

17. Smith, G. Generation of an effective internal carbon source for denitrification through hydrolysis of pre-precipitated sludge [Text] / G. Smith, J. Goransson // Water Science and Technology. – 1992. – Vol. 25, Issue 4-5. – P. 211–218.
18. Пименов, И. В. Влияние некоторых факторов на биологическое окисление аммонийного азота в сточных водах [Текст] / И. В. Пименов, Т. В. Валеева, Г. Е. Юровских и др. // Кокс и химия. – 1990. – № 3. – С. 47–48.
19. Васильев, Б. В. Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации [Текст] / Б. В. Васильев, Б. Г. Мишуков, И. И. Иваненко и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 5, Ч. 1. – С. 22–25.
20. Душкин, С. С. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод [Текст]: монография / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко. – Х.: ХНАГХ, 2011. – 146 с.

Надано порівнювальну оцінку сучасним фізико-хімічним методам для виявлення в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів. Проведено якісний і кількісний аналіз дизельного палива та його окремих фракцій методами мас-спектрометрії, ультрафіолетової спектроскопії, газорідинної хроматографії та рідинної колоночної хроматографії. Комплекс методів і системний підхід у дослідженні складних сумішей дозволив збільшити надійність і достовірність отриманих результатів

Ключові слова: дизельне паливо, компонентний склад, мас-спектрометрія, УФ-спектроскопія, газорідинна хроматографія, рідинна колоночна хроматографія

Дана сравнительная оценка современным физико-химическим методам для определения в дизельном топливе ароматических углеводородов. Проведен качественный и количественный анализ дизельного топлива и его отдельных фракций методами масс-спектрометрии, ультрафиолетовой спектроскопии, газожидкостной хроматографии и жидкостной колоночной хроматографии. Комплекс методов и системный подход в исследовании сложных смесей позволил увеличить надежность и достоверность полученных результатов

Ключевые слова: дизельное топливо, компонентный состав, масс-спектрометрия, УФ-спектроскопия, газожидкостная хроматография, жидкостная колоночная хроматография

УДК 543.51:543.544
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51616

ВИЗНАЧЕННЯ АРОМАТИЧНИХ ВУГЛЕВОДНІВ В НАФТО- ПРОДУКТАХ

Н. В. Аміруллоєва

Кандидат хімічних наук, доцент
Кафедра хімії

ДВНЗ «Придніпровська державна
академія будівництва та архітектури»
вул. Чернишевського, 24 А,
м. Дніпропетровськ, Україна, 49005
E-mail: namirulloeva@ukr.net

1. Вступ

Основним завданням нафтопереробної промисловості є підвищення якості моторних палив нарівні з поліпшенням їх екологічних властивостей. Фракційний склад вуглеводнів дизельного палива необхідно знати з різних причин.

По-перше, для оцінки впливу викидів на навколишнє середовище. Так, у ряді випадків при збільшенні вмісту ароматичних вуглеводнів в паливах для двигунів внутрішнього згорання зростає кількість бензапірену, канцерогенні властивості якого досить добре відомі [1, 2]. З цієї причини вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів законодавчі акти ряду зарубіжних країн лімітують до рівня 6–11 %.

По-друге, для вибору раціональних шляхів використання прямогонних фракцій нафти, які є основою для виробництва дизельних і реактивних палив.

По-третє, для оцінки експлуатаційних характеристик дизельного палива та для вирішення питань оптимального введення в них присадок різного призначення.

