex corporation, USA) з нерухомою фазою – полідиметилсилоксан; температура детектору – 210 °С; темпера-

тура випаровувача – 180 °С; швидкість газуносію – 20 мл/хв. Температуру програмували за наступною схемою: початкова температура колонки 35 °С; тривалість ізотермічної частини на початку хроматографування 20 хв.; швидкість нагрівання – 2 °С/хв.; кінцева температура колонки 200 °С.

Тривалість одного аналізу складала 110 хв. Встановлення режимів хроматографування, розрахунок площ та ідентифікацію піків виконували за допомогою програми «Хроматэк-Аналитик 2.5» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Російська Федерація), розрахунок масових часток компонентів проводили за допомогою програми «Gasoline» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Російська Федерація).

Визначення фракційного складу проводилось відповідно до ГОСТ 2177-99 [14]. Сутність методу полягає в нагріванні зразка бензину з наступним його конденсуванням у холодильнику з водяним охолодженням та збором отриманого конденсату у мірному циліндрі. Відмічають об'єм відгону та відповідну йому температуру парів бензину у колбі для перегонки, що вимірюють ртутним термометром.

Визначення густини проводилося відповідно до ГОСТ 3900-85 [15]. Сутність методу полягає у зануренні ареометру у досліджуваний нафтопродукт, зніманні показань за шкалою ареометру при температурі визначення та перерахунку результатів на густину при температурі 20 °С.

Зразки бензинів та легких газоконденсатних фракцій

Для дослідження були відібрані 23 зразка бензинів та 35 зразків легких газоконденсатних фракцій. В табл. 1 наведено марки бензинів та назви місць добування легких газоконденсатних фракцій та відповідна кількість зразків. Усі зразки бензинів відповідають зазначеним маркам за ДСТУ 4063-2001 [1].

Програмне забезпечення

Для обробки експериментальних даних використовували програми Microsoft Excel (2002, Microsoft Corporation, http://office.microsoft.com) та Statistica 6.0, data analysis software system (2004, http://www.statsoft.com).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Діелектрометричні дослідження досить давно застосовують для експресного визначення таких параметрів якості бензинів як октанове число [16, 17, 18]. Однак слід відмітити, що діелектрична проникність є інтегральною величиною, тому її використання для характеристики різних за складом та властивостями бензинів може привести до хибних результатів.

Більш надійну інформацію щодо властивостей досліджених бензинів можна отримати за значеннями діелектричної проникності не тільки вихідних зразків палива, але й для бензинових фракцій, що отримують шляхом фракційної перегонки [19].

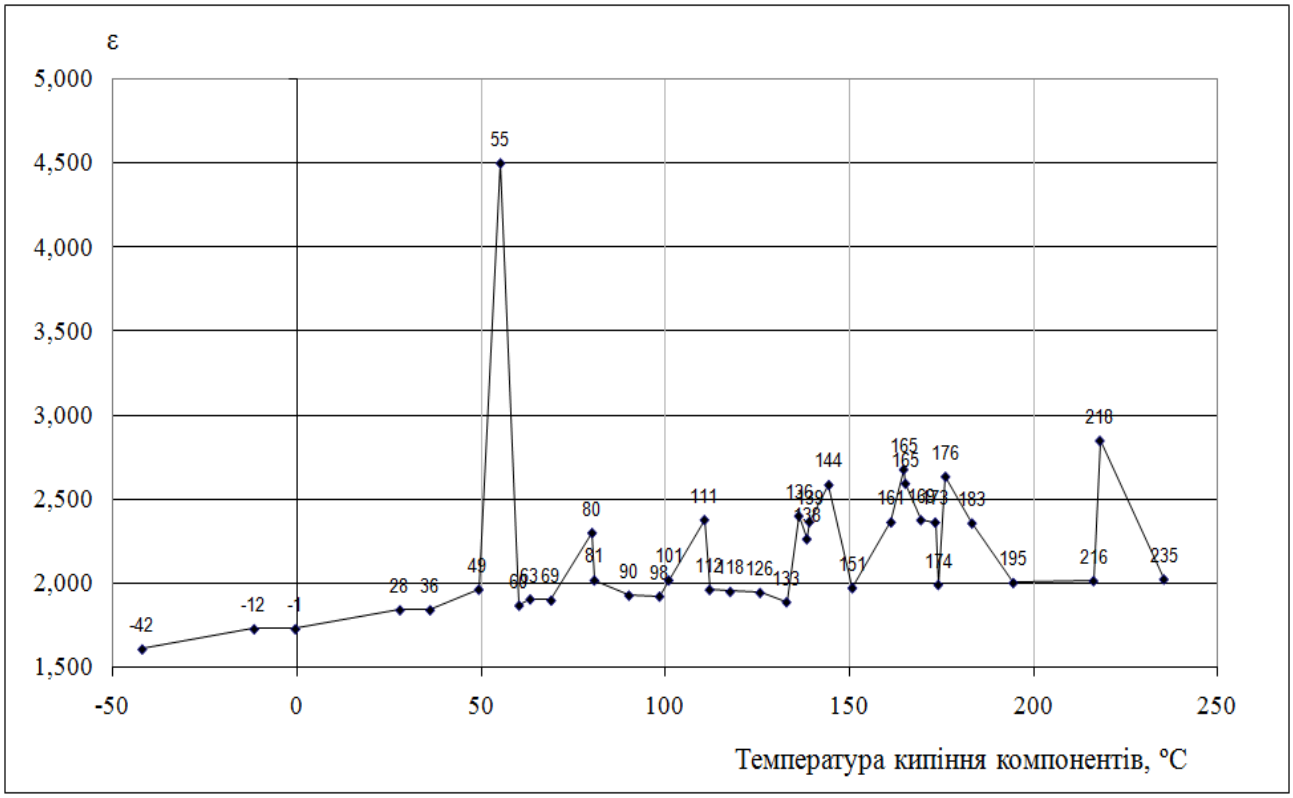
Інформативність такого підходу може бути встановлена за результатами класифікації серії зразків бензинів відомих марок та легких газоконденсатних фракцій відомої приналежності.

