

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

КНИШ БОГДАН ПЕТРОВИЧ

УДК 621.386

**ТЕРМООПТИЧНИЙ МЕТОД І ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОГО
КОНТРОЛЮ КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу
речовин

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Білинський Йосип Йосипович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електроніки та наносистем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Теплюх Зеновій Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри автоматизації теплових і хімічних процесів

доктор технічних наук, професор
Середюк Орест Євгенович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції»

Захист відбудеться « 1 » липня 2016 року о 12:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий « 30 » травня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

К.В. Огородник

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

На сьогодні знаходить широке використання скраплений нафтовий газ як паливо в двигунах автомобільного транспорту та установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів. При цьому спостерігається неперервне зростання об'ємів споживання цього виду палива, як наслідок постає задача підвищення його якості. Одним із шляхів її вирішення є контроль масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, оскільки різні масові та об'ємні співвідношення його складових призводять до зміни основних характеристик скрапленого нафтового газу, зокрема тепловіддачі, складу викидів після згорання тощо.

Відомими методами вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу є хроматографічний, хімічний, радіохвильовий, радіочастотний, піролізу, гідростатичного зважування, випаровування та охолодження. Основними їх недоліками є складність реалізації процесу вимірювання, його висока вартість та низька точність. Наприклад, похибка методу гідростатичного зважування складає 5%, піролізу – 5...10%, радіохвильового та радіочастотного – 4%. Це пов'язано з визначенням співвідношення лише суміші пропан-бутан, тоді як наявність ненасичених вуглеводнів не враховується.

На основі проведеного аналізу особливостей компонентного складу скрапленого нафтового газу встановлено, що на сьогодні існують декілька марок скрапленого нафтового газу залежно від основних його компонентів. Наприклад, в пропан-бутані автомобільному частка пропану може коливатись в діапазоні від 40% до 60%, бутану – від 34% до 60%, ненасичених вуглеводнів – від 0% до 6%. Вихід масової частки хоча б одного з компонентів скрапленого нафтового газу за межі зазначених діапазонів відображається на його якості. Це в кінцевому результаті веде до значних економічних збитків. Тому вимірювальний контроль масових часток компонентів скрапленого нафтового газу надзвичайно важливий, оскільки нормоване співвідношення масової частки кожного із компонентів визначає не лише марку, але й якість скрапленого нафтового газу.

Таким чином, з огляду на безупинний розвиток промисловості та високі вимоги щодо якості газу в стандартах, а, відповідно, й до вимірювального обладнання, важливим та актуальним постає завдання розробки сучасних методів і засобів вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Науковою базою дисертації стали результати, отримані в процесі виконання науково-дослідних робіт, які здійснювалися за планами наукових досліджень ВНТУ та МОНУ за фаховим напрямком «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства». Основні результати дисертаційної роботи отримані у ході виконання автором на посаді відповідального виконавця держбюджетної теми "Засоби експрес-аналітичного контролю якості скрапле-

ного нафтового та природного газів" (№ держ. реєстрації 0113U003134), яка проводилась на кафедрі електроніки ВНТУ.

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є підвищення вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який перебуває при різних температурах, шляхом знаходження значення густин рідкої фази.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи та засоби вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.
2. Розробити термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.
3. Розробити методіку модельних рідинних систем.
4. Розробити засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.
5. Отримати аналітичні залежності для оцінювання основних статичних метрологічних характеристик та впливних величин на вимірювальний канал засобу контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.
6. Виконати експериментальні дослідження засобу та оцінити вірогідність контролю.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії світлового випромінювання зі скрапленим нафтовим газом, який перебуває при різних температурах.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

Методи дослідження.

При виконанні поставлених задач використовувались: основи теорії вимірювального перетворення неелектричних величин для розробки математичної моделі оптико-електронного вимірювального перетворювача; методи математичного, фізичного та комп'ютерного моделювання з використанням середовищ Matlab та Maple при дослідженні термооптичного методу та засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу; основи теорії ймовірності і випадкових процесів для дослідження вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу; методи математичної статистики при обробці результатів вимірювань під час дослідження повторюваності результату; основи теорії вимірювань і похибок для оцінювання метрологічних характеристик запропонованого засобу.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна полягає в отриманні наступних результатів.

1. Вперше запропоновано термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який базується на відмінностях у температурних залежностях показників заломлення, а, отже, густин компонентів скрапленого нафтового газу, при цьому результатом вимірювання є числові значення показників заломлення і, відповідно, густини рідкої фази скрапленого нафтового газу при декількох різних температурах, що дозволило за апіорно відомими значеннями густин компонентів скрапленого

нафтового газу при цих температурах визначити їхні масові частки та підвищити вірогідність контролю на 10%.

2. Удосконалено функцію вимірювального перетворення показника заломлення скрапленого нафтового газу, що однозначно пов'язує вхідну величину – значення показника заломлення скрапленого нафтового газу при заданій температурі й тиску та вихідну – значення диференціальної напруги, отриманої в результаті проходження світлового випромінювання через спеціальну кювету зі скрапленим газом і детектованої складеним фотоприймачем внаслідок зміщення світлової плями, один із каналів якого є опорним для стабілізації випромінювання, що дозволило зменшити зведену похибку вимірювання в 1,2 рази.

3. Отримала подальший розвиток математична модель засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, яка на основі отриманих значень напруги, що пов'язані з показниками заломлення, а, отже, густинами скрапленого нафтового газу при заданих температурах і апріорно відомих залежностях масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, які відповідають отриманим значенням густин, дає змогу визначити масові частки компонентів скрапленого нафтового газу та підвищити вірогідність контролю до рівня 0,97.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблено засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який дозволяє проводити контроль масових часток пропану й бутану;

- розроблено методику підготовки проб модельної рідинної системи;

- розроблено методику проведення експериментальних досліджень засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;

- розроблено алгоритм вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;

- запропоновано рекомендації з проектування засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, які включають вибір джерела та приймача випромінювання, засобів нагрівання вимірювального середовища та контролю процесу вимірювання.