Розробка методик дослідження нафти та нафтопродуктів, їх аналіз на сьогоднішній день не втрачає

своєї актуальності. Найбільш затребувані такі методи при проведенні досліджень нафтових забруднень в екологічній експертизі та безпосередньо при визначенні впливу складу дизельного палива на його експлуатаційні властивості.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Знання хімічного і фракційного складу нафти необхідно для вибору найбільш оптимальних напрямів процесів нафтопереробки, а також вирішення завдань, пов'язаних з екологією.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) утворюються в процесі неповного згорання палива. Велика частка ПАВ утворюється в температурному діапазоні 300–500 °С, що відповідає приблизно температурі згорання палива в двигуні [3, 4]. Високі темпи розвитку індустріалізації різко підвищили вміст ПАВ в атмосфері, хоча в останні роки була помічена тенденція до зменшення викидів ПАВ в атмосферу за рахунок поліпшення якості палива [5, 6]. Основні джерела ПАВ – двигуни внутрішнього згорання, викиди авіаційного палива і тютюновий дим [7–9]. Будь-який процес горіння підвищує

концентрацію ПАВ в об'єктах довкілля. ПАВ є стійкими сполуками через наявність в структурі поліядерними ароматичної структури, погану розчинність у воді, а також сповільнену мікробіологічну трансформацію. Безпека для людини полягає в тому, що деякі представники цього класу сполук мають канцерогенний вплив на організм, а також володіють мутагенною, тератогенною і біостимуляторною активністю [10].

Серед методів дослідження компонентів нафти і нафтопродуктів одним з найцікавіших є метод флуоресцентної спектроскопії [11]. З усього розмаїття речовин, що містяться в нафті і нафтопродуктах, він дозволяє визначати ароматичні сполуки та ПАВ. Для попереднього розділення нафтопродуктів використовується метод рідинної колоночної хроматографії [12]. Методом кількісного визначення ПАВ є газова (ГХ) та високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) із спектрофлуориметричним детектуванням [13, 14]. Даний метод широко застосовується в екологічній експертизі при визначенні вмісту ПАВ в різних об'єктах навколишнього середовища. Необхідність доповнення даних, отриманих методом ВЕРХ, дослідженням флуоресцентних характеристик, можна аргументувати їх специфічністю для нафти і нафтопродуктів, що обумовлено складністю механізму флуоресценції. Як відомо, на вид одержуваних спектрів складних сумішей, до яких відносяться дані об'єкти, впливають як інші речовини, здатні флуоресцювати в досліджуваному діапазоні, так і компоненти, що не володіють даною властивістю. Тому комплексне використання методів флуоресцентної спектроскопії і ВЕРХ при дослідженні нафти і нафтопродуктів з метою вирішення завдань щодо ідентифікації дозволяє збільшити кількість одержуваної інформації, і, відповідно, достовірність результатів.

З метою всебічного дослідження структурного і фракційного складу нафтопродуктів застосовується системний підхід, що полягає в комбінуванні ефективних фізико-хімічних методів дослідження, таких як газова хроматографія – мас-спектрометрія, рідинна хроматографія з УФ-детектуванням та ін. [15].

3. Ціль та задачі дослідження

Ціллю даної роботи є попередня оцінка різних фізико-хімічних методів, придатних для виявлення поліциклічних ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі та продуктах його згоряння.

Для досягнення поставленої цілі вирішувались наступні задачі:

– визначити компонентний та фракційний склад дизельного палива різними фізико-хімічними методами;

– провести порівняльний аналіз сучасних методів дослідження складу нафтопродуктів, розробити системний підхід до аналізу нафтопродуктів з підвищенням надійності отриманих результатів.

4. Матеріали та методи дослідження ароматичних вуглеводнів дизельного палива

Для комплексного вивчення властивостей дизельних палив було проведено дослідження структур-

но-групового та гомологічного складу товарного дизельного палива із застосуванням рідинної колоночної хроматографії [16, 17], мас-спектрометрії [18, 19], ультрафіолетової спектроскопії [20] та газової хроматографії [21–24].

Розділення дизельного палива на фракції проводили на хроматографічній колонці (довжина – 1150 мм, внутрішній діаметр – 15 мм), заповненій силікагелем АСК (фракція 100 – 200 mesh) [7].