Табл. 1. Марки бензинів, легких газоконденсатних фракцій та кількість зразків для дослідження.

№ з/п	Назва марки бензину або родовища відбору газового конденсату	Кількість зразків	Умовне позначення на рис. 3, 4, 5, 6, 7
1	А-98	5	А-98
2	А-95	6	А-95
3	А-92	6	А-92
4	А-76	6	А-76
5	Сахалінське	5	С
6	Юліївське	5	Ю
7	Східно-Новоселівське	5	ВН
8	Шебелінське	5	Ш
9	Крестищенське	5	К
10	Личківське	5	Л
11	Ульянівське	5	У

© В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

Рис 1. Розподіл діелектричної проникності компонентів бензину від температури їх кипіння (ε – діелектрична проникність)



Вибір температур відбору фракцій бензинів

Згідно літературних даних до бензинів входять наступні основні класи речовин: розгалужені, нерозгалужені та циклічні алкани та ароматичні вуглеводні. На рис. 1 наведено діелектричну проникність [20] основних компонентів бензинів від температури кипіння, а саме: *н*-алканів від пропану до *н*-тридекану, 2-метилбутану, циклопентану, 2-метилпентану, циклогексану, метилтретбутилового етеру, 2-метилгексану, бензену, метилциклогексану, толуолу, 2-метилгептану, 2-метилоктану, етилбензолу, *о-, м-, п*-ксилолів, алкіл бензолів, нафталіну [21, 22].

Аналізуючи рис. 1 можна зробити наступні висновки: (і) діелектрична проникність для кожного класу вуглеводнів збільшується зі збільшенням молекулярної маси; (іі) ароматичні вуглеводні бензинів мають більші значення діелектричної проникності, ніж, аліфатичні; (ііі) діелектрична проникність кисневмісних антидетонаційних добавок, наприклад метилтретбутилового етеру, значно вища, ніж вуглеводнів. Характер розподілу вуглеводнів у складі бензину дозволяє виділити декілька фракцій, значення діелектричної проникності яких повинні відрізнятися та характеризувати відповідні компоненти бензину: 1 фракція – від початку кипіння до 75 °С; 2 фракція – від 75 до 120 °С; 3 фракція – від 120 до 190°С. В першу фракцію будуть збиратися аліфатичні вуглеводні, які мають відносно низькі значення діелектричної проникності та метилтретбутиловий етер, який є добавкою до високооктанових бензинів. В другу фракцію відганяються також ароматичні вуглеводні бензол та толуол.

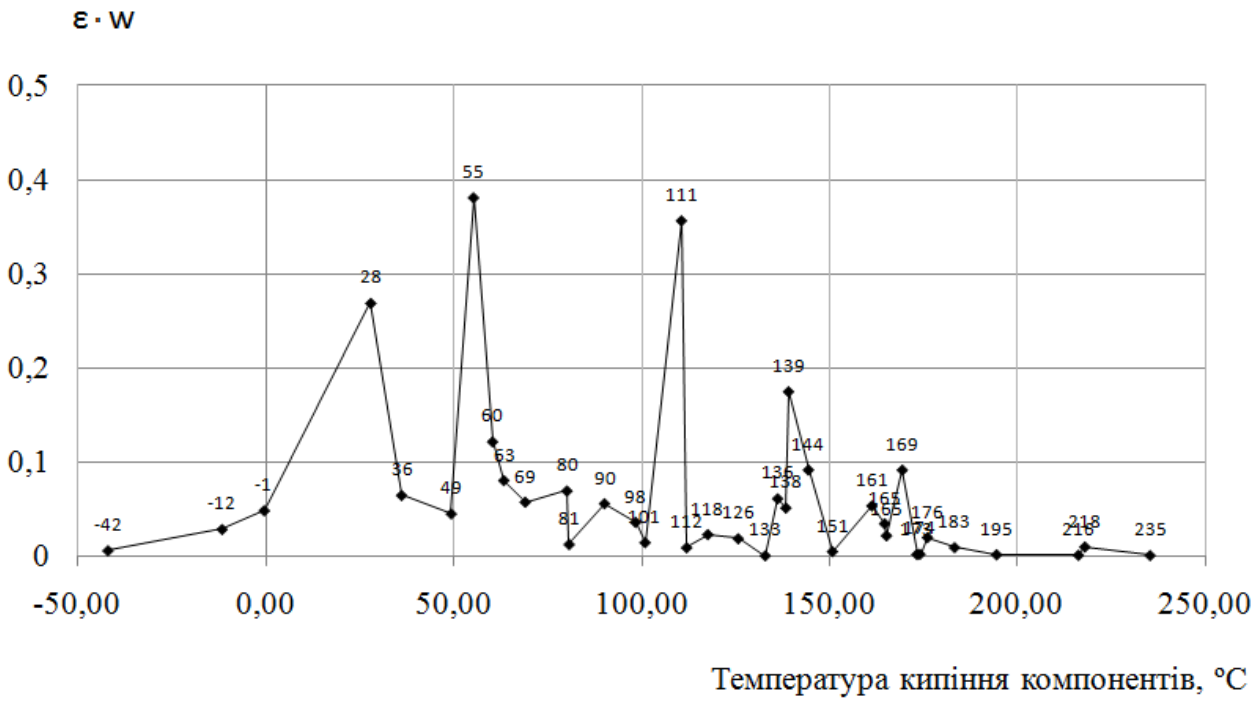
В третій фракції значний вплив на діелектричну проникність повинні давати ароматичні вуглеводні. Такий вибір температур відбору бензинових фракцій також відповідає ДСТУ 4063-2001 [1] – обрані температури відбору фракцій є максимально допустимими температурами відбору відповідно 10, 50, 90% відгону бензину.

