

УДК 614.835.2

Н. І. Коровникова, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-7977-2112)
В. В. Олійник, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-5193-1775)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ СІРКИ ТА СІРКОВМІСНИХ СПОЛУК В ГІДРООЧИЩЕНИХ ДИСТИЛЯТАХ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

В роботі експериментально досліджено фізико-хімічні властивості прямогонних дистилятів дизельного палива після гідроочищення. Визначено щільність нафтових фракцій і гідрогенізатів, а також фракційний склад сировини. Визначення вмісту загальної сірки проведено за допомогою рентгенофлюоресцентного методу аналізу. Для дизельних і вакуумних фракцій і їх гідрогенізатів побудована калібрувальна крива за підготовленими зразками (бензотіофен / додекан) в діапазоні вмісту сірки 100-1000 мг/кг. Вміст ненасичених вуглеводнів визначався методом йодного числа, який характеризує вміст подвійних зв'язків у ненасичених сполуках і встановлює кількість реагуючих з йодом домішок у ароматичних вуглеводнях. Кількісне визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів проводилось спектрофотометричним методом з окремим визначенням вмісту біциклічних і трициклічних ароматичних вуглеводнів. Вимірювалися також оптична щільність розчинів дизельного палива в н-гептані на характеристичних довжинах хвиль 225, 230, 255 і 375 нм. За показниками фізико-хімічних характеристик гідроочищеної фракції дизельного палива встановлено відсутність смол у зразку дизельного палива. Показано, що при збільшенні в суміші загальної сірки концентрація поліциклічних ароматичних вуглеводнів в гідроочищеній стабільній дизельній фракції зменшується. Отримані дані свідчать, що при гідроочищенні дизельних фракцій основним конкурентом гідруванню поліциклічних ароматичних вуглеводнів не є сірковмісні сполуки дизельних фракцій. В роботі вперше встановлена залежність вмісту сірки й поліциклічних ароматичних вуглеводнів в продуктах гідроочищення сумішей дистилятів дизельних фракцій НПЗ «ЛІНИК».

Ключові слова: гідроочищення, дизельне паливо, сірковмісні сполуки, поліциклічні ароматичні вуглеводні

1. Вступ

Надзвичайні ситуації, пов'язані з пожежами та вибухами нафтопродуктів на нафтопереробних заводах (НПЗ) становлять найбільшу загрозу життю людей, мають трагічні наслідки. Аналіз статистичних даних показує, що близько 90% пожеж і загорянь відбувається на технологічних установках і резервуарах, заповнених нафтопродуктами і бензином [1–3]. При цьому під час зберігання нафти й нафтопродуктів, навіть з незначним вмістом сірки, часто відбувається самоспалахування пірофорних відкладень, що утворюються через корозію внутрішнього простору обладнання та резервуарів. Це призводить до вибухів і пожеж [4, 5], виникнення відмови обладнання. Згідно даних [2], постійно зростаючий вміст сірковмісних сполук та збільшений вміст води у складі видобутої нафти посилює агресивність середовищ, в яких працює технологічне обладнання нафтобаз та нафтопроводів. Отже, однією із актуальніших проблем є корозійні пошкодження обладнання для зберігання нафтопродуктів та пов'язані з ними наслідки утворення пожежонебезпечних пірофорних сполук [3, 4]. За даними [1, 4] пірофорні відкладення представляють собою сульфід заліза типу FeS_x та виникають шляхом хімічної взаємодії заліза з сірководнем і елементарною сіркою. Саме ці сполуки є головною причиною пожеж і вибухів на таких підприємствах.

Контроль нафтопродуктів на вміст сірки та сполук залишається важливим аналітичним завданням. У нафтопродуктах сірковмісні сполуки є дуже шкідливими домішками, які є токсичними, надають нафтопродуктам неприємний запах.