Мас-спектральний метод було реалізовано за допомогою мас-спектрометра LKB-2 091 (Швеція) з системою введення зразка через балон напуску. Іонне джерело і балон напуску витримували при температурі 250 °С, що в умовах глибокого вакууму 10^{-6} – 10^{-7} мм. рт. ст. забезпечує повне випаровування фракцій палива з температурою кипіння до 360 °С. Ці умови забезпечують молекулярний напуск компонентів палива в іонне джерело через діафрагму 30 мкм таким чином, що парціальні тиски всіх компонентів в іонному джерелі прямо пропорційні парціальним тискам цих же компонентів в балоні напуску, що відповідає вимогам кількісного мас-спектрального аналізу.

Хроматографічний аналіз виконували на хроматографі А 5890 фірми Hewlett Packard із застосуванням кварцевої капілярної колонки НР-1 довжиною 25 м, внутрішнім діаметром 0,53 мм з метилсиліконом ОV-101 в якості нерухокої фази. Умови аналізу: програмування температури від 50 °С до 280 °С зі швидкістю 7 °С/хв, детектор – полум'яно-іонізаційний.

Вміст ароматичних вуглеводнів в сумішевому дизельному паливі також визначали методом ультрафіолетової спектроскопії на спектрофотометрі СФ-26 (Росія) при характеристичних довжинах хвиль – 200, 222 і 255 нм.

5. Результати досліджень якісного та кількісного складу дизельного палива та їх обговорення

Дизельне паливо, як правило, готують на базі прямогонної фракції нафти 180–360 °С з можливим додаванням до 20 % легких газойлей каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу. В Україні, за сучасною нормативною документацією, нафтопереробні підприємства можуть випускати наступні марки дизельного палива: літнє паливо марок Л-0,2-40, Л-0,5-40, Л-0,2-62, Л-0,5-62, Л-0,05-40, Л-0,1-40, Л-0,05-62, Л-0,1-62; зимнє паливо марок З-0,05-(-25), З-0,1-(-25), З-0,2-(-25), З-0,5-(-25).

Для оцінки фізико-хімічних властивостей дизельних палив та їх компаундів використовують ряд випробувань за ДСТУ 4840:2007 або EN 590.

У зв'язку з необхідністю проведення випробувань дизельного палива було вивчення його склад.

За допомогою рідинної колоночної хроматографії з дизельного палива було виділено чотири фракції: пентанову, гексанову, бензолну і спиртову. Використовуючи елюатропний ряд розчинників вдалося виявити, що парафіно-нафтенова частина зосереджена в пентановій фракції, концентрат ароматичних вуглеводнів міститься в гексановій і в бензолній фракції, а спиртом вимиваються смоли (табл. 1).

Таким чином, сумарний вміст ароматичних вуглеводнів склав 21,4 %.

Таблиця 1

Розподіл вуглеводнів дизельного палива в елюатах рідинної колоночної хроматографії

Елюат	Вміст, % мас.
Парафіно-нафтенові вуглеводні	
Пентанова фракція	78,0
Ароматичні вуглеводні	
Гексанова фракція	14,1
Бензольна фракція	7,3
Смолисті речовини	
Спиртова фракція	0,6

