

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 543.1; 535.016

Д. Г. РАДОВ, В. П. МАСЛОВ, Г. В. ДОРОЖИНСЬКИЙ, Г. В. ДОРОЖИНСЬКА

ВИЯВЛЕННЯ СІРКИ В НАФТОПРОДУКТАХ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Частка нафти в загальному споживанні енергоресурсів світу безперервно зростає. Сірчани з'єднання в паливних нафтопродуктах знижують їх хімічну стабільність, повноту згоряння і викликають корозію двигунів. Сполуки сірки при згорянні забруднюють атмосферу, виділяючи оксиди сірки. Вміст сірки у нафті становить від сотих часток відсотка до 5–14 %. Існуючі методи контролю вмісту сірки у нафтопродуктах рентгенофлюоресцентний та ультрафіолетової флюоресценції мають межу детектування 3 мг/кг та забезпечують відносну похибку вимірювання 10 %. Вперше експериментально показано можливість визначити методом поверхневого плазмонного резонансу у три рази точніше (відносна похибка 2,6 %) менші концентрації сірки у нафтопродуктах (0,19 мг/кг).

Ключові слова: сірка, тіофен, контроль нафтопродуктів, поверхневий плазмонний резонанс.

Доля нафти в общем потреблении энергоресурсов мира непрерывно растет. Сернистые соединения в топливных нефтепродуктах снижают их химическую стабильность, полноту сгорания и вызывают коррозию двигателей. Соединения серы при сгорании загрязняют атмосферу, выделяя оксиды серы. Содержание серы в нефти составляет от сотых долей процента до 5–14 %. Существующие методы контроля содержания серы в нефтепродуктах рентгенофлюоресцентный и ультрафиолетовой флюоресценции имеют предел детектирования 3 мг / кг и обеспечивают относительную погрешность измерения 10 %. Впервые экспериментально показана возможность определять методом поверхностного плазмонного резонанса в три раза точнее (относительная погрешность 2,6%) меньшие концентрации серы в нефтепродуктах (0,19 мг / кг).

Ключевые слова: сера, тиофен, контроль нефтепродуктов, поверхностный плазмонный резонанс.

The share of oil in the overall consumption of energy resources in the world is continuously increasing. Sulfur compounds in fuel oil products reduce their chemical stability, completeness of combustion and cause corrosion of engines. Sulfur compounds during combustion pollute the atmosphere, producing sulfur oxides. The content of sulfur in oil is from hundredths of a percent to 5–14 %. Existing methods for controlling sulfur content in petroleum products X-ray fluorescence and ultraviolet fluorescence have a detection limit of 3 mg / kg and provide a relative error of measurement of 10 %. An alternative method may be based on the phenomenon of surface plasmon resonance (SPR), which allows for rapid analysis (measurement of length less than 10 sec.) And can be less expensive for existing methods. Diagnosing devices that are based on the phenomenon of surface plasmon resonance, have high sensitivity to low concentrations (0.01–2 mg/kg) of liquid and gaseous substances and are characterized by high accuracy measurements. For the first time, it has been shown experimentally that the concentration of sulfur in petroleum products (0.19 mg / kg) is three times more accurate (relative error 2.6 %) by surface plasmon resonance. Research results can be used to improve the existing and create new methods for monitoring sulfur in petroleum products.

Keywords: sulfur, thiophene, petroleum products, vaseline oil, surface plasmon resonance.

Вступ. Нафта – найважливіше джерело рідкого палива, мастил, сировина для синтетичних матеріалів, тощо. Нафта займає провідне місце в світовому паливно–енергетичному господарстві. Її частка в загальному споживанні енергоресурсів безперервно зростає і станом на 2016 рік складає близько 33,6 % [1]. Сірка є найпоширенішим з гетеро атомів в нафтах і нафтопродуктах. Її вміст у нафті становить від сотих часток відсотка (бакинські, туркменські, сахалінські нафти) до 5–6 % (нафти Урало–Поволжя та Сибіру), рідше до 14 % (родовище Пойнт, США). Нафти позбавленої сірки не існує [2]. Серед сірчаних сполук нафти і нафтових фракцій розрізняють три групи. До першої відносяться сірководень і меркаптани, які мають кислотні властивості, в зв'язку з чим, є найбільш агресивними. До другої групи відносять нейтральні на холоді і термічно мало стійкі сульфіді і дисульфіді, які при температурі 130–160° С починають розкладатися з утворенням сірководню і меркаптанів. У третю групу сполук входять термічно стабільні циклічні сполуки – тіофани і тіофени, які формують основну кількість сірки в нафтах [3]. Меркаптани токсичні, вони викликають сльозоточивість, запаморочення, головний біль. З усіх сірчаних сполук нафти вони найбільш небезпечні (особливо – ароматичні) і мають здатність до самоокислення з утворенням сульфонової і сірчаної кислот. У нафтах сульфіді і дисульфіді зустрічаються у вигляді аліфатичних і циклічних з'єднань.