Підвищення їх вмісту шкідливо відбивається на антидетонаційних властивостях бензинів, сприяє смолоутворюванню в крекінг-продуктах і, головне, викликає корозію металів [6, 7]. Чим менше сірки в паливі, тим довше служить каталітичний нейтралізатор автомобілів, який допалює токсичний оксид вуглецю (CO), незгорілі вуглеводні й шкідливі оксиди азоту.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В рамках боротьби за екологію жорстко нормовано вміст сірки у дизельному паливі. Під сіркою розуміється вміст сірковмісних сполук – меркаптанів (R-SH), сульфідів (R-S-R), дисульфідів (R-S-S-R), тіофенів, тіофанів, метилдібензотіофени і інші, а не елементарна сірка [4]. Вміст сірки в нафті знаходиться в межах від 0,15 % (легка нафта Сибіру), 1,5 % (нафта Urals) до 5-7 % (важкі бітумінозні нафти). Допустимий вміст в судовому паливі – до 1 %, а за останніми нормативами Європи і штату Каліфорнія допустимий вміст сірки в дизельному паливі не більше 0,001% (10 ppm). Пониження вмісту сірки в дизпаливі, як правило, приводить до зменшення його змащуючих властивостей, тому для дизельних палив з ультранизьким вмістом сірки обов'язковою умовою є наявність присадок. Вважається, що при вмісті сірки в паливі менш 0,05 % потрібне застосування спеціальних протизносних присадок, що дозволяють продовжити термін роботи паливної апаратури.

Зниження вмісту сірки й поліароматичних вуглеводнів (ПАВ) [4], а також великої кількості інших сполук відбувається на НПЗ під час гідрокаталітичних процесів: гідроочищення й риформінг є базовими процесами та обов'язково входять до складу будь-яких нафтопереробних технологій.

З удосконалення якості дизельних палив великі зусилля докладають Європейські країни, які затвердили концепцію посилення вимог до цього виду палива, особливо зі вмістом у ньому сірковмісних сполук. В рамках програми "Auto Oil II" Європейський Союз (ЄС) ухвалив, що з 2005 р. вміст загальної сірки в дизельному паливі не повинен перевищувати 0,005%, цетанове число – не менше 54 одиниць. Якість дизельного палива в країнах Європейської спільноти (специфікація EN 590) нормується за такими показниками: наступні показники: цетанове число – не менше 51 одиниці, вміст сірки – не більше 0,001%, вміст ПАВ – не більше 2% [4, 8, 9]. Отже, однією із проблем є контроль та дослідження вмісту сірковмісних сполук в залежності від складу та фізико-хімічних характеристик дистилятів дизельного палива в процесі гідроочищення на НПЗ.

Відомо, що гідроочищення дистилятів дизельного палива представляє дуже складний технологічний процес [10–12]. Так, у роботі [12] досліджено, що в складі дизельних фракцій сірка знаходиться в складі бензотіофенів (БТ), дібензотіофенів (ДБТ) і їх алкілпохідних [5]. Згідно [4] до основних класів сірковмісних сіркоорганічних сполук, ідентифікованих в дизельних фракціях, відносяться меркаптани, сульфіді, дисульфіді, тіофен, бензтіофен, дібензотіофен (ДБТ) і їх гетероаналоги. Видалення гетероатомів відбувається в результаті розриву зв'язків C-S, C-N і C-O і насичення молекулами водню. При цьому сірка, азот і кисень виділяються відповідно у вигляді H_2S , NH_3 і H_2O відповідно. Алкени приєднують водень по подвійному зв'язку. Частково гідруються поліциклічні ароматичні вуглеводні [4, 5, 12].

Екстракція є альтернативним методом, який використовується для десульфурації та денітрифікації бензину та дизельного палива [13].

підходи використовують різні іонні рідини як селективні розчинники через їх загальну незмішуваність з бензином та дизельним паливом, незначне пароутворення та високу селективність до сірковмісних та азотовмісних сполук. З цієї причини для вилучення тіофену, дибензотіофену та піридину з двох модельних розчинів в роботі [13] було обрано п'ять іоногенних імідазолієвих рідин та однієї іонної рідини на основі піридинію. Досліджено вплив гідродинамічних умов, співвідношення маси та кількості стадій. Встановлено, що збільшення співвідношення маси іонного рідкого / модельного палива та багатоступеневої екстракції сприяє зростанню денітрифікаційності досліджуваних іонних рідин. Всі обрані іонні рідини можуть бути повторно використані та регенеровані шляхом вакуумного випаровування.

Автори [14] з метою дослідження десульфурації та денітрифікації модельного дизельного палива вивчили продуктивність MSU-S та форми, модифіковані фосфоною кислотою (HPW) і нікелем (Ni), отримали результати характеристичних тестів адсорбції-десорбції. З обома модифікаціями (HPW та Ni) максимальне збільшення на 33,18% та 6,88% було здійснено для адсорбційного завантаження загальної сірки та загального азоту відповідно. Адсорбція та селективність всіх адсорбентів для загального азоту більше, ніж для загальної сірки (селективна адсорбція азоту над сіркою).