На основі результатів газохроматографічного аналізу бензину марки А-95 було побудовано діаграму, де внесок кожного компоненту в загальну діелектричну проникність розраховували як добуток його діелектричної проникності на відносну долю компоненту у складі бензину (рис. 2).

Найбільший внесок у діелектричну проникність бензину А-95 вносять *ізо*-пентан, що кипить при 28 °С, метилтретбутиловий етер (55 °С), толуол (111 °С), м-ксилол (139°С), 1, 2, 4-триметилбензол (169°С).

Таким чином, фракціювання вихідного зразка та вимірювання діелектричної проникності кожної з фракцій повинно надати додаткову інформацію щодо приналежності бензину або легкої газоконденсатної фракції певній групі.

Рис 2. Внесок окремих компонентів в загальну діелектричну проникність бензину (ε – діелектрична проникність, w – відносний вміст компоненту)



Класифікація бензинів та легких газоконденсатних фракцій методами кластерного аналізу

На сьогодні хемометрика опанувала практично всі відомі статистичні методи для аналізу хімічних даних. Однак застосування складних алгоритмів та нелінійних методів аналізу даних, таких як нейронні мережі, досить часто не приводить до значного поліпшення результатів, порівняно з класичними методами кластерного аналізу та аналізу головних компонент. Крім того вимагає прискіпливої уваги до вибору типу нейронної мережі та її навчанню. В даній роботі ми застосували ієрархічний кластерний аналіз з використанням різних методів розрахунку відстані між кластерами та правил об'єднання кластерів [23]. Однією з переваг кластерного аналізу є відсутність необхідності заздалегідь визначати кількість кластерів та можливість аналізувати не лише кінцевий результат – віднесення зразків до тієї чи іншої групи, але й відстані, на яких кластери об'єднуються до певної групи.

На першому етапі ієрархічного кластерного аналізу розраховується відстань між кожним зразком у багатовимірному просторі змінних, що характеризують кожен зразок.

Для цього найбільш часто використовують евклідову відстань

$$d(i,k)=\left(\sum_{j=1}^{n}\left(x_{i,j}-x_{k,j}\right)^2\right)^{0.5},$$

а також квадрат евклідової відстані

$$d(i,k)=\sum_{j=1}^{n}\left(x_{i,j}-x_{k,j}\right)^2,$$

Манхетенську відстань

$$d(i,k)=\sum_{j=1}^{n}\left|x_{i,j}-x_{k,j}\right|,$$

відстань Чебишева

$$d(i,k)=\max\left|x_{i,j}-x_{k,j}\right|$$ та

ступеневу відстань

$$d(i,k)=\left(\sum_{j=1}^{n}\left|x_{i,j}-x_{k,j}\right|^p\right)^{1/r}$$ [24].

На другому етапі проходить об'єднання кластерів. Через наявність кількох зразків в кожному кластері вибрів методу кластерізації груп теж має кілька варіантів. До найбільш відомих методів групування даних в кластери відносяться: (i) одиничне зв'язування, або метод найближчого сусіда, коли відстань між кластерами визначається відстанню між двома найближчими сусідами у кожному з кластерів; (ii) метод повного зв'язування, де відстань між двома кластерами визначають як найбільшу відстань між об'єктами з двох кластерів; (iii) метод незваженого попарного середнього та зваженого попарного середнього, де відстань між кластерами розраховують як середню відстань між всіма парами об'єктів в кожному з них, що в останньому випадку зважають відповідно до кількості об'єктів в кожному кластері; (iv) ітераційний метод Варда, в якому об'єднуються кластери з найменшою сумою квадратів між об'єктами [24]. В роботі протестовано всі вище наведені методи розрахунку відс-

©В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

тані між кластерами для кожного з методів об'єднання кластерів. За результатами кластерного аналізу будують дендрограму, на якій можна прослідкувати об'єднання зразків відповідно до збільшення відстані між ними.