Сірчисті з'єднання в паливних нафтопродуктах знижують їх хімічну стабільність і повноту згоряння, надають неприємних запах і викликають корозію двигунів. Сірка при згорянні палива взаємодіє з киснем повітря (окислюється). Внаслідок цього виникають оксиди сірки, які з водяними парами утворюють сірчану і сірчисту кислоти. Крім деталей двигуна кислота руйнує всі металеві поверхні системи випуску відпрацьованих газів і псує каталізатори. Сірка є одним з найбільш шкідливих компонентів бензину. У бензинах з'єднання сірки знижують антидетонаційні властивості і реакційну здатність до тетраетилсвинцю, який додають для підвищення якості бензину. Крім цього, сполуки сірки при згорянні забруднюють атмосферу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. За вимогами найсучаснішого чинного нормативу ЄВРО 5, вміст сірки в бензині А–95–Євро не повинен перевищувати 0,001% або 10 мг/кг [4]. При цьому згідно до паспорту на цей бензин, вміст сірки складає 7 мг/кг [5], що визначений методом ультрафіолетової флуоресценції, який забезпечує діапазон вимірювання вмісту сірки в нафтопродуктах від 3 мг/кг до 500 мг/кг та за тривалістю становить від 250 до 500 секунд [6]. ДП "Укрметртестстандарт" розробило стандартний зразок масової частки сірки в нафтопро-

© Д. Г. Радов, В. П. Маслов, Г. В. Дорожинський,
Г. В. Дорожинська. 2017

дуктах, що представляє собою емульсію тіофену у вазеліновому маслі. Як відомо, тіофен є циклічним вуглеводнем і має у своєму складі атом сірки [7]. Стандартний зразок призначений для атестації, повірки, калібрування і градування аналізаторів сірки, дія яких базується на методі рентгенофлуоресцентної спектрометрії [8]. В Україні в Державний реєстр засобів вимірювань внесено аналізатор «СПЕКТРОН SW-D3», котрий використовує метод рентгенофлуоресцентної спектрометрії [9]. Цей прилад забезпечує визначення сірки від 3 мг/кг до 500 мг/кг та має межу визначення 0,3 мг/кг.

Основними недоліками існуючих методів визначення сірки в нафтопродуктах є необхідність джерел рентгеновського та іонізуючого випромінювань, потреба у пробі підготовці, велика вага та висока вартість обладнання [10]. Існуючі методи контролю вмісту сірки у нафтопродуктах мають нижню межу вимірювання 0,3 мг/кг, що для чинного нормативу Євро 5 на вміст сірки забезпечує відносну похибку вимірювання 10%. Враховуючи тенденції розвитку суспільства та підвищення вимог до якості палива, котрі будуть передбачати подальше зменшення вмісту сірки, актуальним напрямком є розробка альтернативного методу визначення сірки, наприклад, на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР), котрий дозволяє проводити експрес аналіз і може бути менш коштовним за існуючі методи. Такі діагностуючі пристрої мають високу чутливість до малих концентрацій (0,01 – 2 мкг/кг) досліджуваних речовин [11, 12] і характеризуються високою точністю вимірювань [13].

Враховуючи подальші тенденції розвитку екологічних стандартів по зменшенню вмісту сірки у нафтопродуктах можна прогнозувати виникнення проблеми невідповідності існуючих методів визначення вмісту сірки встановленим стандартам. Тому необхідно контролювати її вміст у нафтопродуктах методами, котрі мають високу чутливість і точність вимірювання.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення перспективності методу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу для виявлення масової концентрації сірки в органічних середовищах.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Виконати визначення методом ППР зміни показника заломлення (ПЗ) вазелінового масла при наявності в ньому тіофену з концентраціями сірки меншими за встановлені стандартами до існуючих методів контролю сірки в нафтопродуктах.

2. Провести аналіз та узагальнення результатів експериментів.