Жорсткі умови до якості дизельного палива виявляють велику кількість наукових проблем. При цьому найбільш невивченими є питання щодо впливу різних факторів, окремих видів поліароматичних сполук дизельного палива на концентрацію в ньому сірковмісних сполук за результатами гідроочищення [5, 10]. Аналіз літератури свідчить про недостатність вивчення питань щодо способів, методів, а також глибини очищення дизельного палива від сірки та інших сполук. Оскільки це залежить від типу вуглеводневої сировини, температури процесу, парціального тиску водню та кратності циркуляції, об'ємної швидкості подачі сировини, матеріального балансу процесу [11].

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є експериментальне дослідження складу, фізико-хімічних характеристик дистилатів дизельного палива, вмісту загальної сірки та сірковмісних сполук в дистилатах дизельного палива при проведенні процесу гідроочищення.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- дослідити фізико-хімічні характеристики дистилатів дизельного палива та концентрацію сірковмісних сполук в дистилатах дизельного палива;
- встановити залежність вмісту ПАВ в гідроочищеній дизельній фракції палива від вмісту загальної сірки.

4. Матеріали та методи дослідження

В роботі використано зразки дистилатів дизельного палива, отримані в дослідній лабораторії НПЗ «ЛНІК», до та після моделювання процесу гідроочищення. Для вирішення задачі дослідження використовувались наступні методи: колориметричний, метод встановлення щільності фракцій дизельного палива, рентгенфлуорисцентний, метод йодного числа, спектрофотометричний, маспектроскопічний. Для встановлення фізико-хімічних властивостей зразків

дизельного палива використовувались спеціальні методики. Попередньо було встановлено фізико-хімічні властивості зразків, які були отримані в дослідній лабораторії НПЗ «ЛНІК» після гідроочищення. Так, щільність нафтових фракцій і гідрогенізацій, фракційний склад сировини визначались згідно [15]. Визначення даних про колір дистилатів дизельного палива є необхідним для встановлення інформації щодо наявності в складі смол. Колір визначався на колориметрі ЦНТ за ДСТУ [16].

Визначення вмісту загальної сірки в дослідних зразках проведено за допомогою рентгенофлюоресцентного аналізатора Shimadzu EDX600. Для зразків дистилатів дизельного палива була побудована калібрувальна залежність за підготовленими зразками (бензотіофен / додекан) в діапазоні вмісту сірки 100–1000 мг/кг. Отриманий гідрогенізацій розчинявся в розчині додекану у співвідношенні 1:2.

Вміст ненасичених вуглеводнів визначався за методом йодного числа. Йодне число характеризує вміст подвійних зв'язків у ненасиченій сполуці й встановлює кількість реагуючих з йодом домішок в ароматичних вуглеводнях [17].

Кількісне визначення ПАВ (табл. 1) проводилось на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800. Окремо визначався вміст біциклічних (БАВ) і трициклічних (ТАВ) ароматичних вуглеводнів. Вимірювалися також оптичні щільності D розчинів дизельного палива в *n*-гептані (х.ч.) на характеристичних довжинах хвиль 225, 230, 255 і 375 нм. За результатами дослідів побудована крива визначення концентрації сірки у зразках дистилатів фракцій дизельного палива, яка дозволяє швидко знайти орієнтовну концентрацію сірки в дизельному паливі в залежності від ПАВ.

Сірководень з одержуваних гідрогенізацій видалявся шляхом обробки 15% розчином NaOH і промивки проби дистильованою водою до нейтральної реакції середовища. Також проводилась розгонка гідрогенізацій для отримання окремих фракцій з метою дослідження фізико-хімічних властивостей.

З використанням методу маспектроскопії визначався склад ароматичних вуглеводнів у вихідній та гідроочищеній дизельній фракції (табл. 2), а також вміст деяких груп сірчистих сполук, що відносяться до тіофенового ряду та сульфідів (табл. 3).

5. Результати досліджень

Фізико-хімічні характеристики гідроочищеної фракції дизельного палива наведено в табл. 1.

Табл. 1. Фізико-хімічні характеристики гідроочищеної фракції дизельного палива

Фізико-хімічні характеристики	Фракція дизельного палива
Щільність, г/см ³	0,81
Колір, одиниць	0,6
Вміст сірки, % мас	0,06
Вміст ПАВ, % мас	4,1
Вміст БАВ, % мас	0,98
Вміст ТАВ, % мас	3,2

Залежність вмісту ПАВ в гідроочищеній дизельній фракції дизельного палива від вмісту сірки наведена на рис. 1.