Окремі практичні результати дисертаційного дослідження (засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу) впроваджено на підприємствах Департаменту енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради, про що свідчить відповідний акт (акт від 23 червня 2014 р.) та у ТОВ ВКФ «СЕНС ЛТД», про що свідчить відповідний акт (акт від 20 жовтня 2015 р.), теоретичні та практичні положення роботи впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті для виконання лабораторних робіт та проведення лекційних занять для студентів за напрямками підготовки 6.050801 – «Мікро- та наноелектроніка» та 6.050802 – «Електронні пристрої та системи» з дисциплін «Електронні комп'ютерні системи», «Електронні сенсори та перетворювальні прилади» та «Електронні системи» (акт від 15 грудня 2015 р.).

Особистий внесок здобувача.

Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: проаналізовано методи експертно-аналітичного контролю якості скрапленого нафтового газу [1, 17], проаналізовано оптичні методи дослідження фізико-хімічних параметрів газу [2, 18], проаналізовано оптичні методи дослідження густини газу [3, 19], проведено моделювання впливу температур на результати вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [4, 20], розроблено математичну модель стану рідкої фази скрапленого нафтового газу [5, 21], запропоновано використати замість сухого газу уайт-спірит як вуглеводневоподібну сполуку [6, 22], змодельовано схему двоканального сенсора концентрації газу [7, 23], запропоновано використання оберненого зв'язку в конструкції сенсора [24, 38], змодельовано схему триканального сенсора концентрації газу [8, 25], запропоновано додати в конструкцію ще одну кювету [26, 39], запропоновано функцію перетворення двоканального аналізатора вологості газу з оберненим зв'язком [9, 27], проаналізовано проходження променів в плоскому світловоді [10, 28], розроблено методику експериментальних досліджень розробленого аналізатора [11, 29], запропоновано використання екліметра [30, 40], запропоновано проводити вимірювання густини при різних температурних режимах [31, 41], запропоновано проводити вимірювання тиску при різних температурних режимах [32, 42], проведено моделювання співвідношення компонентів парової фази скрапленого нафтового газу в умовах зміни тиску та температури [12, 33], розроблено методику експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи та визначенню її температурної залежності [13, 34], розроблено експериментальну установку на основі функції температурних параметрів [35], запропоновано використання поршня в конструкції спеціальної кювети [36, 43], визначено чутливість засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [15, 37], проведено аналіз статичних метрологічних характеристик [16].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи було апробовано у доповідях на 21 науково-технічній конференції: XL – XLIV регіональні науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області» (м. Вінниця, 2011 – 2015 рр.); 7 – 9 міжнародні науково-технічні конференції "Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій РТ-2011, РТ-2012, РТ-2013" (м. Севастополь, 2011 – 2013 рр.); 5-та міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування СПРТП-2011" (м. Вінниця, 19-21 травня 2011 р.); I та II міжнародні наукові конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка "Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2011, ВКДТС-2013" (м. Вінниця, 2011, 2013 рр.); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні напрямки теоретичних і практичних досліджень» (м. Одеса, 20-31 березня 2012 р.); XVI міжнародно-

дний молодіжний форум "Радиоелектроника и молодежь в XXI веке" (м. Харків, 17-19 квітня 2012 р.); XI та XII Міжнародні конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012, КУСС-2014)» (м. Вінниця, 2012, 2014 рр.); XII – XIV міжнародні науково-технічні конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах ВОТТП-2013, ВОТТП-2014, ВОТТП-2015" (м. Одеса (Затока), 2013 – 2015 рр.); III Науково-технічна конференція «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації» (м. Львів, 25-26 вересня 2014 р.); I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення 2015» (м. Житомир, 17-18 квітня 2015 р.); Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція "Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи (МТН-2015)" (м. Вінниця, 23-26 квітня 2015 р.).

Публікації.

Результати дисертаційної роботи опубліковані в 43 роботах, з них 16 статей у фахових виданнях України, з яких 13 статей входять до міжнародних наукометричних баз, 21 теза доповідей конференцій та 6 патентів України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, списку використаних джерел, який містить 120 найменувань та 13 додатків. Загальний обсяг дисертації 209 сторінок, з яких основний зміст викладений на 102 сторінках друкованого тексту, містить 51 рисунок, 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертації обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету роботи та задачі досліджень. Дана характеристика наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз фізико-хімічних та експлуатаційних показників скрапленого нафтового газу, здійснено експертно-аналітичний контроль скрапленого нафтового газу як галузі промисловості, проаналізовано існуючі методи та засоби вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, визначено їх основні недоліки. На основі використання вдосконаленого критерію оцінки ефективності роботи вимірювальних перетворювачів було встановлено, що найвищий показник ефективності мають вимірювальні перетворювачі оптико-електронного типу.

У другому розділі запропоновано термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, удосконалено функцію вимірювального перетворення показника заломлення скрапленого нафтового газу та проведено її дослідження.

Густина скрапленого нафтового газу, а, отже, його компонентів – пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів, характеризується нелінійною залежністю від температури, оскільки густини складових газу змінюються по-різному. Відомо, що при зміні температури на 1°С густина пропану змінюється на 1,5 кг/м³, бутану – на 1,2 кг/м³, ненасичених вуглеводнів – на 1,05...1,1 кг/м³.

Це означає, що конкретному співвідношенню масових часток компонентів скрапленого нафтового газу відповідає конкретна характеристика залежності густини від температури, яка містить лінійну ділянку. Таку характеристику можна отримати шляхом вимірювання густини скрапленого нафтового газу при декількох різних температурах. Виходячи з умов вимірювання доцільно використати рефрактометричний метод, адже густина скрапленого газу знаходиться у відповідності з його показником заломлення.

На основі вищенаведеного в роботі запропоновано термооптичний метод вимірювального контролю масових часток k_i компонентів скрапленого нафтового газу, який базується на відмінностях у температурних залежностях показників заломлення, а, отже, густин компонентів скрапленого нафтового газу ρ_i . Густину рідкої фази скрапленого нафтового газу можна визначити при певній температурі як

$$\rho_{\text{рід.ф.}} = 1 / \sum \frac{k_i}{\rho_i} .$$

На рис. 1 наведено результати моделювання, що враховують співвідношення масових часток компонентів скрапленого нафтового газу при температурі $T_1 = 274$ К. Як видно з графіка, має місце неоднозначність у визначенні масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, оскільки деякі співвідношення масових часток дають близькі значення загальної густини або ці значення повторюються.