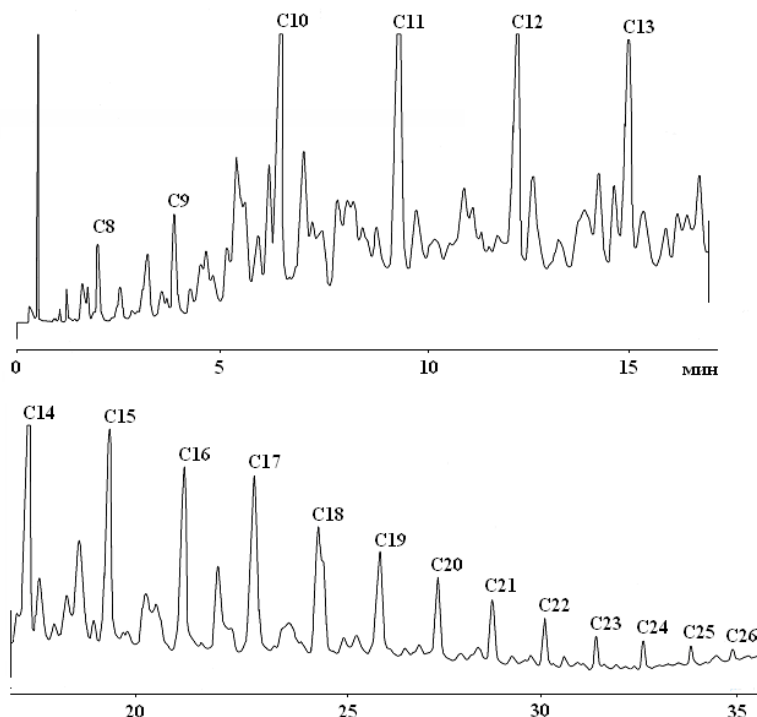


Рис. 1. Хроматограма дизельного палива

Мас-спектральний метод використовували як для аналізу проби дизельного палива, так і для аналізу концентратів, виділених рідинною хроматографією. При аналізі дизельного палива прямим мас-спектральним методом для визначення структурно-групового складу використовували матрицю С16 з переважним вмістом парафінів нормальної будови, а також додаткову матрицю для визначення окремо алкілбензолів, нафталінів і фенантренив. За даними мас-спектрального аналізу вміст парафінових вуглеводнів склав 45,7 (% мас); нафтенових 34,8, з них: моноциклічні – 20,1, біциклічні – 9,4, трициклічні – 3,9, тетрациклічні – 1,4; ароматичних – 19,4, з них: алкілбензоли – 16,1, нафталіни – 3,2, фенатрени – 0,2.

При визначенні складу концентратів, виділених за допомогою рідинної колоночної хроматографії, використовували матриці, які відповідають парафіно-нафтеновій та ароматичним фракціям. Результати досліджень наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати мас-спектрального визначення структурно-групового складу ароматичних концентратів дизельного палива

Типи вуглеводнів	Вміст			
	Гексанова фракція		Бензольна фракція	
	% відн.	% мас.	% відн.	% мас.
Алкілбензоли	60,0	8,46	12,6	0,92
Індани та тетраліни	27,5	3,88	0,6	0,05
Динафтенбензоли	6,7	0,94	8,8	0,64
Нафталіни	3,3	0,47	21,6	1,58
Аценафтени	–	–	28,5	2,08
Флуорени	–	–	14,7	1,07
Фенантрени	0,9	0,13	13,2	0,96
Нафтенфенантрени	1,6	0,23	–	–
Всього	100	14,10	100	7,3

При визначенні вмісту n-парафінових вуглеводнів та їх ізомерів результати мас-спектрального аналізу доповнювали газохроматографічними даними.

На хроматограмі сумішевого дизельного палива (рис. 1) спостерігаються піки компонентів гомологічного ряду нормальних вуглеводнів C₈–C₂₆, які чітко виділяються на фоні всіх хроматографічних піків за рахунок їх інтенсивності.

За допомогою комп'ютерної реєстрації хроматографічних даних визначається вміст кожного гомолога n-парафінів (% мас.)

Знаючи загальний вміст парафінів, визначених за даними мас-спектрального аналізу, і вміст n-парафінів (хроматографічний аналіз), шляхом віднімання визначили вміст парафінів нелінійної структури.

В ході лабораторних випробувань при визначенні сумарного вмісту ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі було також використано метод ультрафіолетової спектроскопії. За отриманими УФ-спектрами оцінювали вміст бензольних, нафталінових і фенантренивих ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі. При достатньо високому розбавленні аналіта неполярним розчинником проявляється тонка структура вуглеводнів ряду бензолу та інших ароматичних вуглеводнів. Однак, це не перешкоджає визначенню кількісного вмісту ароматичних вуглеводнів в складних сумішах, зокрема, в дизельному паливі. На рис. 2 показано УФ-спектр досліджуваного дизельного палива, яке містить ароматичні вуглеводні.