Матеріали та методи виявлення сірки в нафтопродуктах методом поверхневого плазмонного резонансу. Досліджувані матеріали:

1. Вазелінове масло з тіофеном (стандартний зразок 2–16226 згідно ДП «Укрметрестстандарт»). Згідно сертифікату масова частка сірки складає $0,0014 \pm 0,0005$ %, що відповідає концентрації сірки 14 ± 5 мг/кг.

2. Вазелінове масло (стандартний зразок 2–16226–2 згідно ДП «Укрметрестстандарт»).

Методичною основою виконання комплексних досліджень є: чисельний аналіз різниці ПЗ зразків чистого

вазелінового масла та з тіофеном різної концентрації. Значення різниці ПЗ (зсуву мінімуму ППР) вимірювали приладом «Сульфо–поляритон» з діапазоном вимірювання від 0...0,012 RIU (refractive index unit) з похибкою вимірювання $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ RIU.

Малогабаритний спеціалізований рефрактометр «Сульфо–поляритон», котрий працює на явищі ППР. Явище ППР – це порушення повного внутрішнього відбиття монохроматичного р–поляризованого світла на межі двох середовищ з різними ПЗ: скляної призми та досліджуваної речовини (аналіту) між якими розташована тонка (10...100 нм) металева плівка. Обертаючи призму, змінюють кут падіння світла на її робочу грань з металевою плівкою і одночасно вимірюють характеристику відбиття – залежність нормованої інтенсивності відбитого світла (коефіцієнта відбиття R) від кута його падіння (рис. 1).

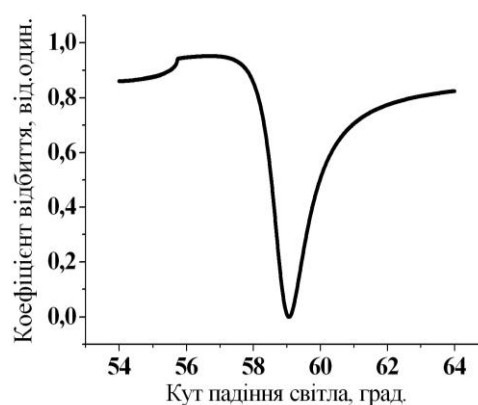


Рис. 1 – Залежність нормованої інтенсивності відбитого світла (коефіцієнта відбиття) від кута його падіння

Вимірний зсув кутового положення мінімуму характеристики відбиття визначає абсолютне значення та відносну зміну ПЗ аналіту.

Об'єктом дослідження є процес визначення сірковмісної сполуки у органічному середовищі методом поверхневого плазмонного резонансу.

Предметом дослідження є кутовий зсув мінімуму характеристики відбиття при вимірюванні емульсії вазелінового масла з тіофеном різної концентрації.

Методика дослідження:

Для визначення концентрації сірки у вазеліновому маслі використовували порівняльний метод, суть якого полягала у визначенні різниці між результатами вимірювання показника заломлення органічного середовища без сірки і органічного середовища з сіркою. Досліджувані зразки почергово прокачували шприцевим насосом через вимірювальну кювету ППР–рефрактометру і вимірювали їх показники заломлення. Готували досліджувані зразки шляхом розведення стандартного зразку чистим вазеліновим маслом у співвідношеннях: 1:1, 1:9 та 1:74. Співвідношення були обрані з метою досягнення вмісту сірки меншого за визначений стандартом Євро 5. Більше розведення вимагає збільшення маси розчинника або зменшення маси стандартного зразку. При зменшенні вихідної маси стандартного зразку похибка зростає за гіперболою і не залежить від кратності розведення чистим вазеліновим маслом (рис. 2). Тому для мінімізації похибки вимірювання вихідна вага

стандартного зразку вазелінового масла з сіркою становила $1,00 \pm 0,02$ г, що забезпечило похибку приготовленого розчину 37,5 %, при чому у стандартному зразку вона становила 35 %.