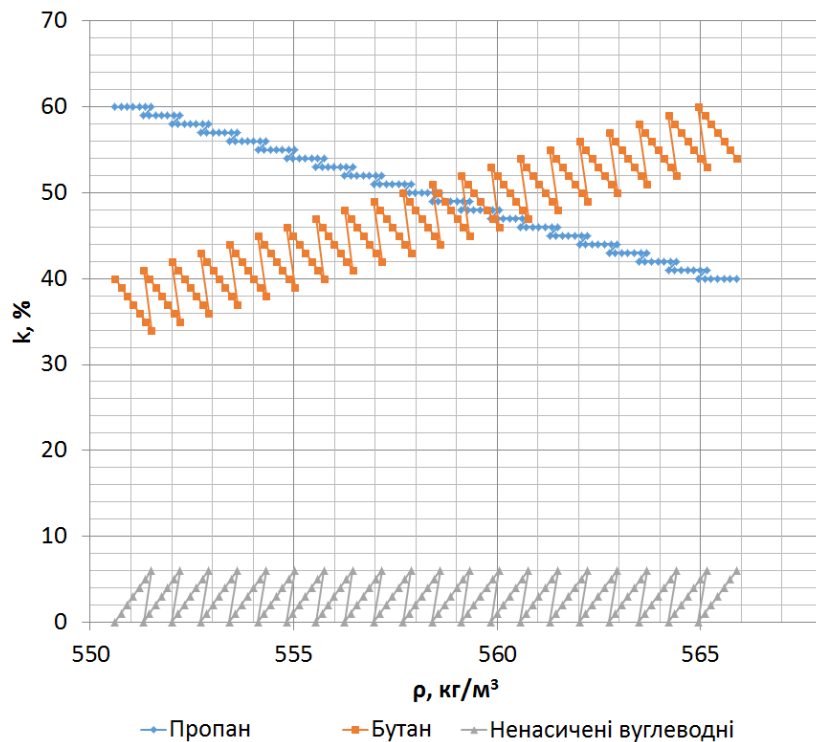


Рисунок 1 – Співвідношення масових часток пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів при температурі T_1

Для усунення неоднозначності запропоновано виконувати вимірювання густини скрапленого нафтового газу при різних температурах. В такому випадку можна записати систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{k_1}{\rho_1^1(T_1)} + \frac{k_2}{\rho_2^1(T_1)} + \frac{k_3}{\rho_3^1(T_1)} = \frac{1}{\rho^1(T_1)}; \\ \frac{k_1}{\rho_1^2(T_2)} + \frac{k_2}{\rho_2^2(T_2)} + \frac{k_3}{\rho_3^2(T_2)} = \frac{1}{\rho^2(T_2)}; \\ \frac{k_1}{\rho_1^3(T_3)} + \frac{k_2}{\rho_2^3(T_3)} + \frac{k_3}{\rho_3^3(T_3)} = \frac{1}{\rho^3(T_3)}, \end{cases} \quad (1)$$

з врахуванням її лінійної температурної залежності

$$\begin{cases} \rho^1 = \rho_0^1(1 - \alpha_1(T - T_0)); \\ \rho^2 = \rho_0^2(1 - \alpha_2(T - T_0)); \\ \rho^3 = \rho_0^3(1 - \alpha_3(T - T_0)), \end{cases}$$

де $\rho_0^1, \rho_0^2, \rho_0^3$ – густини пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів, відповідно, при температурі T_0 ; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коефіцієнти об'ємного розширення пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів, відповідно; k_1, k_2, k_3 – масові частки пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів, відповідно; $\rho_1^1(T_1), \rho_1^2(T_2), \rho_1^3(T_3)$ – густини пропану при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно; $\rho_2^1(T_1), \rho_2^2(T_2), \rho_2^3(T_3)$ – густини бутану при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно; $\rho_3^1(T_1), \rho_3^2(T_2), \rho_3^3(T_3)$ – густини ненасичених вуглеводнів при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно; $\rho^1(T_1), \rho^2(T_2), \rho^3(T_3)$ – густини скрапленого нафтового газу при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно.

Рішення системи рівнянь (1), а також подальші експериментальні дослідження дозволили отримати сімейство характеристик залежності масових часток компонентів скрапленого нафтового газу від густини при різних температурах.

На рис. 2 наведено дві температурні характеристики близьких за значеннями густин скрапленого нафтового газу при різних співвідношеннях масових часток його компонентів. Як видно з графіка, кожна характеристика відповідає конкретному співвідношенню масових часток за рухунок різного кута нахилу.

Таким чином, неоднозначність визначення масових часток компонентів скрапленого нафтового газу можна усунути шляхом проведення вимірювання його густини при декількох різних температурах за апріорно відомими значеннями густин компонентів.

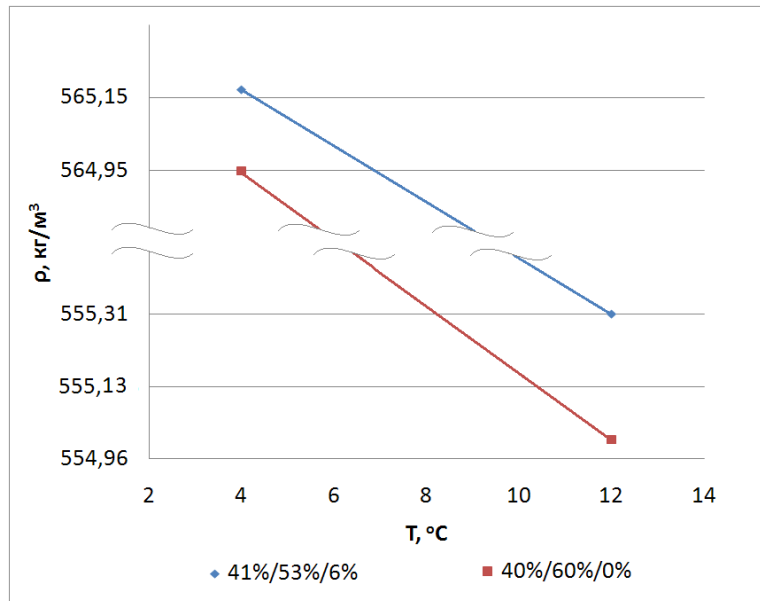


Рисунок 2 – Температурні характеристики близьких за значеннями густин скрапленого нафтового газу при різних співвідношеннях масових часток його компонентів

На основі запропонованого термооптичного методу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу розроблено оптико-електронний вимірювальний перетворювач рефрактометричного типу, структурна схема якого наведена на рис. 3.