Класифікація товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій за діелектрометричними даними

Класифікація зразків бензинів та легких газоконденсатних фракцій з використанням значень діелектричної проникності кожної з трьох відібраних при дистиляції фракцій та діелектричної проникності вихідного зразка дозволили чітко розділити легкі газоконденсатні фракції та товарні бензини з використанням усіх методів розрахунку відстані між кластерами та методів об'єднання у кластери (рис. 3). Детальний аналіз отриманих результатів класифікації товарних бензинів та легких газоконденсатних фракції вказує на задовільну класифікацію товарних бензинів (рис. 4). (Тут і далі дендрограми представлені для евклідової відстані та методу повного зв'язування, поєднання яких відповідало найменшій похибці класифікації, як товарних бензинів, так і легких газоконденсатних фракцій).

Лише один з товарних бензинів марки А-92 був віднесений до групи бензинів А-95. Це пов'язано з більшим вмістом в ньому МТБЕ та толуолу (встановлено методом газорідинної хроматографії), порівняно з іншими бензинами А-92, що характерно для більш високооктанових бензинів. На дендрограмі (рис. 4) чітко розмежовані бензини марок А-76 та А-92 від бензинів А-95 та А-98, що вказує на високий вміст добавок для збільшення октанового числа у останніх.

Застосування лише даних діелектричної проникності для класифікації легких газоконденсатних фракцій виявилось незадовільним. Тому крім даних з діелектричної проникності кожної з фракції та вихідного зразка також використали значення густини вихідного зразка та об'єми кожної з відібраних фракцій. Через різну розмірність цих величин дані перед обробкою були попередньо стандартизовані. На рис. 5 представлена отримана дендрограма для легких газоконденсатних фракцій.

Рис. 3. Дендрограма класифікації товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій за даними діелектричної проникності

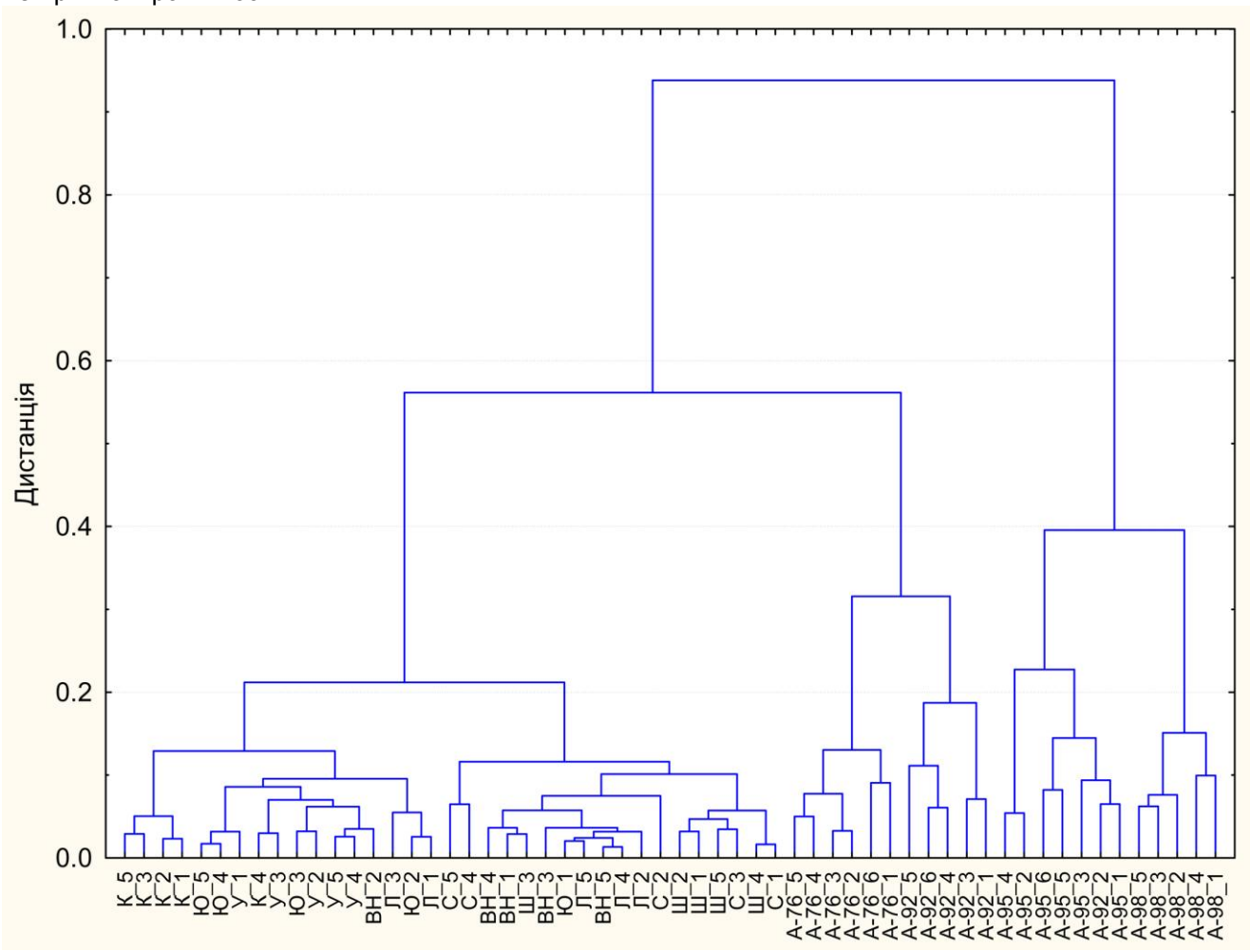


Рис. 4. Дендрограма класифікації товарних бензинів за даними діелектричної проникності