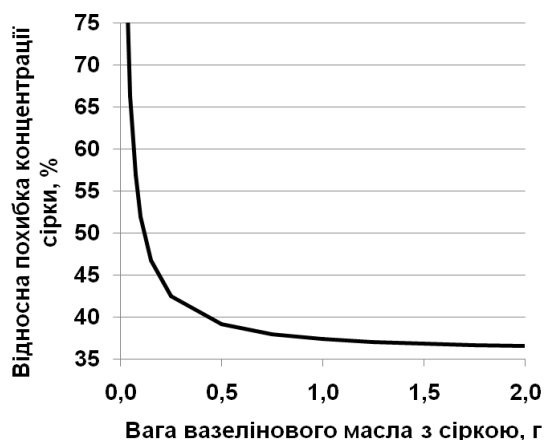


Рис. 2. Розрахована залежність відносної похибки концентрації приготовленої емульсії від вихідної ваги стандартного зразку

Для приготування розчинів потрібної концентрації вихідні речовини дозували семплером ПЛ-01-200 і зважували приладом Diamond Model 100 з похибкою вимірювання $\pm 0,02$ г. В результаті були отримані розчини тіофену у вазеліновому маслі з масовими концентраціями сірки 0,0007%, 0,00014% та 0,000019%. Вимірювання показника заломлення виконували ППР-рефрактометром в режимі Multiple [14] з похибкою $\pm 0,00002$ RIU.

Таблиця 1 – Виміряні показники заломлення стандартного зразку після розведення у вазеліновому маслі

№ п.п.	Розведення стандартного зразку у вазеліновому маслі	Показник заломлення розведеного зразку, RIU	Відносна зміна показника заломлення, $\text{RIU} \times 10^{-6}$	Концентрація сірки, мг/кг
1	без розведення	$1,45535 \pm 0,00002$	2300 ± 500	$14,0 \pm 5,0$
2	1:1	$1,45385 \pm 0,00002$	900 ± 510	$7,05 \pm 2,64$
3	1:9	$1,45337 \pm 0,00002$	320 ± 40	$1,41 \pm 0,53$
4	1:74	$1,45310 \pm 0,00002$	50 ± 20	$0,19 \pm 0,07$

Відносна похибка вимірювання показника заломлення при заміщенні чистого вазелінового масла на вазелінове масло з тіофеном різної концентрації знаходиться в межах від 13 % до 36 % і є наслідком похибки приготування розчинів тіофену.

Обговорення результатів дослідження. При зменшенні концентрації сірки зменшується відносна зміна показника заломлення, причому при розведенні у 75 разів величина відгуку ($0,00005$) у два рази більша за роздільну здатність ППР-рефрактометра та похибку вимірювання показника заломлення ($0,00002$).

Експрес метод на основі явища поверхневого плазмонного резонансу робить можливим детектувати концентрації сірки в органічному середовищі значно менші за визначені нормативом Євро 5 (10 мг/кг) та менші за межу визначення існуючих засобів вимірювання (0,3 мг/кг) за короткий проміжок часу (2 хвилини), що вдвічі менше ніж у існуючих методів визначення вмісту сірки (4–5 хвилин). При цьому метод ППР забезпечує відносну похибку вимірювання 2,6 %, що у 3 рази менше,

Результати виявлення сірки в нафтопродуктах методом поверхневого плазмонного резонансу. Залежність виміряних значень показників заломлення досліджуваних зразків від концентрації сірки у відповідних розчинах тіофену наведено на рис.3. Виміряна залежність добре апроксимується лінійною функцією $y = 157,28x + 1,89$ з коефіцієнтом узгодження $R^2 = 0,979$.

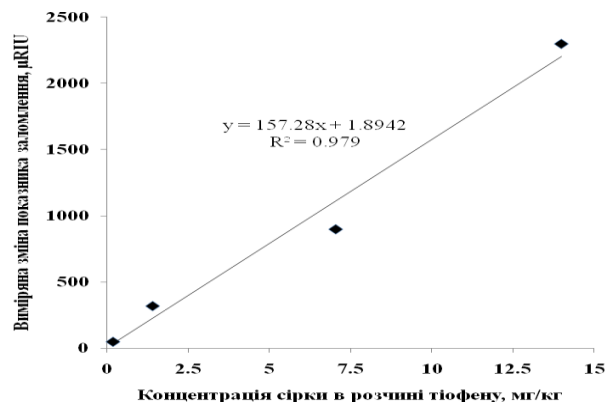


Рис. 3 – Виміряна залежність зміни показників заломлення вазелінових емульсій тіофену від концентрації в них сірки

В табл. 1 наведено виміряні значення показників заломлення приготовлених емульсій тіофену у вазеліновому маслі та наближені значення відповідних концентрацій сірки в них. Виміряне значення показника заломлення чистого вазелінового масла становило $1,45265 \pm 0,00002$ RIU. Відносна зміна показника заломлення вказана із врахуванням методичної похибки.

ніж у існуючого методу рентгенофлуоресцентної спектроскопії.