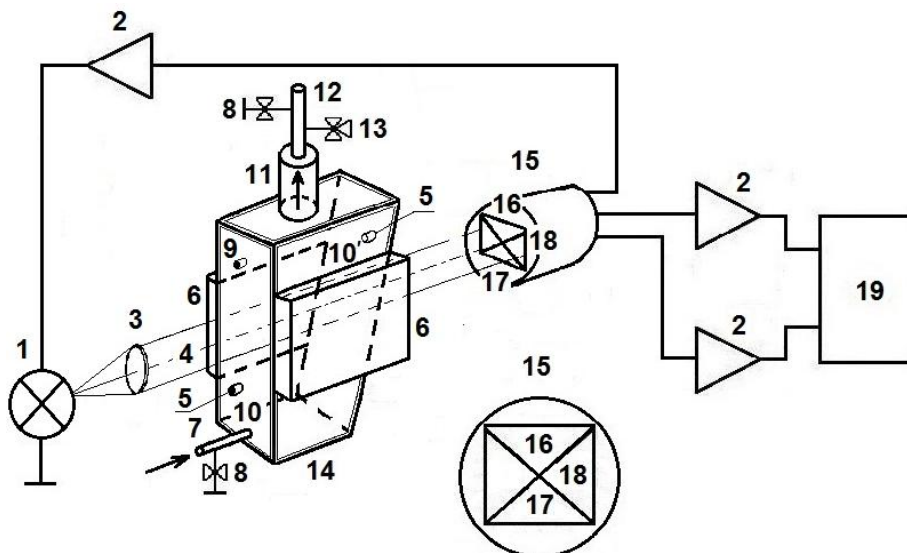


Рисунок 3 – Структурна схема оптико-електронного вимірювального перетворювача: 1 – джерело випромінювання; 2 – підсилювач; 3 – оптична система; 4 – промінь світла; 5 – сенсор температури; 6 – елемент Пельтьє; 7 – вхідний патрубок; 8 – вентилятор; 9 – сенсор тиску; 10, 10' – стінки кювети; 11 – мірник; 12 – вивідний патрубок; 13 – клапан; 14 – спеціальна скляна кювета; 15 – складений фотоприймач; 16 – верхній сегмент; 17 – нижній сегмент; 18 – опорний сегмент; 19 – блок порівняння

Вимірювальний перетворювач містить джерело випромінювання 1, промінь світла 4 від якого фокусується за допомогою оптичної системи 3 та проходить через спеціальну скляну кювету 14, в якій знаходиться скраплений нафтовий газ при певному тиску. Промінь світла, що пройшов через кювету, заломлюється завдяки наявності похилої стінки, та потрапляє у вигляді плями на складений фотоприймач 15, який містить чотири сегменти, один з яких опорний 18, а два інших 16 та 17 дозволяють сформувати диференціальну напругу внаслідок зміщення світлової плями, яке пропорційне показнику заломлення скрапленого нафтового газу. Температура скрапленого газу задається елементами Пельтьє 6 та контролюється сенсорами температури 5.

Вимірювальний перетворювач описується функцією (2)

$$U_{ns} = P_{ex} P_i R_n f_{ns}(S(\Delta x(n(\rho(k))))), \quad (2)$$

де U_{ns} – диференціальна напруга; P_{ex} – потужність сигналу на вході складеного фотоприймача; P_i – струмова чутливість складеного фотоприймача; R_n – опір навантаження; f_{ns} – функція перетворення складеного фотоприймача; S – освітлена площа складеного фотоприймача; Δx – зміщення світлової плями; n – показник заломлення.

Оскільки показник заломлення скрапленого нафтового газу n знаходиться у відповідності з його густиною ρ , то їхній взаємозв'язок можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} n = 1.3497 - \frac{9.591}{M/\eta + 9.5}; \\ \rho = \frac{PM}{RT}, \end{cases} \quad (3)$$

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

Складений фотоприймач, на який потрапляє промінь світла у вигляді світлової плями, дозволяє зареєструвати просторовий розподіл освітленості внаслідок освітлення частини площ S_1 та S_3 протилежних сегментів фотоприймача. Зміщення світлової плями відповідає диференціальній напрузі U_{ns} , утвореній різницею електричних сигналів U_1 та U_3 , отриманих від протилежних сегментів фотоприймача.

Диференціальна напруга визначається як

$$U_{ns} = U_1 - U_3, \quad (4)$$

або

$$U_{ne} = P_{ex} P_i R_n (S_1 - S_3), \quad (5)$$

і пропорційна зміщенню світлової плями Δx

$$U_{ne} = P_{ex} P_i R_n b \Delta x, \quad (6)$$

де b – довжина смужки світла.

На рис. 4 показано оптичну схему оптико-електронного вимірювального перетворювача.

Зміщення світлової плями Δx залежить від показника заломлення скрапленого нафтового газу та визначається як

$$\Delta x = d \cdot \left(\frac{n_2'' \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - (n_2'' \sin \alpha)^2}} - \frac{n_2' \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - (n_2' \sin \alpha)^2}} \right) + l \cdot \left(\frac{n_2'' \sin \alpha}{\sqrt{1 - (n_2'' \sin \alpha)^2}} - \frac{n_2' \sin \alpha}{\sqrt{1 - (n_2' \sin \alpha)^2}} \right), \quad (7)$$

де d – товщина шару скрапленого нафтового газу; l – відстань від складеного фотоприймача до скла; α – кут падіння променя; $n_2' \dots n_2''$ – діапазон зміни показника заломлення скрапленого нафтового газу; n_c – показник заломлення скла.