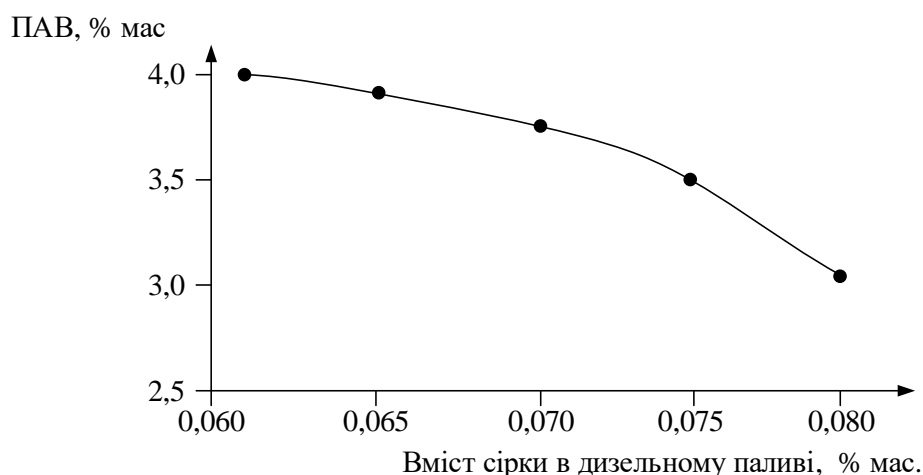


Рис. 1. Залежність вмісту ПАВ в гідроочищеній дизельній фракції дизельного палива від вмісту сірки

Склад продуктів дизельного палива до та після проведення процесу гідроочищення представлений у табл. 2.

Табл. 2. Склад продуктів дизельного палива до та після проведення процесу гідроочищення

Фракція	%, мас			
	Ненасичені вуглеводні	Моноарени	Біарени	Триарени
Вихідна речовина	54,1	29,0	13,9	2,4
Після гідроочищення	44,8	20,5	10,8	2,1

Склад різних груп сірковмісних сполук у продуктах гідроочищення дизельного палива наведений у табл. 3.

Табл. 3. Склад різних груп сірковмісних сполук у продуктах гідроочищення дизельного палива

Фракція	%, мас		
	Метил дібензотіофени	Диметил-дібензотіофени	Сульфіди
Вихідна	0,9	0,8	2,4
Після гідроочищення	0,05	0,4	0,07

6. Обговорення результатів

Фізико-хімічні характеристики гідроочищеної фракції дизельного палива, наведені в табл. 1, свідчать про відсутність смол у зразку дизельного палива, оскільки значення показника «колір» становило 0,6 одиниць [16].

Як видно з рис. 1, концентрація загальної сірки в гідроочищеній стабільній дизельній фракції зменшується при збільшенні концентрації ПАВ в суміші. При наявності більшої кількості даних щодо величин концентрації сірки в дистилатах дизельного палива, є можливість прогнозувати вміст ПАВ, який строго нормується, а аналіз представляє певні труднощі.

Під час гідроочищення дизельного палива в зразках знижуються концентрації майже всіх речовин органічного походження: ненасичених вуглеводнів, моноаренів, біаренів, триаренів, а також різних груп сірковмісних сполук (табл. 2, 3). Експериментальні дані вказують на те, що під час гідроочищення дистиляту дизельного палива остаточний вміст сульфідів зменшується з 2,4 до 0,07 мас. %. Отже, кількість сірки у виді сульфиду сірки зменшується приблизно на 70 %.

Вірогідно, що основний вплив на гідрування під час гідроочищення ПАВ змішаних фракцій надають олефіни БАВ, які є небажаними компонентами домішок у дистилятах дизельного палива. Вміст сірки у всіх отриманих зразках дистилятів перевищує вимоги ДСТУ [8].

Збільшення концентрації органічних речовин сірки, як правило, призводить до гальмування реакцій гідрування під час гідроочищення за рахунок блокування центрів гідрування сірководнем, що виділяється [4, 11]. Однак, отримані дані свідчать, що при гідроочищенні дизельних фракцій основним конкурентом гідруванню ПАВ не є сірковмісні сполуки дизельних фракцій [4].

