

УДК 681.12

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ МАСОВИХ ЧАСТОК КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ

*Й.Й. Білинський, Б.П. Книш**

*Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21012,
тел.: (0432)27-22-24, e-mail tutmos-3@i.ua*

Проведено експериментальні дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який дозволяє визначати не тільки вміст пропану й бутану, але й ненасичених вуглеводнів, проаналізовано зміну основних вимірювальних величин та їх відносних похибок.

Ключові слова: скраплений нафтовий газ, масова частка, пропан, бутан, ненасичені вуглеводні.

Проведено экспериментальные исследования средства измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, который позволяет определять не только содержание пропана и бутана, но и ненасыщенных углеводородов, проанализированы изменения основных измеряемых величин и их относительных погрешностей.

Ключевые слова: сжиженный нефтяной газ, массовая доля, пропан, бутан, ненасыщенные углеводороды.

There was done experimental research of measuring mass fraction control components liquefied petroleum gas, which can determine not only the content of propane and butane, but unsaturated hydrocarbons and analyzed major change measured values and their relative errors.

Keywords: liquefied petroleum gas, the mass fraction, propane, butane, unsaturated hydrocarbons.

Вступ

На сьогодні знаходить широке використання скраплений нафтовий газ як паливо в двигунах автомобільного транспорту, так і установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів. Скраплений нафтовий газ – це суміш пропану (C_3H_8), бутану (C_4H_{10}) і ненасичені вуглеводні – етилен, пропілен, бутилен, амілен, гексилен, гептилен тощо [1].

Аналіз сучасних методів та засобів дослідження масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [2 – 8] показує, що їхніми основними недоліками є висока вартість, складність процесу вимірювання та низька точність, що пов'язана з визначенням співвідношення лише суміші пропан-бутан, тоді як наявність ненасичених вуглеводнів не враховується.

На основі методу визначення масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [2] запропоновано засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [9], за допомогою якого можна визначати не тільки вміст пропану й бутану, але й ненасичених вуглеводнів.

Таким чином, метою роботи є розробка методики та проведення експериментальних досліджень засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

Основна частина

Дослідження розробленого засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, зовнішній вигляд якого показаний на рис. 1, вимагає проведення підготовки проб згідно відомих методик [10, 11], налаштування та з'єднання всіх елементів засобу.

Дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу проводилось з використанням модельних рідинних систем у якості еталонів, що дозволяє проводити дослідження скрапленого нафтового газу в лабораторних умовах, шляхом перенесення дослідження з газу на модельну систему. Це пов'язано з тим, що скраплений газ представляє собою двофазне середовище, яке складається з киплячої рідини та сухих насичених парів, що перебувають у рівноважному стані, а процеси випаровування та конденсації протікають при

постійному тиску і температурі [12]. Дослідження такого середовища вимагає спеціальних високоточних засобів вимірювання або проведення моделювання у формі використання модельних систем на основі

подібності скрапленого нафтового газу до певних вуглеводнів, зокрема гексану, ізооктану та толуолу.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

Таким чином дослідження роботи засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу проводилось згідно алгоритму:

1. Приготувати пробу розчину гексану, масова частка w_2^p якого відповідає пропану в скрапленому нафтовому газі в межах, встановлених згідно ГОСТів та ДСТУ [13, 14], шляхом додавання до чистого гексану масою m_2^u розчинника масою m_1^p

$$m_1^p = \frac{100\% \cdot m_2 - w_2^p \cdot m_2^u}{w_2^p} \quad (1)$$

де m_2 – маса чистого гексану.

2. Приготувати пробу розчину ізооктану, масова частка w_i^p якого відповідає бутану в скрапленому нафтовому газі в межах, встановлених згідно ГОСТів та ДСТУ [13, 14], шляхом додавання до чистого ізооктану масою m_i^u розчинника масою m_2^p

$$m_2^p = \frac{100\% \cdot m_i - w_i^p \cdot m_i^u}{w_i^p}, \quad (2)$$

де m_i – маса чистого ізооктану.