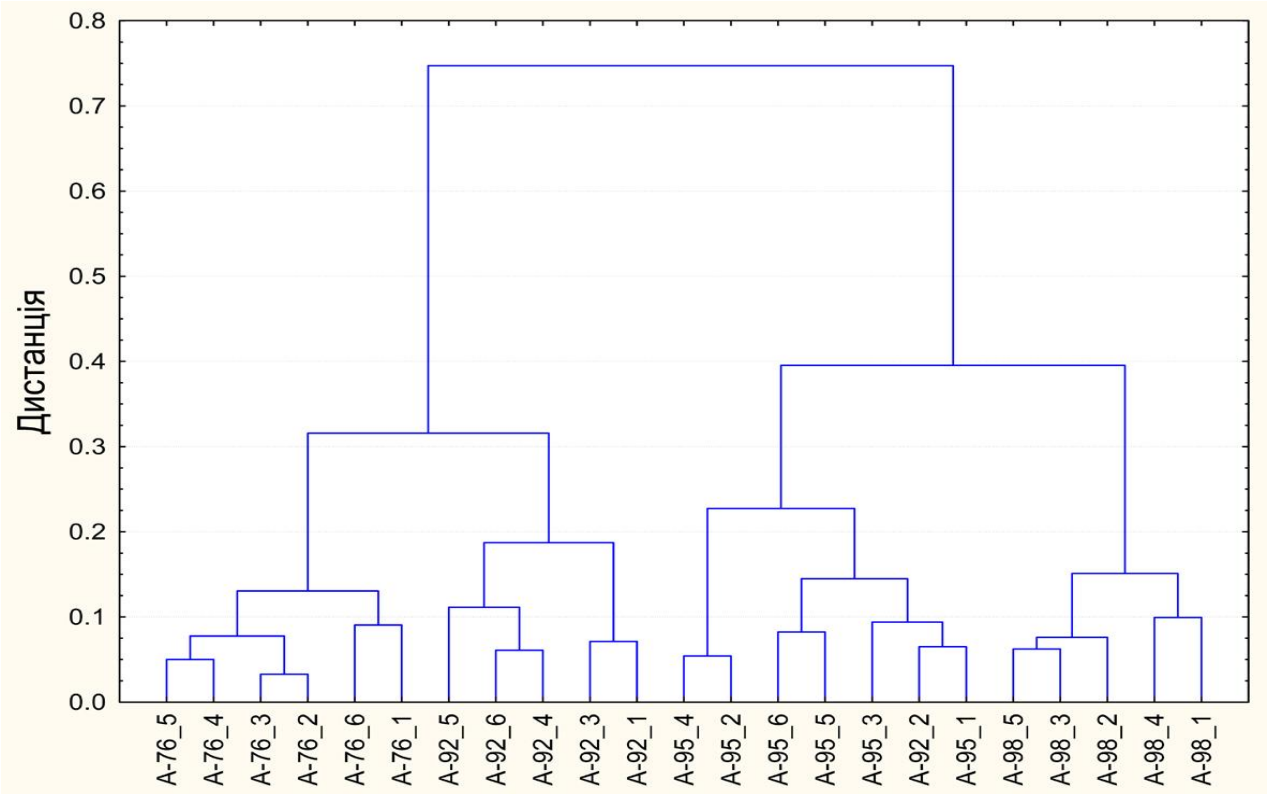
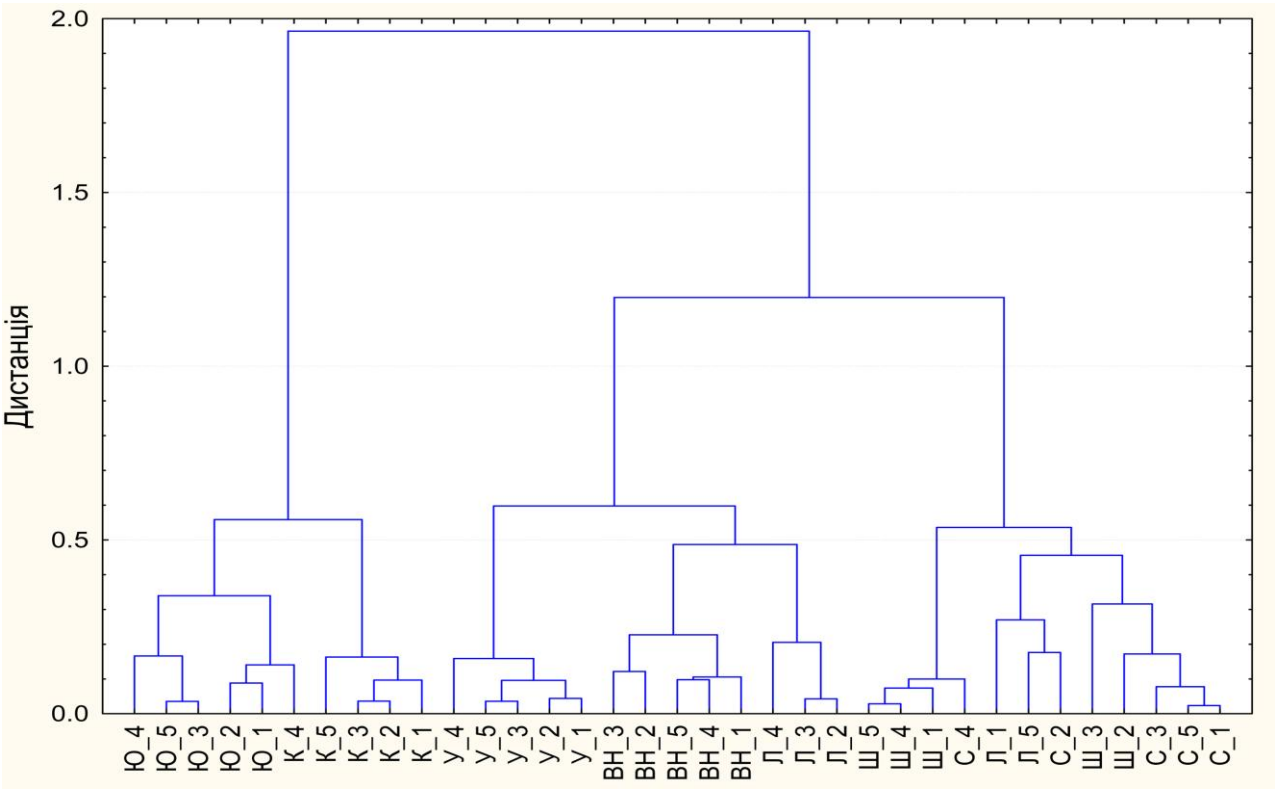