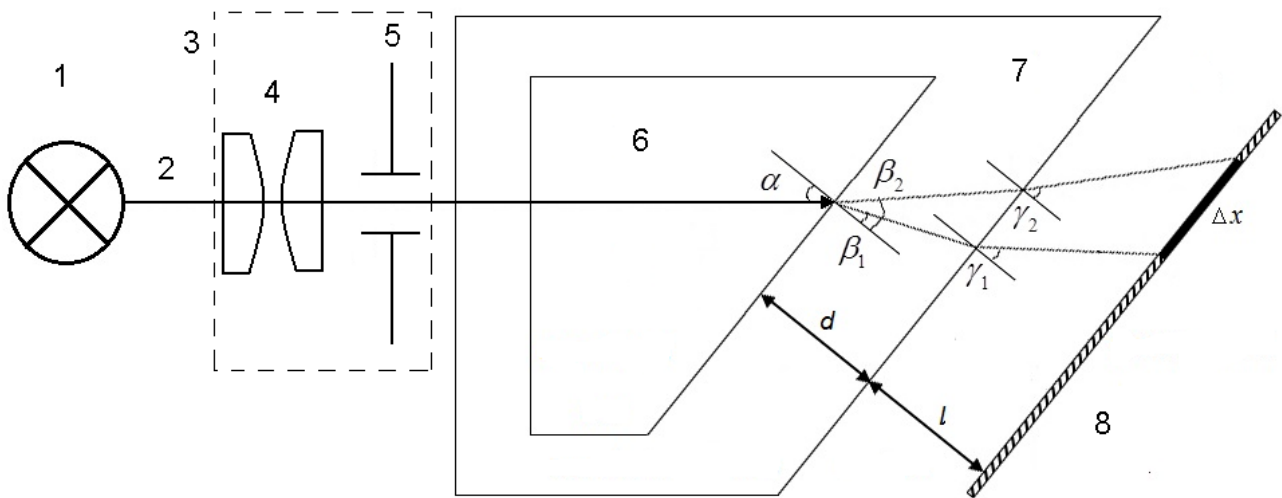


Рисунок 4 – Оптична схема оптико-електронного вимірювального перетворювача: 1 – джерело світла; 2 – промінь світла; 3 – оптична система; 4 – лінзи; 5 – діафрагма; 6 – скраплений нафтовий газ; 7 – скляна кювета; 8 – фотоприймач

В роботі ставилося завдання отримати однакову температуру по всьому об'єму скрапленого нафтового газу. Тому проведено моделювання процесу поширення теплоти в об'ємі скрапленого нафтового газу. Результати моделювання наведено на рис. 5.

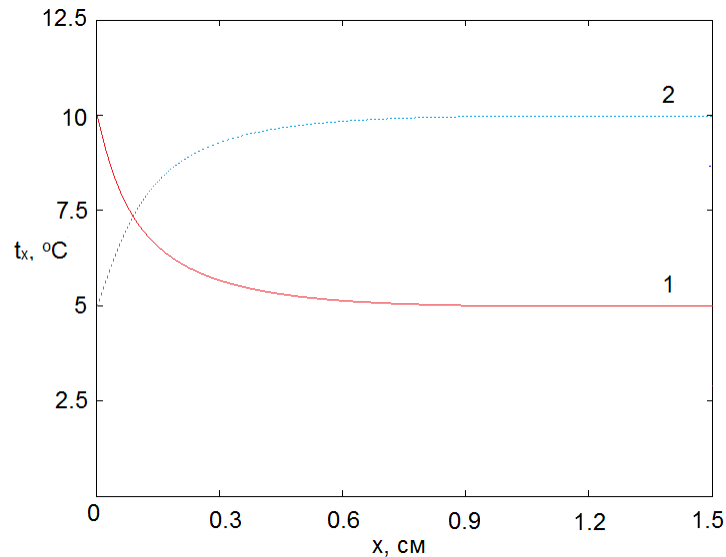


Рисунок 5 – Розподіл температури t_x в об'ємі скрапленого нафтового газу: 1 – від елемента Пельтьє до середини кювети; 2 – від середини кювети до елемента Пельтьє

Встановлено, що найбільш оптимально використати в конструкції кювети два елемента Пельтьє, розташованих на протилежних гранях кювети. Це дає змогу досягнути однакою температуру по всьому об'єму скрапленого нафтового газу. Данний розподіл контролюють сенсори температури, які розташовані на різних рівнях протилежних граней кювети.

Як показано на рис. 6, температура скрапленого нафтового газу здійснює суттєвий вплив на вихідну диференціальну напругу вимірювального перетворювача.

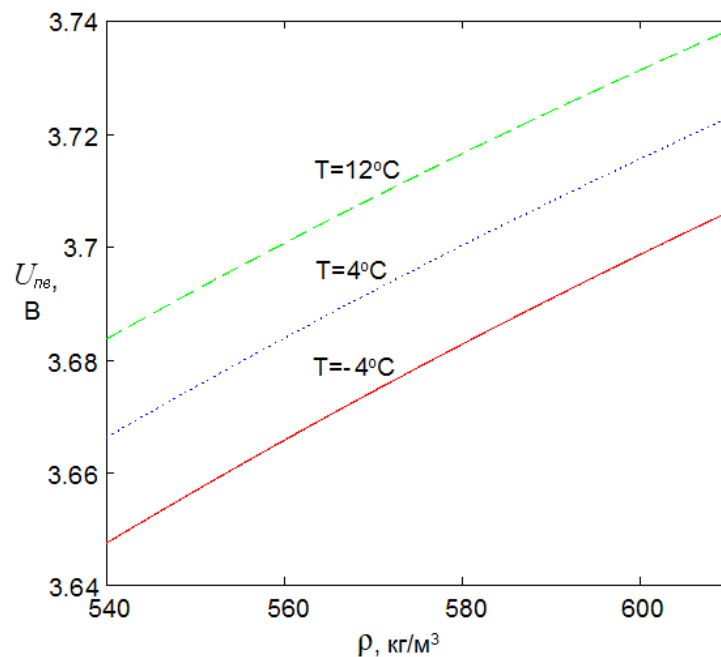


Рисунок 6 – Залежність диференціальної напруги вимірювального перетворювача від густини скрапленого нафтового газу

Встановлено, що чутливість оптико-електронного вимірювального перетворювача дозволяє реєструвати близькі значення густини скрапленого нафтового газу за рахунок проведення вимірювання при різних температурах.

У **третьому розділі** розглянуто питання розробки засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу та отримано його функцію перетворення. Проаналізовано впливні величини та похибки вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Отримано аналітичні залежності для оцінки статичних метрологічних характеристик вимірювального каналу засобу контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

На рис. 7 наведено структурну схему засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, яка містить оптико-електронний вимірювальний перетворювач 24 та мікропроцесорний пристрій 21, на який надходить вимірювальна інформація про значення густини та температури, а також він керує роботою елементів Пельтьє.