Висновки

1. Нафта займає провідне місце в світовому паливно-енергетичному господарстві. Сірчисті з'єднання в паливних нафтопродуктах знижують їх хімічну стабільність і повноту згоряння і викликають корозію двигунів. Нафт позбавлених сірки не існує, а її концентрація становить від сотих часток відсотка до 5–14 %.

Сірка присутня у всіх нафтопродуктах і контроль її вмісту є важливою задачею. Існуючі методи контролю сірки в нафтопродуктах рентгенофлуоресцентний та ультрафіолетової флуоресценції забезпечують визначення вмісту сірки в діапазоні від 3 до 500 мг/кг, в той час як допустимі концентрації сірки в бензинах згідно до існуючих екологічного стандарту Євро 5 (10 мг/кг) наближаються до нижньої межі вимірювання цими методами, що є причиною великої відносної похибки вимірювання 10 %. Тому актуальним є розробка та дослідження нових методів визначення вміс-

ту сірки, зокрема методу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР).

2. Вперше показано на прикладі модельної речовини (вазелинового масла з тіофеном), що метод ППР є більш чутливий та більш точним за існуючі методи контролю сірки, бо дозволяє детектувати масову кон-

центрацію сірки $0,19 \pm 0,07$ мг/кг, яка менша за межу виявлення ($0,3$ мг/кг) зареєстрованих в Україні вимірювальних засобів для визначення вмісту сірки у нафтопродуктах і забезпечує у 3 рази меншу відносну похибку вимірювання $2,6\%$.

Список літератури:

1. Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
2. Магеррамов, А. М. Нефтехимия и нефтепереработка [Текст] / А. М. Магеррамов, Р. А. Ахмедова, Н. Ф. Ахмедова. – Баку: Баки Университети, 2009. – 660 с.
3. Вадецкий, Ю. В. Нефтегазовая энциклопедия. Т. 3 [Текст] / Ю. В. Вадецкий. – М.: Московское отделение «Нефть и газ» МАИ, 2004. – 308 с.
4. Гуревич, И. Л. Технология переработки нефти и газа. Т. 1 [Текст] / И. Л. Гуревич. – М.: Химия, 1972. – 360 с.
5. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови [Текст]. – Київ, 2015.
6. ISO 20846:2011. Petroleum products – Determination of sulfur content of automotive fuels – Ultraviolet fluorescence method [Text]. – International Organization for Standardization, 2011.
7. Черных, В. П. Органическая химия [Текст] / В. П. Черных, Б. С. Зименковский, И. С. Гриценко; под. ред. В. П. Черных. – 2-е изд., испр. и доп. – Х.: Изд-во НФаУ; Оригинал, 2007. – 765 с.
8. ДСТУ ISO 20847:2009. Нафтопродукти. Визначення вмісту сірки в автомобільному пальному методом рентгенофлуоресцентної спектроскопії з дисперсією за енергіями (ISO 20847:2004, IDT) [Текст]. – Державний стандарт України, 2009.
9. ДЕРЖРЕЄСТР ЗВТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrcsm.kiev.ua/index.php/ru/services-ua/metrology-ua/registry-metrology-ua>
10. Новиков, Е. А. Определение серы в нефтепродуктах. Обзор аналитических методов [Текст] / Е. А. Новиков // Мир нефтепродуктов. – 2008. – № 1. – С. 1–39.
11. Homola, J. Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison [Text] / J. Homola, I. Koudela, S. S. Yee // Sensors and Actuators B: Chemical. – 1999. – Vol. 54, Issue 1-2. – P. 16–24. doi: [10.1016/S0925-4005\(98\)00322-0](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(98)00322-0)
12. Gupta, G. Tuning and sensitivity enhancement of surface plasmon resonance sensor [Text] / G. Gupta, J. Kondoh // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2007. – Vol. 122, Issue 2. – P. 381–388. doi: [10.1016/j.snb.2006.06.005](https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.06.005)
13. Shalabney, A. Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors [Text] / A. Shalabney, I. Abdulhalim // Laser & Photonics Reviews. – 2011. – Vol. 5, Issue 4. – P. 571–606. doi: [10.1002/lpor.201000009](https://doi.org/10.1002/lpor.201000009)
14. Дорожинський, Г. В. Сенсорні прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу [Текст] / Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, Ю. В. Ушенін. – К.: НТУУ «КПІ» видав. «Політехніка», 2016. – 264 с.