Рис. 5. Дендрограма класифікації легких газоконденсатних фракцій за даними діелектричної проникності, густини вихідного зразка та об'єму відігнаних фракцій.



© В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

Легкі газоконденсатні фракції чотирьох з семи родовищ були вірно класифіковані. Проблемними для класифікації виявились Личківське, Шебелінське та Сахалінське родовища. За результатами класифікації можна також зробити висновок про досить близькі властивості Юліївського та Крестищенського родовищ. Географічне положення родовищ не корелює з їх класифікацію, а тому для більш точної класифікації Личківського, Шебелінського та Сахалінського родовищ необхідно використання додаткових даних, наприклад концентрацій металів в зразках. Найкращі результати при класифікації бензинів відповідають 85 % вірних віднесень зразків газоконденсатів до певного родовища.

Класифікації товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій за даними компонентного складу.

Результати компонентного аналізу зразків товарних бензинів та легких газоконденсатних фракцій методом газової хроматографії дає велику кількість інформації, що характеризує кожен з зразків. Тому цікавим видається порівняння результатів класифікації з використанням діелектрометричних даних та компонентного складу кожного зразка. Для класифікації товарних бензинів та газоконденсатних фракцій були використані результати визначення 38 наступних компонентів: *н*-алкани від пропану до *н*-тридекану, 2-метилпропан, 2-метилбутан, 2,2-диметилбутан, метилтретбутиловий етер, 2-метилпентан, 3-метилпентан, 2,2-диметилпентан, бензол, циклогексан, 2-метилгексан, 3-метилгексан, 1,3-диметилциклопентан, метилциклогексан, толуол, 2-метилгептан, 3-метилгептан, етилбензен, о-,м-,п-ксилоли, 1-метил-3-етилбензен, 1-метил-2-етилбензен, 1,2,4-триметилбензен, 1,2,3-триметилбензен, 1-метил-3-н-пропилбензен, нафталін методом газорідинної хроматографії. На рис. 6, 7 наведено отримані дендрограми для товарних бензинів та газоконденсатних фракцій.

Порівняння результатів класифікації показало, що похибка при класифікації товарних бензинів за діелектрометричними показниками та показниками компонентного складу однакова, та відповідає віднесенню одного зразка бензину А-92 до кластеру бензинів А-95, хоча вони і об'єднуються на більшій відстані ніж інші зразки бензинів марки А-95 (рис. 6). Використання даних компонентного складу для класифікації легких газоконденсатних фракцій дозволило більш надійно визначити приналежність зразків до певного родовища, однак два зразки все одно було ідентифіковано невірно. Незважаючи на кращі результати, отримані при використанні компонентного складу для класифікації зразків, необхідно зазначити, що одне газохроматографічне визначення компонентного складу газоконденсатів та бензинів займає близько 2 годин, що дозволяє проаналізувати лише невелику кількість зразків за робочий день.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано та протестовано експресний та дешевий підхід до визначення приналежності зразків товарних бензинів певним маркам за результатами діелектричної проникності вихідного зразка та трьох відігнаних фракцій, а зразків легких газоконденсатів певним родовищам за результатами визначення діелектричної проникності та густини вихідного зразку та діелектричної проникності і об'ємів фракцій, відібраних за температурами кипіння.

Застосування кластерного аналізу до класифікації товарних бензинів дозволяє з високою точністю визначити марку бензину, крім того, результати такої класифікації не відрізняється від класифікації за даними компонентного складу, що отримані методом газорідинної хроматографії.

Класифікація легких газоконденсатних фракцій за значеннями діелектричної проникності та фізико-хімічним параметрам дозволила точно визначити приналежність зразків до 4 родовищ з семи.