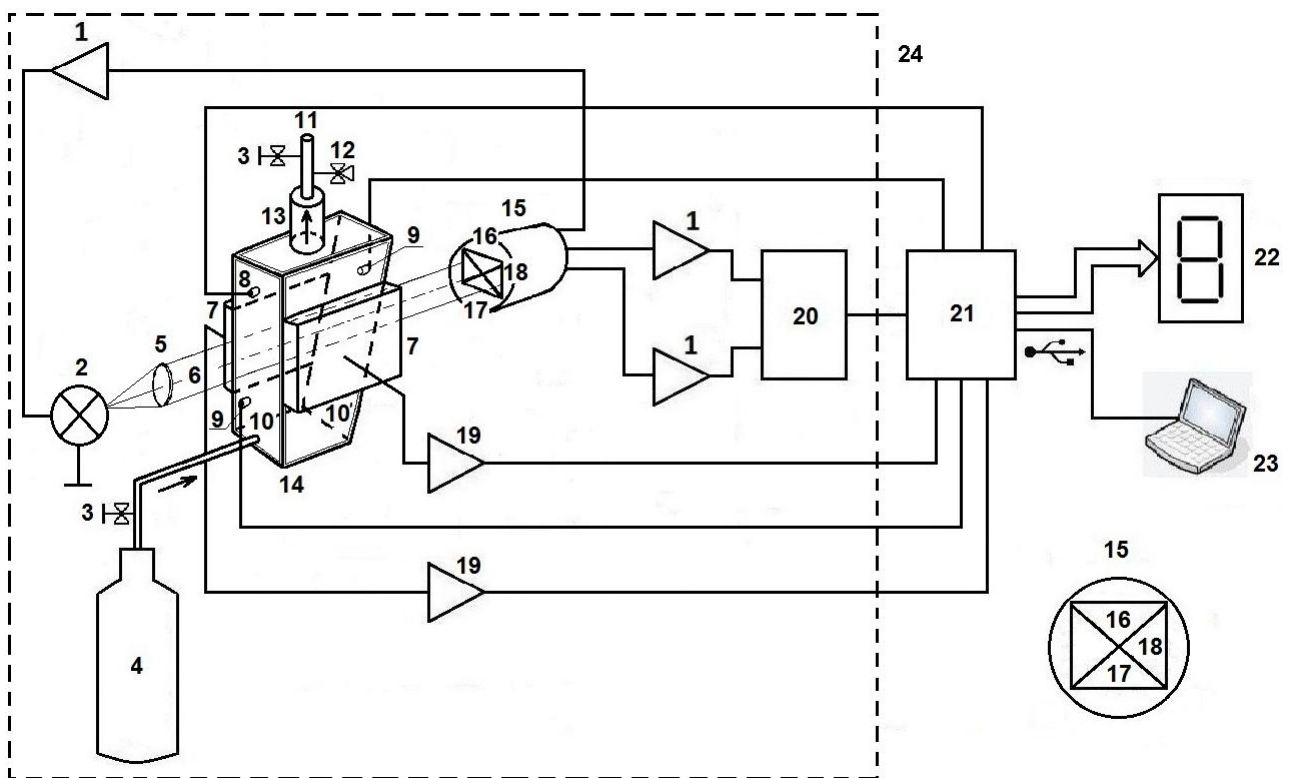


Рисунок 7 – Структурна схема засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу: 4 – балон зі скрапленим нафтовим газом; 21 – мікропроцесорний пристрій; 22 – індикаторне табло; 23 – комп'ютер; 24 – оптико-електронний вимірювальний перетворювач

Математична модель засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу при рівності температур сенсорів ($T_1=T_2$) описується як

$$\begin{cases} N_U = K_n K_{\delta n} (2^{n_0} - 1) \left(1 - \frac{P_{\alpha} P_i R_n b}{U_{on}} \Delta x \right); \\ N_T = \frac{2^{n_0} U_T}{U_{on}}, \end{cases} \quad (8)$$

де N_U – код АЦП, що відповідає вимірювальному каналу засобу; N_T – код АЦП, що відповідає сенсорам температури; U_T – напруга сенсора температури; K_n , $K_{\delta n}$ – коефіцієнти підсилення та перетворення, відповідно; U_{on} – опорна напруга; n_0 – кількість розрядів АЦП.

Проаналізовано похибки вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу та встановлено, що інструментальні похибки можна розділити на такі: похибки сенсорів температури δ_T та тиску δ_P ; похибки елементів Пельтьє δ_n ; фотоприймача $\delta_{\phi n}$; похибка перетворення струму в напругу δ_{IU} ; похибка аналого-цифрового перетворення $\delta_{АЦП}$. Загальна інструментальна похибка буде мати вигляд:

$$\delta_i = \sqrt{\delta_T^2 + \delta_P^2 + \delta_n^2 + \delta_{\phi n}^2 + \delta_{IU}^2 + \delta_{АЦП}^2}, \quad (9)$$

і складає 1,55%.

До методичних похибок відносяться: похибка δ_{nl} нелінійності температурної характеристики густини; похибка δ_{ϕ} , що виникає через виключення із розрахунків показника розсіювання випромінювання; похибка δ_{ne} густини ненасичених вуглеводні; температурна похибка δ_m скла.

Таким чином, загальна методична похибка визначається як

$$\delta_M = \sqrt{\delta_{nl}^2 + \delta_{\phi}^2 + \delta_{ne}^2 + \delta_m^2}, \quad (10)$$

та дорівнює 0,44%.

Загальна похибка вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу не перевищує 2%.

У четвертому розділі наведено рекомендації щодо інженерного проектування засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу та алгоритм його вимірювального контролю. Розроблено методику модельних рідинних систем та проведено експериментальні дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Отримано залежності для розрахунку вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.

Розроблено алгоритм вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Якщо значення вимірюваної густини скрапленого газу при відповідній температурі потрапляє у вимірювальний діа-

пазон густин, то виконується подальше її вимірювання ще при декількох температурах. За визначеною, таким чином, температурною характеристикою встановлюються співвідношення масових часток пропану та бутану. При цьому масові частки ненасичених вуглеводнів не нормуються.

Проведено дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, зовнішній вигляд якого наведений на рис. 8. Дослідження проводились з використанням модельних рідинних систем, оскільки аналогічні дослідження з скрапленим нафтовим газом в лабораторних умовах є досить вартісні та складні. У зв'язку з цим розроблено методику модельних рідинних систем, в якості яких запропоновано використати толуол, ізооктан та гексан, виходячи з близькості їх температурних характеристик до складових скрапленого нафтового газу. Температурні характеристики толуолу, ізооктану та гексану описуються за допомогою рівняння

$$\rho^t = \rho^0(1 + \gamma \cdot (t - t_0)),$$

де ρ^0 – густина гексану, ізооктану та толуолу при температурі $t_0 = 273$ К; ρ^t – густина гексану, ізооктану та толуолу при температурі t ; γ – середня температурна поправка густини.