Bibliography (transliterated):

1. Statistical Review of World Energy. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
2. Magerramov, A. M., Ahmedova, R. A., Ahmedova, N. F. (2009). Neftekhimiya i neftepererabotka. Baku: Baky Universiteti, 660.
3. Vadeckiy, Yu. V. (2004). Neftegazovaya enciklopediya. Vol. 3. Moscow: Moskovskoe otdelenie «Nef' i gaz» MAI, 308.
4. Gurevich, I. L. (1972). Tekhnologiya pererabotki nef'ti i gaza. Vol. 1. Moscow: Himiya, 360.
5. DSTU 7687:2015. Benzyny avtomobilni Yevro. Tekhnichni umovy (2015). Kyiv.
6. ISO 20846:2011. Petroleum products – Determination of sulfur content of automotive fuels – Ultraviolet fluorescence method (2011). International Organization for Standardization, 2011.
7. Chernyh, V. P., Zimenkovskiy, B. S., Gricenko, I. S.; Chernyh, V. P. (Ed.) (2007). Organicheskaya himiya. Kharkiv: Izd-vo NFaU; Original, 765.
8. DSTU ISO 20847:2009. Naftoproducty. Vyznachennia vmistu sirky v avtomobilnomu palnomu metodom renthenofluorescentnoi spektroskopii z dyspersiyeiu za enerhiyamy (ISO 20847:2004, IDT) (2009). Derzhavnyi standart Ukrainy.
9. DERZhREleSTR ZVT. Available at: <http://www.ukrcsm.kiev.ua/index.php/ru/services-ua/metrology-ua/registry-metrology-ua>
10. Novikov, E. A. (2008). Opredelenie sery v nefteproduktah. Obzor analiticheskikh metodov. Mir nefteproduktov, 1, 1–39.
11. Homola, J., Koudela, I., Yee, S. S. (1999). Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison. Sensors and Actuators B: Chemical, 54 (1-2), 16–24. doi: [10.1016/S0925-4005\(98\)00322-0](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(98)00322-0)
12. Gupta, G., Kondoh, J. (2007). Tuning and sensitivity enhancement of surface plasmon resonance sensor. Sensors and Actuators B: Chemical, 122 (2), 381–388. doi: [10.1016/j.snb.2006.06.005](https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.06.005)
13. Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2011). Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors. Laser & Photonics Reviews, 5 (4), 571–606. doi: [10.1002/lpor.201000009](https://doi.org/10.1002/lpor.201000009)
14. Dorozhynskiy, H. V., Maslov, V. P., Ushenin, Yu. V. (2016). Sensorni prylyady na osnovi poverkhnevoho plazmonnoho rezonansu. Kyiv: NTUU «KPI» vydav. «Politekhnika», 264.

Надійшла (received) 25.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Виявлення сірки в нафтопродуктах методом поверхневого плазмонного резонансу/ Радов Д. Г., Маслов В. П., Дорожинський Г. В., Дорожинська Г. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 75–79.– Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Выявление серы в нефтепродуктах методом поверхностного плазмонного резонанса/ Радов Д. Г., Маслов В. П., Дорожинский Г. В., Дорожинская А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 75–79.– Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Identification of sulfur in petroleum products using surface plasmon resonance/ Radov D., Maslov V., Dorozinsky G., Dorozinska H. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 33 (1255).– P. 75–79.– Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Радов Денис Георгійович – працівник ДК «Укроборонпром»; вул. Дегтярівська, 36, м. Київ, Україна, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Володимир Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинський Гліб Вячеславович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Дорожинська Ганна Василівна – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних систем та технології екологічного моніторингу; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: annakushnir30@ukr.net.

Радов Денис Георгиевич – работник ГК «Укроборонпром»; ул. Дегтярёвская, 36, г. Киев, Украина, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Маслов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Дорожинский Глеб Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Дорожинская Анна Васильевна – аспірант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», аспірант кафедры информационно-измерительных систем и технологии экологического мониторинга; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: annakushnir30@ukr.net.

Radov Denys – eng. SC “Ukroboronprom”; 36 Dehtiarivska str., Kyiv, Ukraine, 04119; e-mail: Denis.Radov@ukroboronprom.com.

Maslov Volodymyr – Dr.Sc., Prof., head of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028; e-mail: vpmaslov@ukr.net.

Dorozinsky Glib – PhD, senior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Dorozinska Hanna – graduate student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", graduate student of the Department of Information and Measurement Systems and Technology of Environmental Monitoring, Peremogy ave., 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: annakushnir30@ukr.net.