3. Приготувати пробу розчину толуолу, масова частка w_m^p якого відповідає ненасиченим вуглеводням в скрапленому нафтовому газі в межах, встановлених згідно ГОСТів та ДСТУ [13, 14], шляхом додавання до чистого толуолу масою m_m^u розчинника масою m_3^p

$$m_3^p = \frac{100\% \cdot m_m - w_m^p \cdot m_m^u}{w_m^p}, \quad (3)$$

де m_m – маса чистого толуолу.

4. Визначити скільки частин гексану n_2 , ізооктану n_i та толуолу n_m потрібно брати для приготування проби модельної рідинної системи:

$$\begin{cases} n_2 = 100\% - w_2^p; \\ n_i = 100\% - w_i^p; \\ n_m = 100\% - w_m^p. \end{cases} \quad (4)$$

5. Визначити масу m однієї частини, яка є складовою маси модельної рідинної системи m_{mrc} :

$$m = \frac{m_{mrc}}{n_2 + n_i + n_m}. \quad (5)$$

6. Визначити маси гексану m_2 , ізооктану m_i та толуолу m_m для приготування модельної рідинної системи в співвідношенні, яке відповідає масовим часткам компонентів скрапленого нафтового газу згідно ГОСТів та ДСТУ [13, 14]

$$\begin{cases} m_2 = n_2 \cdot m; \\ m_i = n_i \cdot m; \\ m_m = n_m \cdot m. \end{cases} \quad (6)$$

7. Визначити значення показника заломлення проби модельної рідинної системи за допомогою формули

$$n = 1,3497 - \frac{9,591}{RT\rho(\eta P)^{-1} + 9,5}, \quad (7)$$

де R – універсальна газова стала; M – молярна маса; M_r – молекулярна маса; η – коефіцієнт пропорційності (10^{-3} кг/моль); P – тиск скрапленого нафтового газу при температурі T .

8. Перевірити значення показника заломлення проби за допомогою рефрактометра RFM340+ [15] при відповідних температурах;

9. Визначити значення густини проби модельної рідинної системи при відповідних значеннях показника заломлення та температури [2];

10. Відкрити вентилі оптико-електронного вимірювального перетворювача;

11. Заповнити попередньо охолоджену спеціальну кювету оптико-електронного вимірювального перетворювача пробую модельної рідинної системи;

12. Контролювати по мірнику рівень заповненості спеціальної кювети;

13. Закрити вентилі;

14. Під'єднати кабель до оптико-електронного вимірювального перетворювача від мікропроцесорного блоку;

15. Увімкнути засіб;

16. Виконати записи показів тиску та температури, які показує індикатор температурного блоку;

17. Проводити нагрівання модельної рідинної системи за допомогою температурного блоку до найближчої заданої температури;

18. Виконати записи показів масових часток, які показує індикатор блоку вимірювання;

19. В разі потреби точнішого виміру масових часток компонентів модельної рідинної системи, повторити процедуру нагрівання та індикації масової частки для наступної заданої температури.

Дослідження розробленого засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу проводилося з використанням модельної рідинної системи при температурі 20°C та тиску в одну атмосферу, причому густини компонентів модельної рідинної системи, а саме гексану, ізооктану та толуолу, за допомогою мікропроцесорного блоку зіставляються з компонентами скрапленого нафтового газу – пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів.

На рисунку 2 наведено приклад експериментальних досліджень з використанням 6 точок вимірювань при температурах -4°C, 4°C та 12°C в діапазоні від 550 кг/м³ до 580 кг/м³, які представляють собою 4 значення коду АЦП, що відповідають модельній рідинній системі, взятій при різних співвідношеннях гексану, ізооктану та толуолу, а саме – 41%/53%/6% та 40%/60%/0%, тобто співвідношення компонентів, які близькі за значеннями густин. Отримано збіжність теоретичної та експериментальної характеристики. Похибка моделі не перевищує 8%.

Також за допомогою засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу проводились вимірювання масових часток компонентів проби модельної рідинної системи, яка містить 41% гексану, 53% ізооктану та 6% толуолу, при температурі 12°C та тиску в 1,6 МПа протягом 1 хв, що дозволило отримати 180 точок вимірювання.