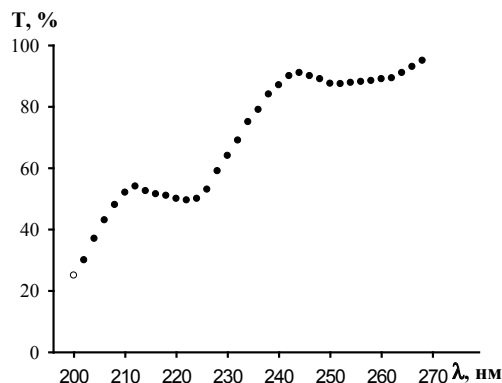


Рис. 2. УФ-спектр дизельного палива, яке містить ароматичні вуглеводні

Було визначено коефіцієнти молярної екстинкції при 200, 222 та 255 нм, які є необхідними для оцінки вмісту в дизельному паливі бензолних, нафтолінових і фенантронових ароматичних вуглеводнів. Методами математичної обробки даних було отримано рівняння лінійної регресії для кількісних визначень даних ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі. Результати розрахунків наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати УФ-спектроскопічного визначення групового складу ароматичних вуглеводнів дизельного палива

Вміст	% мас.
Бензолні вуглеводні	17,16
Нафталінові вуглеводні	6,45
Фенантронові вуглеводні	0,94
Усього ароматичних вуглеводнів	24,55

Як відомо, в дизельних паливах трициклічні ароматичні вуглеводні представлені в основному фенантроновими сполуками. Тому в розрахунках використовували середній молярний коефіцієнт поглинання, визначений з літературних даних. Для оцінки правильності кількісного визначення ароматичних вуглеводнів в дизельних паливах був проведений аналіз сумішей, які моделювали структуру груп бензола, метилнафталіна та фенантрена.

6. Обговорення результатів дослідження групового та фракційного складу дизельного палива

Для визначення групового складу палив використовували рідинну колоночну хроматографію. Цей метод дозволив поділити вуглеводні дизельного палива на насичено-олефінову, ароматичну та смолисту фракції, які в подальшому були досліджені методами газової хроматографії та мас-спектрометрії. При цьому були отримані попередні дані вмісту ароматичних вуглеводнів. Рідинна колоночна хроматографія є простим і доступним методом аналітичного контролю. Точність методу невисока, однак він дозволяє отримати уявлення про структурно-груповий склад досліджуваної проби. Таким чином, в результаті розділення дизельного палива методом рідинної колоночної хроматографії було встановлено, що вміст ароматичних вуглеводнів складає 21,4 % мас.

Індивідуальний мас-спектр такої складної суміші, як нафтопродукти має складний характер і є мало селективним. Він не дозволяє безпосередньо ідентифікувати груповий склад нафтових фракцій та нафтопродуктів, по-перше, через взаємні накладення мас-спектрів, а по-друге, через невизначеність аналітичних ознак, які є різними для різних компонентів системи. Груповий мас-спектр позбавлений цих недоліків і дозволяє задовільно визначити якісний і кіль-

кісний вміст гомологічних груп вуглеводнів. Для цього необхідно мати бази даних групових мас-спектрів для типічних систем. Мас-спектрометричним методом було досліджено безпосередньо зразок дизельного палива та фракції, які було отримано рідинною колоночною хроматографією. За результатами мас-спектрометричного аналізу вміст ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі склав 19,5 % мас. А сумарний вміст ароматики у виділених фракціях – 21,4 % мас.

УФ-спектроскопічний метод використовувався безпосередньо для аналізу непідготовленого зразка дизельного палива. Вміст ароматичних вуглеводнів склав 24,6 % мас. Цей метод дуже перспективним для аналізу і контролю якості нафтопродуктів: його застосування з використанням портативних приборів, споряджених дифракційною решіткою дає можливість вести контроль за зміною складу в процесах переробки, визначати вміст аренив в окремих фракціях нафти, оцінювати якість нафтопродуктів, контролювати забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами. На основі спектральних даних було отримано не тільки сумарний вміст аренив, а також масовий вміст бензолних, нафталінових і фенантронових вуглеводнів. Метод УФ-спектроскопії найбільш простий у виконанні та має найменшу тривалість аналізу.