Таким чином, в роботі вперше встановлена залежність вмісту сірки й поліциклічних ароматичних вуглеводнів в продуктах гідроочищення сумішей дистилятів дизельних фракцій НПЗ «ЛІНИК».

7. Висновки

1. Фізико-хімічні характеристики гідроочищеної фракції дизельного палива свідчать про відсутність смол у зразках. Експериментальні дані свідчать, що під час гідроочищення дистиляту дизельного палива остаточний вміст сульфідів зменшується з 2,4 до 0,07 мас. %.

2. Вперше встановлена залежність концентрації ПАВ від концентрації сірки. При збільшенні концентрації поліциклічних ароматичних вуглеводнів в гідроочищеній стабільній дизельній фракції НПЗ «ЛІНИК», концентрація сірки зменшується. Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні експериментальних досліджень щодо впливу концентрації поліциклічних ароматичних вуглеводнів на вміст сірки у зразках дистилятів дизельного палива з метою недопущення порушення матеріального балансу компонентів під час проведення процесу гідроочищення.

Література

1. Бард В. Л., Кузин А. В. Предупреждение аварий в нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. М.: Химия. 1984. 248 с.
2. Кузнецова С. А., Волков В. Н. Оценка аварийности резервуаров (парков) для хранения нефти и нефтепродуктов // Энергосбережение и энергоэффективность: Материалы VII Международной выставки-конгресса. 2004. С. 25–27.
3. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности. 2013. Т. 50. Вып. № 4. С. 1–8.
4. Ляпина Н. К. Химия и физикохимия сераорганических соединений нефтяных дистилятов. М.: Наука. 1984. 120 с.
5. Материалы IV конференции по технологиям нефтепереработки России и стран СНГ. Москва, 2004. 147 с.

6. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов М.: Металлургия. 1977. 362 с.
7. Бойченко С. В., Новікова В. Ф., Турчак В. М., Медведєва Т. В. Екологічні аспекти визначення вмісту сірки в нафтопродуктах. Вісник НАУ, 2010. №1. С. 219–222.
8. ДСТУ 8705:2017. Паливо дизельне тривалого зберігання. Технічні умови. Київ: «НДІ «МАСМА», 2017. 18 с.
9. DIN EN 590 European Standards. Automotive fuels–Diesel–Requirements and test methods (includes Amendment). 2017.
10. Farag H., Mochida I., Sakanishi K. Fundamental comparison studies on hydrodesulfurization of dibenzothiophenes over CoMo-based carbon and alumina catalysts // Appl. Catal, 2000. V. 194. P. 147–157.
11. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
12. Каминский Э. Ф., Хавкин В. А., Курганов В. М. Дearingатизация прямогонных дизельных дистиллятов при умеренном давлении водовода // Химия и технология топлив и масел, 1996. № 6. С. 13–14.
13. Gabric, B. Extraction of S- and N-Compounds from the Mixture of Hydrocarbons by Ionic Liquids as Selective Solvents. The Scientific World Journal. 2013. V. 14. № 5. P. 12953. doi: 10.1155/2013/512953
14. Rashidi, S. Removal of Sulfur and Nitrogen Compounds from Diesel Fuel Using MSU-S. Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology. 2015. V. 4. № 1. P. 1–16. doi: 10.22050/ijogst.2015.8603
15. Руководство к лабораторным работам по курсу «Физическая технология топлива». Уфа, 2000. 31 с.
16. ГОСТ 20284-74 Нефтепродукты. Метод определения цвета на колориметре ЦНТ. <http://vsegost.com/Catalog/45/4515.shtml>
17. ГОСТ 2070-82. Нефтепродукты. Методы определения йодных чисел и содержания непредельных углеводородов. <http://stroysvoimirukami.ru/gost-2070-82>

*N. Korovnikova, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
V. Oliinik, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