Результати експериментальних досліджень у вигляді зміни масових часток гексану, ізооктану та толуолу в часі показано на рисунках 3, 5, 6, відповідно, а зміни відносної похибки вимірювання масових часток гексану, ізооктану та толуолу в часі – рисунки 4, 6, 7, відповідно.

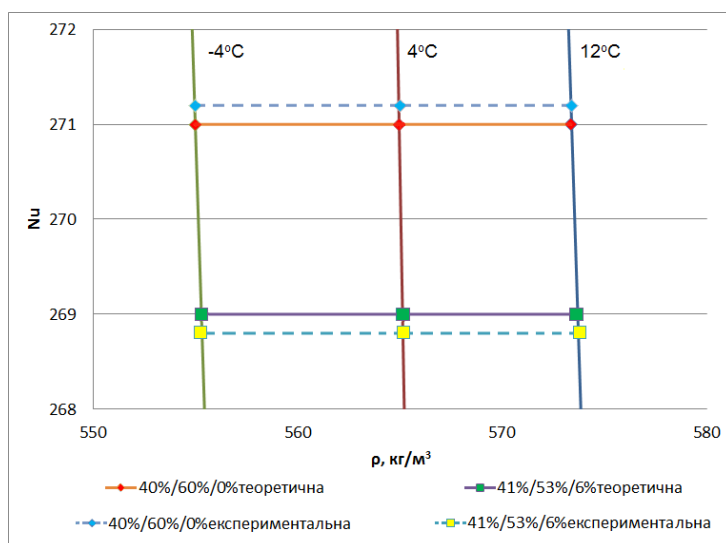


Рисунок 2 – Теоретичні та експериментальні характеристики густин від температури для декількох співвідношень масових часток компонентів проби модельної рідинної системи.

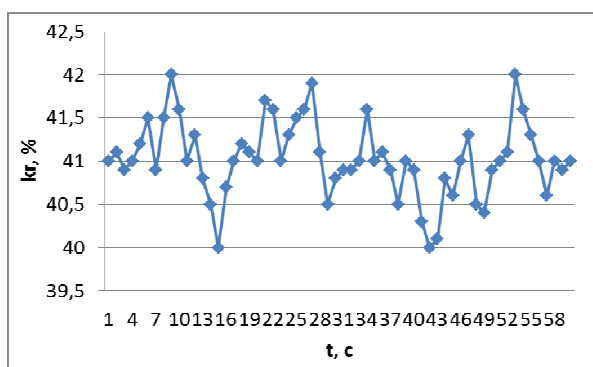


Рисунок 3 – Зміна масової частки гексану в часі.

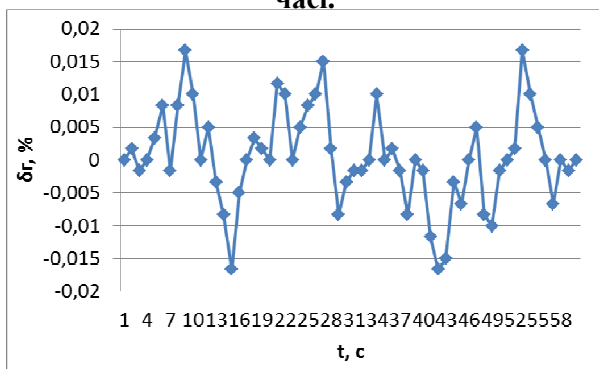


Рисунок 4 – Зміна відносної похибки вимірювання масової частки гексану в часі.

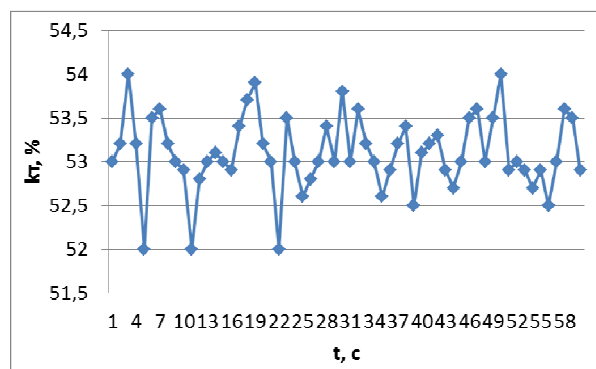


Рисунок 5 – Зміна масової частки ізооктану в часі.