В подальшому планується звернути увагу на комбіновані високоефективні та інформативні методи в дослідженні складу нафтопродуктів: рідинна хроматографія з УФ-детектуванням та газову хроматографію з мас-спектральним детектуванням. Застосування комбінованих методів дозволить уникнути методичних складнощ при аналізі складних сумішей.

7. Висновки

1. Був визначений структурно-груповий та фракційний склад зразка дизельного палива методами рідинної колоночної хроматографії, мас-спектрометрії, газової хроматографії та УФ-спектроскопії. Показано, що для рішення наукових і технічних задач, комплекс використовуваних методів дає задовільні результати.

2. Порівняно результати визначення сумарного вмісту ароматичних вуглеводнів в зразку дизельного палива, отриманих різними методами: рідинна колоночна хроматографія – 21,4 %, мас-спектроскопія – 19,5 %, УФ-спектроскопія – 24,6 %. Середнє значення вмісту ароматичних вуглеводнів склало 21,9 %.

3. На прикладі дизельного палива показаний системний підхід при визначенні групового складу багатоконпонентних об'єктів досліджень. Комплекс використаних методів можна застосовувати для ідентифікації невідомих органічних сполук, вирішення ряду наукових, технічних і екологічних завдань, таких як якісний і кількісний аналіз товарних нафтопродуктів, моніторинг стану об'єктів природних середовищ.

Література

1. Набивач, В. М. Ароматические углеводороды в топливе. Экологические аспекты [Текст] / В. М. Набивач, В. А. Герасименко // Кокс и химия. – 1999. – № 4. – С. 31–32.
2. Дмитриков, В. П. Анализ высококипящих продуктов переработки ископаемых топлив методом ВЭЖХ [Текст] / В. П. Дмитриков // Кокс и химия. – 2002. – № 4. – С. 26–30.