Рисунок 8 – Зовнішній вигляд засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу

На рис. 9 наведено результати експериментальних досліджень засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Отримано збіжність теоретичної та експериментальної характеристики. Похибка моделі не перевищує 8%.

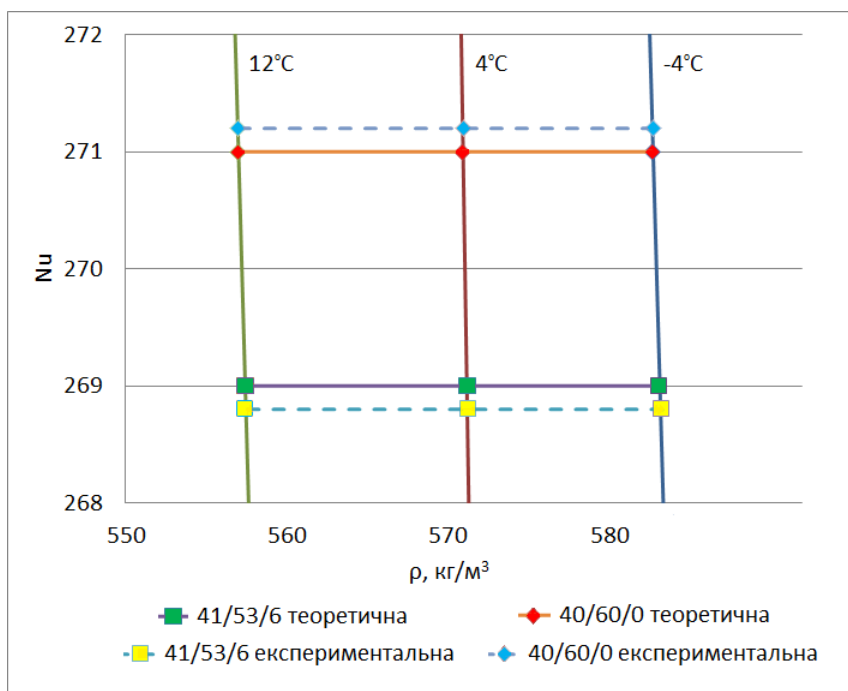


Рисунок 9 – Теоретичні та експериментальні характеристики густини від температури для декількох співвідношень масових часток компонентів скрапленого нафтового газу

За результатами експериментальних досліджень побудовано зміну масових часток компонентів проби модельної рідинної системи та їх відносних похибок у часі. Отримано 180 точок виміру. Наведено залежності загального закону розподілу похибки вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу та встановлено, що закон розподілу є нормальний.

Проаналізовано результати досліджень та отримано залежності помилок першого та другого роду. Вірогідність прийняття засобом вимірювального контролю правильного результату становить $D=0,97$.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В ході виконання роботи розв'язано важливу науково-практичну задачу підвищення точності та вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу на основі використання термооптичного методу.

В загальному по роботі можна зробити такі висновки:

1. Проаналізовано сучасний стан методів та засобів вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Виявлено, що основними методами вимірювального контролю є хроматографічний, хімічний, радіохвильовий, радіочастотний, піролізу, гідростатичного зважування, випаровування та охолодження. Встановлено, що основними недоліками засобів вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу є висока вартість, складність процесу вимірювання та низька точність визначення масових часток суміші пропан-бутан, оскільки наявність ненасичених вуглеводнів не враховується.

2. Розроблено термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який базується на відмінностях у температурних залежностях показників заломлення, а, отже, густин компонентів скрапленого нафтового газу. Результатом вимірювання є числові значення показників заломлення i , відповідно, густини рідкої фази скрапленого нафтового газу при декількох різних температурах. Це дозволило за апіорно відомими значеннями густин компонентів скрапленого нафтового газу цих температур визначити їхні масові частки та підвищити вірогідність контролю на 10%. Встановлено, що оптимальний діапазон вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу знаходиться в діапазоні від -4°C до 12°C .

3. Розроблено методику модельних рідинних систем, для приготування яких запропоновано використати толуол, ізооктан та гексан, виходячи з близькості їх температурних характеристик до складових скрапленого нафтового газу. Це дозволило проводити дослідження скрапленого нафтового газу в лабораторних умовах, шляхом перенесення дослідження з газу на модельну систему.

4. Удосконалено математичну модель засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, яка дозволяє на основі значень напруги, що пов'язані з показниками заломлення, а, отже, густинами скрапленого нафтового газу при заданих температурах і апіорно відомих залежностях масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, які відповідають отриманим значенням густин, визначити масові частки компонентів скрапленого нафтового газу та підвищити вірогідність контролю до рівня 0,97.

5. Отримано аналітичні залежності статичних метрологічних характеристик та оцінено впливні величини на вимірювальний канал засобу контролю. Встановлено, що значення інструментальної похибки становить 1,55%, значення методичної похибки – 0,44%, загальна похибка вимірювань не перевищує 2%.

6. Проведено аналіз результатів експериментальних досліджень засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який показав збіжність теоретичної та експериментальної характеристики. Похибка моделі не перевищує 8%. Наведено залежності загального закону розподілу похибки вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу та встановлено, що закон розподілу є нормальний. Розраховано помилки першого $\alpha=0,025\div 0,005$ та другого роду $\beta=0,0014\div 0,0002$. Вірогідність прийняття засобом вимірювального контролю правильного результату становить 0,97, що на 10% вище, ніж у відомих засобів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Білинський Й.Й. Порівняльна характеристика методів експертно-аналітичного контролю якості скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №5. – С. 142 – 147. – ISSN 1997–9266.

2. Білинський Й.Й. Класифікація оптичних методів дослідження фізико-хімічних параметрів газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Вимі-

рювання та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – №2. – С.52 – 56. – ISSN 2219-9365.

3. Білинський Й.Й. Універсальна класифікація оптичних методів дослідження густини газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №4. – С.23 – 26. – ISSN 1997–9266.

4. Білинський Й.Й. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, М.В. Гладішевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №1. – С. 112 – 119. – ISSN 1997-9266.