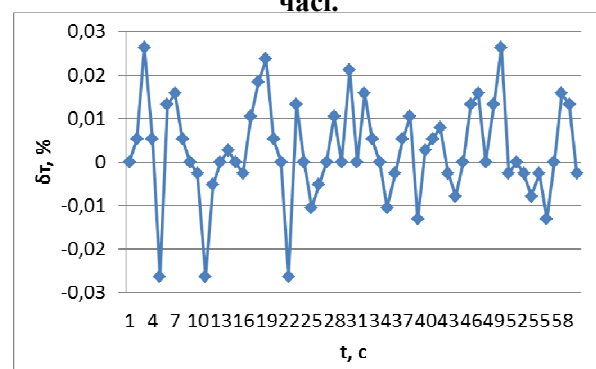


Рисунок 6 – Зміна відносної похибки вимірювання масової частки ізооктану в часі.

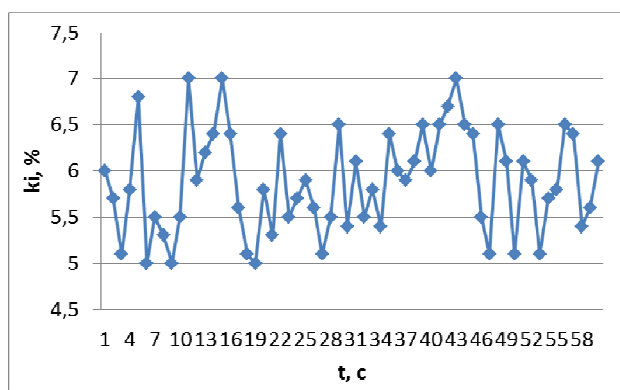


Рисунок 7 – Зміна масової частки толуолу в часі.

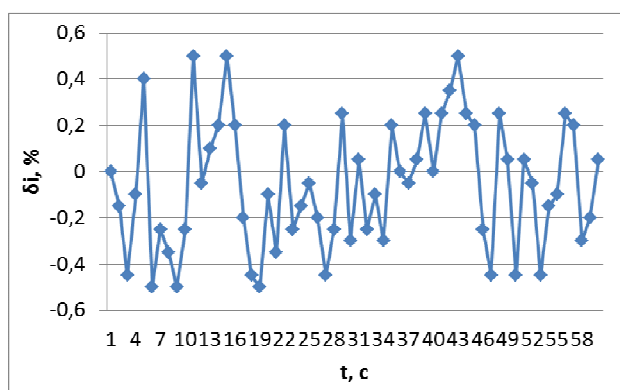


Рисунок 8 – Зміна відносної похибки вимірювання масової частки толуолу в часі.

Основні статичні характеристики для отримання результатів вимірювання масових часток компонентів проби модельної рідинної системи наведені в таблиці 1.

Нормальний закон розподілу контрольованої величини, а саме масової частки k , описується виразом

$$p(k) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(k - k_n)^2}{2\sigma_k^2}\right], \quad (8)$$

На рисунку 9 наведено закони розподілу, побудовані на основі експериментальних досліджень: гексану (рис. 9, а); ізооктану (рис. 9, б); толуолу (рис. 9, в); відносної похибки вимірювання масової частки гексану (рис. 9, г); відносної похибки вимірювання масової частки ізооктану (рис. 9, д); відносної похибки

де σ_k – середньоквадратичне відхилення значення масової частки; k_n – номінальне значення масової частки.