3. Guilloteau, A. Desorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Soot Surface: Pyrene and Fluoranthene [Text] / A. Guilloteau, Mai Lan Nguyen, Y. Bedjanian, G. Le Bras // *Journal of Physical Chemistry A*. – 2008. – Vol. 112, Issue 42. – P. 10552–10559. doi: 10.1021/jp803043s
4. Kwon, E. E. Mechanistic Understanding of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from the Thermal Degradation of Tires under Various Oxygen Concentration Atmospheres [Text] / E. E. Kwon, M. J. Castaldi // *Environmental Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, Issue 23. – P. 12921–12926. doi: 10.1021/es303852e
5. Wang, J. Inhalation Cancer Risk Associated with Exposure to Complex Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Mixtures in an Electronic Waste and Urban Area in South China [Text] / J. Wang, S. Chen, M. Tian, X. Zheng, L. Gonzales, T. Ohura et. al. // *Environmental Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, Issue 17. – P. 9745–9752. doi: 10.1021/es302272a
6. Eiguren-Fernandez, A. Size-Resolved Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emission Factors from On-Road Gasoline and Diesel Vehicles: Temperature Effect on the Nuclei-Mode [Text] / A. Eiguren-Fernandez, A. H. Miguel // *Environmental Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, Issue 5. – P. 2607–2615. doi: 10.1021/es2037004
7. Hafner, W. D. Influence of Local Human Population on Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations [Text] / W. D. Hafner, D. L. Carlson, R. A. Hites // *Environmental Science and Technology*. – 2005. – Vol. 39, Issue 19. – P. 7374–7379. doi: 10.1021/es0508673
8. Матвеев, С. Г. Влияние химического состава топлива на выброс бенз(а)пирена автомобилями [Текст] / С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, И. В. Чечет // *Вестник Самарского гос. аэрокосмического ун-та*. – 2007. – № 2. – С. 134–136.
9. Zhong, Y. Immediate Consequences of Cigarette Smoking: Rapid Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Diol Epoxides [Text] / Y. Zhong, S. G. Carmella, P. Upadhyaya, J. B. Hochalter, D. Rauch, A. Oliver et. al. // *Chemical Research in Toxicology*. – 2011. – Vol. 24, Issue 2. – P. 246–252. doi: 10.1021/tx100345x
10. Кырова, С. А. Анализ уровня загрязнения приоритетными экотоксикантами в г. Абакане республики Хакасия [Текст] / С. А. Кырова, А. С. Ситников, С. В. Бордунов // *Вестник Томского гос. пед. ун-та*. – 2006. – № 6. – С. 83–86.
11. Баргулевич, Я. Методы определения ПАУ в объектах окружающей среды [Текст] / Я. Баргулевич, Г. Ягов // *Питьевая вода*. – 2001. – № 6. – С. 11–14.
12. Барам, Г. И. Развитие метода микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии и его применение для исследования объектов окружающей среды [Текст] / Г. И. Барам. – 100 лет хроматографии. – М.: Наука, 2003. – 740 с.
13. Черепица, С. В. Определение инспектируемых параметров дизельного топлива методом газовой хроматографии [Текст] / С. В. Черепица, С. М. Бычков, А. Н. Коваленко и др.; под ред. В. Г. Барышевского. – *Фундаментальные и прикладные физические исследования, 2002–2009 гг.* – Белорусский государственный университет, Институт ядерных проблем, 2009. – С. 392–401
14. Дементьев, Ф. А. Исследование ароматических углеводородов в качестве идентификационных признаков нефтяного загрязнения [Текст] / А. Л. Акимов, Ю. Н. Бельшина, Ф. А. Дементьев // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. – 2011. – № 3. – С. 31–37.
15. Крылов, А. Определение полиароматических углеводородов методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии с изотопным разбавлением (ГХ/МС/ИР) [Текст] / А. Крылов, Е. Лопушанская и др. // *Аналитика*. – 2012. – № 3. – С. 6–16.
16. Отто, М. Современные методы аналитической химии. Т. 1 [Текст] / М. Отто. – М.: Техносфера, 2004. – 416 с.
17. Отто, М. Современные методы аналитической химии. Т. 2 [Текст] / М. Отто. – М.: Техносфера, 2004. – 288 с.
18. Стромберг, А. Г. Систематическое исследование элементарных моделей аналитических сигналов в виде пиков и волн [Текст] / А. Г. Стромберг, С. В. Романенко, Э. С. Романенко // *Журнал анал. химии*. – 2000. – Т. 55, № 7. – С. 687–697.
19. Лебедевская, В. Г. Спектрофотометрический метод определения группового состава ароматических углеводородов в дизельных топливах [Текст] / В. Г. Лебедевская, Т. А. Шмелева, З. Т. Юнусов // *Заводская лаборатория (Диагностика материалов)*. – 2005. – Т. 71, № 2. – С. 59–62.
20. Хрипанкова, М. С. Характеристики методов определения качественного состава нефтепродуктов [Текст] / М. С. Хрипанкова, М. Г. Куликова // *Современные наукоемкие технологии*. – 2014. – № 5 (1). – С. 102–103.
21. Зенкевич, И. Г. Новые возможности совместной интерпретации масс-спектрометрических и хроматографических данных при идентификации органических соединений [Текст] / И. Г. Зенкевич // *Масс-спектрометрия*. – 2004. – Т. 1, № 1. – С. 45–52.
22. Егазьянц, С. В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов [Текст] / С. В. Егазьянц // *Вестн. Моск. ун-та. Серия 2. Химия*. – 2009. – Т. 50, № 2. – С. 75–99.
23. Астахов, А. Анализ нефтепродуктов с помощью хроматографических методов [Текст] / А. Астахов // *Аналитика*. – 2013. – № 3. – С. 48–52.
24. ASTM D2549–02(2012). Standard Test Method for Separation of Representative Aromatics Fractions and Nonaromatics Fractions of High-Boiling Oils by Elution Chromatography [Text]. – *Annual Book of ASTM Standards*. – 2012. – Vol. 05.01.