Запропонований підхід для класифікації товарних бензинів та вихідної сировини може бути застосований в лабораторіях при необхідності експресного визначення приналежності великої кількості зразків певним групам.

©В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

Рис. 6. Дендрограма класифікації товарних бензинів за даними компонентного складу.

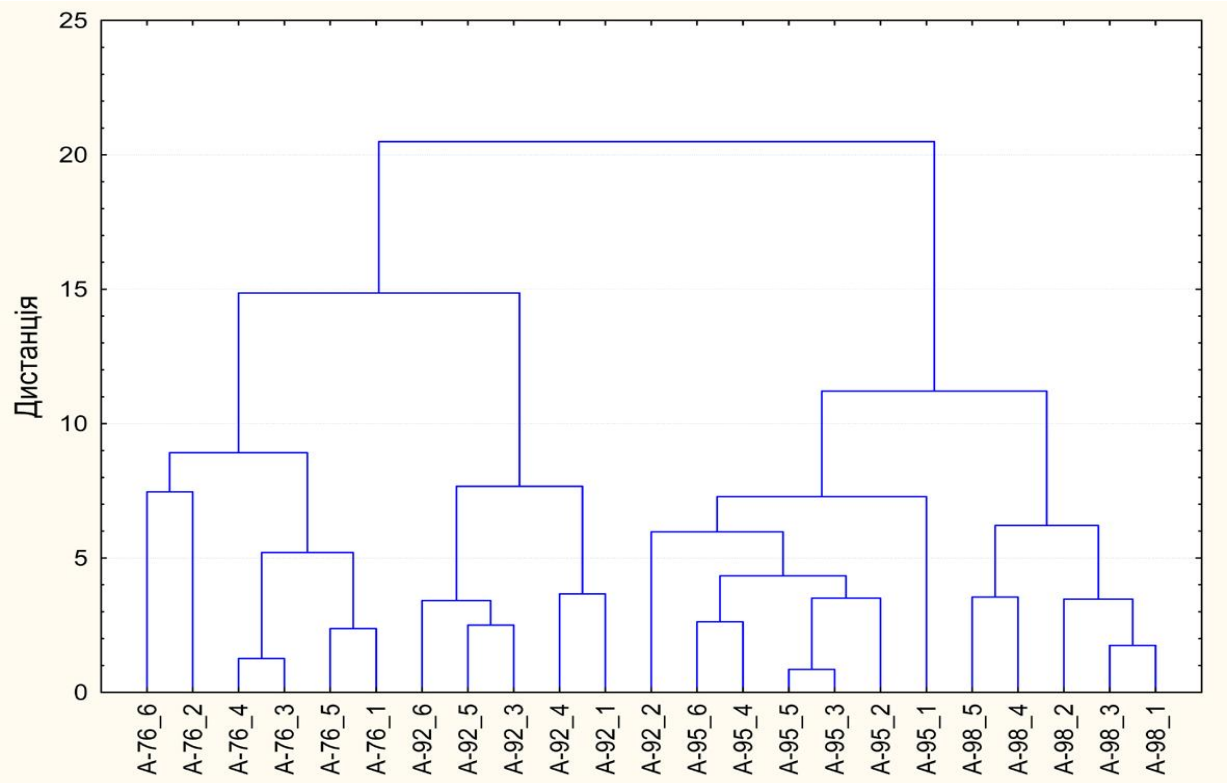
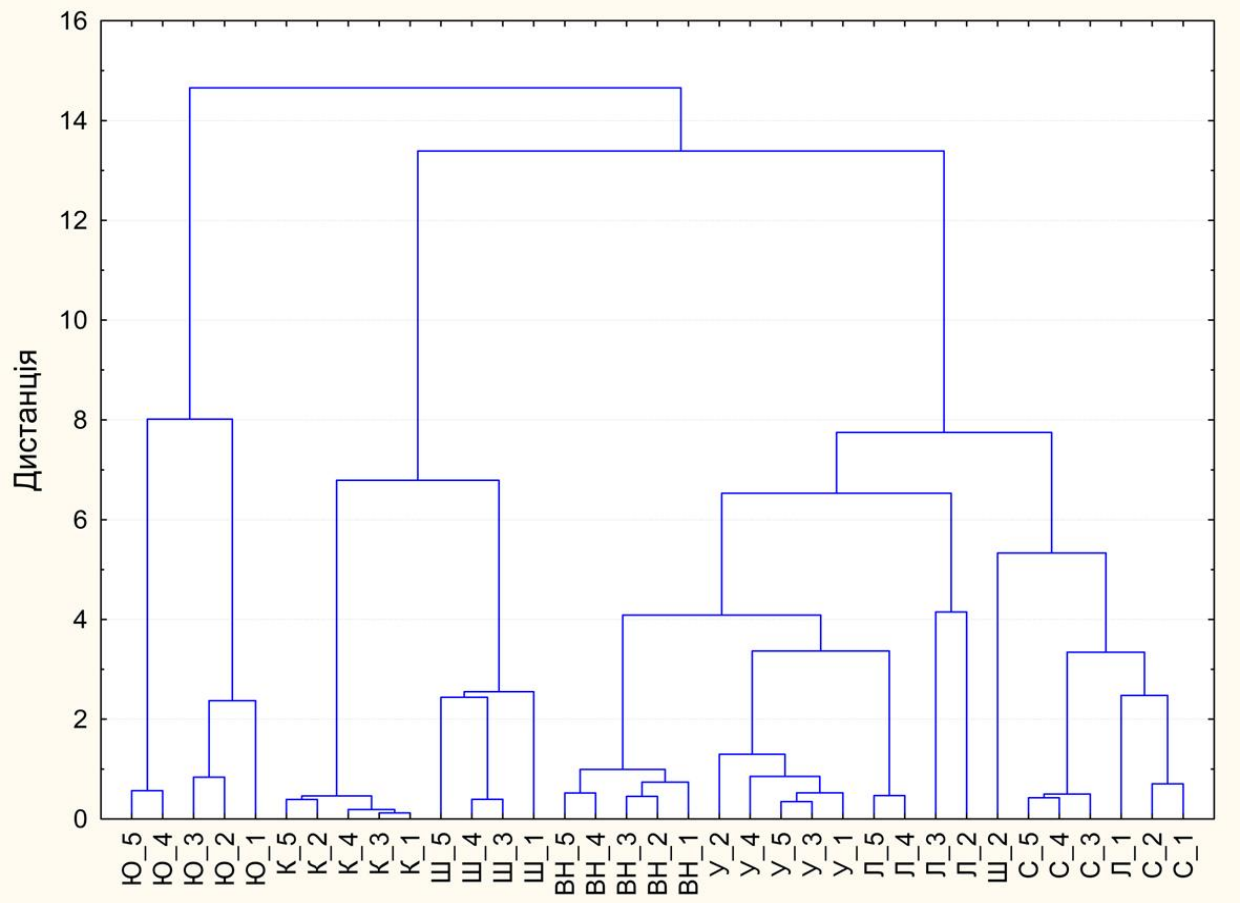