Таблиця 1 – Статичні характеристики похибки вимірювання масових часток компонентів проби модельної рідинної системи

Найменування характеристики	Гексан	Ізооктан	Толуол
Кількість значень	60	60	60
Мінімальне значення, %	59	37	2,1
Максимальне значення, %	60,9	39,9	3
Середнє арифметичне, %	59,82	37,67	2,51
Середньоквадратичне відхилення, %	0,53	0,52	0,33
Абсолютна похибка, %	-0,18	-0,33	0,51

Нормальний закон розподілу контрольованої величини, а саме відносної похибки вимірювання масової частки δ , описується виразом

$$p(\delta) = \frac{1}{\sigma_\delta \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\delta - \delta_n)^2}{2\sigma_\delta^2}\right], \quad (9)$$

де σ_δ – середньоквадратичне відхилення значення відносної похибки вимірювання масової частки; δ_n – номінальне значення відносної похибки вимірювання масової частки. Сумісний закон розподілу масової частки та відносної похибки її вимірювання запишеться як

$$P(k, \delta) = p(k) \cdot p(\delta) = \frac{1}{\sigma_k \cdot \sigma_\delta \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(k - k_n)^2}{2\sigma_k^2} - \frac{(\delta - \delta_n)^2}{2\sigma_\delta^2}\right]. \quad (10)$$

вимірювання масової частки толуолу (рис. 9, е); сумісний закон розподілу гексану (рис. 9, ж); сумісний закон розподілу ізооктану (рис. 9, к); сумісний закон розподілу толуолу (рис. 9, л). Закон розподілу отримано на основі серії з 60 вимірювань.