INVESTIGATION OF SULFUR AND SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS IN HYDROTREATED DIESEL DISTILLATES

The physico-chemical properties of straight-run diesel distillates after the hydro-purification have been experimentally investigated. The density of oil fractions and hydrogenosates, as well as fractional composition of raw materials, was determined. A determination of the content of total sulfur was done with using the X-ray fluorescence analysis method. For diesel and vacuum fractions and their hydrogenases, a calibration curve based on the prepared samples (benzothiophene / dodecane) with the sulfur content range from 100 to 1000 mg / kg was constructed. The content of unsaturated hydrocarbons was determined by the method of iodine value, which characterizes the content of double bonds in unsaturated compounds and establishes the number of admixtures that reacts with iodine in aromatic hydrocarbons. The determination of polycyclic aromatic hydrocarbons quantity was conducted by spectrophotometric method; the determination of bicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons was done separately. An optical density of diesel fuel solutions in n-heptane цпер the characteristic wavelengths 225, 230, 255 and 375 nm was also measured. According to the physical and chemical characteristics of the hydrotreated diesel fuel fraction, the lack of resins in the sample of diesel fuel was found. It was shown that increasing sulfur in the liquid leads to decreasing the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in the hydro-purified stable diesel fraction. The obtained data proves that during the hydro-purification it is better to use the hydrogenation of polycyclic aromatic hydrocarbons than sulfur-containing compounds of diesel fractions. Thus, in the work for the first time

Chemical Technology and Engineering. DOI: 10.5281/zenodo.2602893

the dependence of the content of sulfur and polycyclic aromatic hydrocarbons in the products of hydro-purification of diesel fractions distillates mixtures produced by "LINIK" was established.

Keywords: hydrocleaning, diesel fuel, sulfur compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons

References

1. Bard, V. L., Kuzin, A. V., Shvoeva, O. P. (1984). Preduprezhdenie avariy v neftepererabatyivayuschih i neftehimicheskikh proizvodstvah. Uspehi himii, 248.
2. Kuznetsova, S. A., Volkov, V. N. (2004). Otsenka avariynosti rezervuarov (parkov) dlya hraneniya nefi i nefteproduktov // Energoberezhenie i energoeffektivnost: Materialy VII Mezhdunarodnoy vystavki-kongressa, Tomsk, 25–27.
3. Lebedeva, M. I., Bogdanov, A. V., Kolesnikov, Yu. Yu. (2013). Analiticheskiy obzor statistiki po opasnyim sobyitiyam na ob'ektah neftepererabatyivayuschey i neftehimicheskoy promyshlennosti, 50, 1–8.
4. Lyapina, N. K. (1984). Himiya i fizikohimiya seraorganicheskikh soedineniy neftyanykh distillyatov, Nauka, 120.
5. Materialy IV konferentsii po tehnologiyam neftepererabotki Rossii i stran SNG (2004). Moskva, 147.
6. Rozenfeld, I. L. (1977). Korroziya i zaschita metallov, Metallurgiya, 352.
7. Boychenko, S. V., Novikova, V. F., Turchak, V. M., Medvedeva, T. V. (2010). Ekologicheskii aspekti viznachennya vmistu sirki v naftoproduktah, Visnik NAU, 2010.
8. DSTU 8705:2017 Palivo dizelne trivalogo zberigannya. Tehnichni umovi.
9. DIN EN 590 European Standards. Automotive fuels–Diesel–Requirements and test methods (includes Amendment, 2017).
- Farag, H., Mochida, I., Sakanishi, K. (2000). Fundamental comparison studies on hydrodesulfurization of dibenzothiophenes over CoMo-based carbon and alumina catalysts, Appl. Catal, 194, 147–157.
11. Ahmetov, S. A. (2002). Tehnologiya glubokoy pererabotki nefi i gaza: Uchebnoe posobie dlya vuzov, Gilem, 672.
12. Kaminskiy, E. F., Havkin, V. A., Kurganov, V. M. (1996). Dearomatizatsiya pryamogonnykh dizelnykh distillyatov pri umerennom davlenii vodoroda, 13–14.
13. Gabric, B. Sander A., Bubalo, M. (2013). Extraction of S- and N-Compounds from the Mixture of Hydrocarbons by Ionic Liquids as Selective Solvents, The Scientific World Journal, 14, 12953. doi: 10.1155/2013/512953
14. Rashidi, S., Nikou, M., Anvaripour, B. (2015). Removal of Sulfur and Nitrogen Compounds from Diesel Fuel Using MSU-S, Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology, 4, 1–16. doi: 10.22050/ijogst.2015.8603
15. Rukovodstvo k laboratornyim rabotam po kursu «Fizicheskaya tehnologiya topliva» (2000). Ufa, 31.
16. GOST 20284-74 Nefteproduktyi. Metod opredeleniya tsveta na kolorimetre TsNT.
17. GOST 2070-82. Nefteproduktyi. Metodyi opredeleniya yodnykh chisel i sodержaniya nepredelnykh uglevodorodov.

Надійшла до редколегії: 21.01.2019

Прийнята до друку: 08.02.2019