Рис. 7. Дендрограма класифікації легких газоконденсатних фракцій за даними компонентного складу.



©В.А. Руднєв, О.П. Бойченко, П.В. Карножицький

Література

1. ДСТУ 4063-2001 Бензини автомобільні. Технічні умови.

2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. С.672.

3. Кульджаев Б.А., Сергиенко С.Р. Газоконденсаты. – Ашхабад .: ЫЛЫМ , 1979

4. Andrews J.M., Lieberman S.H. Neural network approach to qualitative identification of fuels and oils from laser induced fluorescence spectra, Analytica Chimica Acta, 285 (1994) 237-246.

5. Doble P., Sandercock M., Pasquier E.D., Petocz P., Roux C., Dawson M., Classification of premium and regular gasoline by gas chromatography/mass spectrometry, principal component analysis and artificial neural networks Forensic Science International 132 (2003) 26–39

6. Ebrahimi D., Li J., Hibbert D.B., Classification of weathered petroleum oils by multi-way analysis of gas chromatography–mass spectrometry data using PARAFAC2 parallel factor analysis Journal of Chromatography A, 1166 (2007) 163–170.

7. Soba´nski T., Szczurek A., Nitsch K., Licznerski B.W., Radwan W., Electronic nose applied to automotive fuel qualification Sensors and Actuators B 116 (2006) 207–212.

8. Balabin R.M., Safieva R.Z., Motor oil classification by base stock and viscosity based on near infrared (NIR) spectroscopy data Fuel 87 (2008) 2745–2752.

9. Balabin R.M., Safieva R.Z., Gasoline classification by source and type based on near infrared (NIR) spectroscopy data Fuel 87 (2008) 1096–1101

10. Aleme H.G., Costa L.M., Barbeira P.J.S., Determination of gasoline origin by distillation curves and multivariate analysis Fuel 87 (2008) 3664–3668.

11. Руднєв В.А., Карножицький П.В., Бойченко О.П. Класифікація та ідентифікація нафтопродуктів на основі діелектрометричних даних та фізико-хімічного аналізу складу // Тез. докл. VIII Всеукраїнської конференції молодих вчених, студентів та аспірантів з актуальних питань хімії. – Харків. – 2010. С.31.

12. Надь Ш. Б. Диэлектрометрия. – М.: Энергия. , 1976. С. 200.

13. ГОСТ 6581–75. Материалы. Электроизоляционные жидкости. Методы электрических испытаний.

14. ГОСТ 2177-99 Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава.

15. ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.

16. Патент США 3557487, Jan 1971

17. Патент РФ 2196321, G01N27/22, Янв. 2003

18. Guan L, X.L. Feng,.Li Z.C., Lin G.M. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy. Fuel 88 (2009) 1453–1459.

19. Руднев В.А. Разработка метода идентификации газовых конденсатов и топлив, полученных на их основе // Тез. докл. Всеукраїнської конференції студентів та аспірантів «Хімічні Каразинські читання – 2009». – Харьков. –2009. С.90-91.

20. Ахадов Я. Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей. М.: Издательство стандартов, 1972. – 412 с.

21. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1978. С. 392.

22. Куриленко О.Д. Краткий справочник по химии. Изд. 4-е, испр. и доп./ Под ред. О.Д. Куриленко. Киев.: Наукова думка., 1974. – С. 991.

23. Gan G., Ma C., Wu J. Data Clustering Theory, Algorithms, and Applications ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Probability, SIAM, Philadelphia, ASA, Alexandria, VA, 2007. 488 p.

24. Jain A.K., Dubes R.C., Algorithms for clustering data. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988. 334 p.