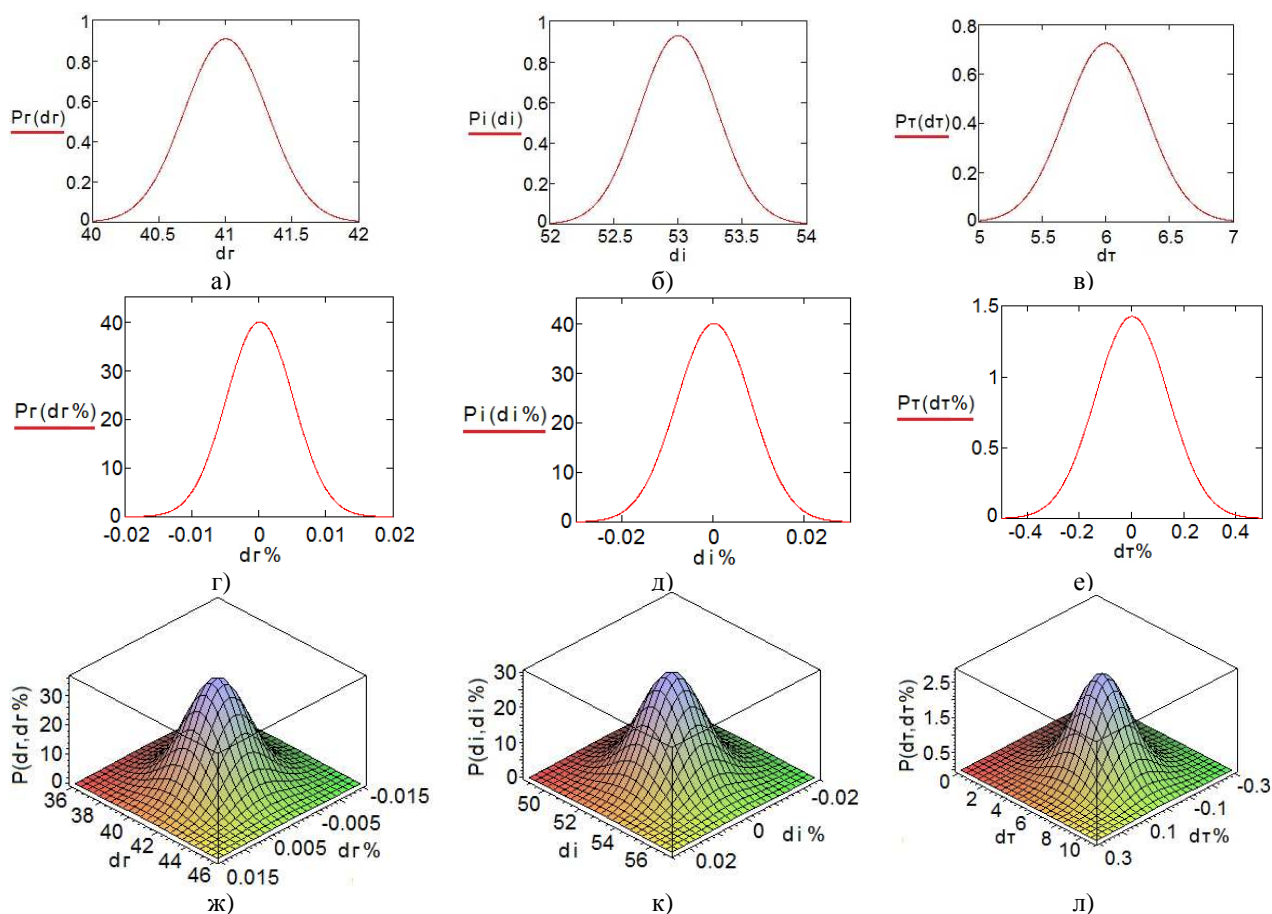


Рисунок 9 – Закони розподілу: а – гексану; б – ізооктану; в – толуолу; г – відносної похибки вимірювання масової частки гексану; д – відносної похибки вимірювання масової частки ізооктану; е – відносної похибки вимірювання масової частки толуолу; ж – сумісний для гексану; к – сумісний для ізооктану; л – сумісний для толуолу.

Таким чином, на основі проведених досліджень макетного зразка засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, можна зробити висновок про його відповідність поставленим вимогам, оскільки розроблений засіб внаслідок врахування масової частки ненасичених вуглеводнів дав змогу підвищити вірогідність контролю на 10% та зменшити загальну похибку співвідношення суміші пропан-бутан на 1%. Крім того, розроблений засіб має меншу вартість, вагу та тривалість вимірювання.

Висновок

В роботі запропоновано методику та проведено експериментальні дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, на основі яких встановлено, що внаслідок врахування масової частки ненасичених вуглеводнів підвищується вірогідність контролю на 10%, а загальна похибка

суміші пропан-бутан зменшується на 1%.

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с. 2. Білінський Й.Й. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, М.В. Гладішевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №1. – С. 112 – 119. 3. Білінський Й.Й. Визначення кількісного вмісту компонентів парової фази скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – №1. – С.163 – 167. 4. Книш Б.П. Дослідження кількісного вмісту скрапленого газу шляхом використання модельних рідинних систем / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, М.И. Юкиш // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2014. №4/1(18). – С. 23 – 26. 5. Розробка оптичного сенсора концентрації газу: (підсумки 40-ї регіональна науково-

технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету) [Електронний ресурс] / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // Матеріали конференції – 2011. – С. 1. – Режим доступу до журн. : <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2011/inrtzp/txt/knysh.pdf>. 6. Пат. 61667 Україна, МПК G01N 21/81. Оптичний сенсор концентрації газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П., Гладичевський В.Р. - № 201100013; заяв. 04.01.11; опубл. 27.07.11, Бюл. №4. 7. Білинський Й.Й. Інфрачервоний триканальний сенсор концентрації газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш, К.Ю. Іоніна // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – №6. – С. 41 – 49. 8. Пат. 68725 Україна, МПК G01N 21/01. Оптичний сенсор концентрації газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П. - № 201110898; заяв 12.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. 9. Білинський Й.Й. Аналізатор кількісного вмісту скрапленого нафтового газу та дослідження його статичних метрологічних характеристик / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш, В.П. Білинська // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2015. – №4. 10. Способы приготовления растворов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://konspekta.net/lek-3597.html>. 11. Решетникова В.Н., Занина М.А., Смирнова Е.Б.

Методы приготовления специальных растворов и сред / В. Н. Решетникова, М. А. Занина, Е. Б. Смирнова. – Балашов : Николаев, 2007. – 48 с. 12. Агуров П.В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования / П.В. Агуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 576 с. 13. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия : ГОСТ Р 52087-03. – М. : Миннефтехимпром РФ, 2003. – 12 с. 14. Газы углеводні скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови: ДСТУ 4047-01. – К. : Національний стандарт України, 2001. – 13 с. 15. Рефрактометр лабораторный Серия RFM300+ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ecoinstrument.com.ua/katalog/refraktometry/refraktometr-laboratornyj-seriya-rfm300>.

Поступила в редакцію 11.04.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О.Є., докт. техн. наук, проф. Райтер П.М.