5. Білинський Й.Й. Контроль кількісного вмісту компонентів зрідженого нафтового газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.Р. Гладішевський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – №3. – С. 18 – 20. – ISSN 1813-6796.

6. Білинський Й.Й. Методика визначення коефіцієнтів поглинання складових вологого природного газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – №9. – С. 134 – 139.

7. Білинський Й.Й. Інфрачервоний двохвильовий сенсор контролю концентрації газу / Й.Й. Білинський, О.А. Павлюк, Б.П. Книш // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №3. – ISSN 2307-5376. – Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/290/288>.

8. Білинський Й.Й. Інфрачервоний триканальний сенсор концентрації газу / Й.Й. Білинський, К.Ю. Іоніна, Б.П. Книш // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – №6. – С. 41 – 49.

9. Білинський Й.Й. Двоканальний аналізатор вологості газу та дослідження його статичних метрологічних характеристик / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко, О.С. Городецька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №3. – С.222 – 228. – ISSN 1997–9266.

10. Білинський Й.Й. Світловодний аналізатор вологості газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, К.Ю. Іоніна // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С.44 – 47. – ISSN 1993–9981.

11. Білинський Й.Й. Експериментальне дослідження аналізатора вологості природного газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко, О.С. Городецька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №1. – С.128 – 132. – ISSN 1997–9266.

12. Білинський Й.Й. Визначення кількісного вмісту компонентів парової фази скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – №1. – С.163 – 167. – ISSN 1993-9981.

13. Білинський Й.Й. Дослідження кількісного вмісту скрапленого газу шляхом використання модельних рідинних систем / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, М.Й. Юкиш // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2014. – №4/1(18). – С. 23 – 26. – ISSN 2226-3780.

14. Книш Б.П. Метод контролю кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу та засіб для його реалізації / Б.П. Книш // Технологічний

аудит та резерви виробництва. – 2014. – №6/5(20). – С. 34 – 36. – ISSN 2226-3780.

15. Білінський Й.Й. Математична модель засобу вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, М.О. Стасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №3. – С. 180 – 186. – ISSN 2307-5732.

16. Білінський Й.Й. Аналізатор кількісного вмісту скрапленого нафтового газу та дослідження його статичних метрологічних характеристик / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, В.П. Білінська // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2015. – №4. – С. 135 – 141. – ISSN 1995-0519.

17. Білінський Й.Й. Оптичні методи дослідження фізико-хімічних параметрів газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Матеріали XVI Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке»: тези доповідей. – Харків, 2012. – С. 329-330.

18. Білінський Й.Й. Вплив води на параметри зрідженого нафтового газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білінський // 9-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2013»: тези доповідей. – Севастополь, 2013. – С. 237. – ISBN 978-617-612-028-5.

19. Білінський Й.Й. Контроль кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // II Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювання контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2013)», 29-31 жовтня 2013 р.: тези доповідей. – Вінниця, 2013. – С. 186-187. – ISBN 978-966-2462-35-7.

20. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Підсумки 43-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2014/inrtzp/el.php>.

21. Білінський Й.Й. Методика проведення експериментальних досліджень кількісного вмісту скрапленого нафтового газу на основі термометричного методу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // XIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-13-2014)»: тези доповідей. – Одеса, 2014. – С. 57. – ISBN 978-966-330-203-4.

22. Білінський Й.Й. Методика визначення коефіцієнтів поглинання складових газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Збірник наукових праць SWorld: тези доповідей. – Одеса, 2012. – С. 27-29. – ISSN 2224-0187.

23. Білінський Й.Й. Експериментальні дослідження з визначення температурної залежності масової частки скрапленого нафтового газу на основі модельних рідинних систем / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // III НТК «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації»: тези доповідей. – Львів, 2014. – С. 57-58. – ISBN 978-966-02-6536-3.

24. Білінський Й.Й. Використання модельних рідинних систем для дослідження скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)»: тези доповідей. – Вінниця, 2014. – С. 153. – ISBN 978-966-2462-66-1.

25. Білінський Й.Й. Аналіз впливу води на параметри зрідженого нафтового газу: [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Підсумки 42-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2013/inrtzp/el.php>.

26. Білінський Й.Й. Методика проведення експериментальних досліджень вимірювання вологості природного газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // XI Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)»: тези доповідей. – Вінниця, 2012. – С. 62-63. – ISBN 966-641-187-3.

27. Білінський Й.Й. Розробка оптичного сенсора концентрації газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Підсумки 40-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2011/inrtzp/txt/knysh.pdf>.

28. Білінський Й.Й. Розробка оптичного сенсора концентрації газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білінський // 7-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2011»»: тези доповідей. – Севастополь, 2011. – С. 55. – ISBN 978-966-335-365-4.

29. Білінський Й.Й. Моделювання оптичного сенсора концентрації газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білінський // 5-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП – 2011)»: тези доповідей. – Вінниця, 2011. – С. 69. – ISBN 978-966-641-411-6.

30. Білінський Й.Й. Інфрачервоний двохвильовий сенсор концентрації газу з лінійною вихідною характеристикою / Б.П. Книш, Й.Й. Білінський // I Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювання контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011)»: тези доповідей. – Вінниця, 2011. – С. 70. – ISBN 978-966-641-429-1.

31. Білінський Й.Й. Триканальний сенсор газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Підсумки 41-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2012/inrtzp/el.php>.

32. Білінський Й.Й. Триканальний оптичний сенсор концентрації вуглеводнів / Б.П. Книш, Й.Й. Білінський // 8-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2012»»: тези доповідей. – Севастополь, 2012. – С. 55. – ISBN 978-617-612-014-8.

33. Білінський Й.Й. Пристрій для визначення об'єму зрідженого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // XII Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-12-2013)»: тези доповідей. – Одеса, 2013. – С. 31. – ISBN 978-966-330-176-1.

34. Білінський Й.Й. Метод та засіб визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Підсумки 44-ї регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inrtzp/el.php>.

35. Білінський Й.Й. Засіб вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення 2015»: тези доповідей. – Житомир, 2015. – С. 59-60. – ISBN 978-666-683-434-1.

36. Білінський Й.Й. Засіб вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи (МТН-2015)». – Режим доступу: <http://conf.inmad.vntu.edu.ua/fm/index.php?page=materials&line=13&mat=84>.

37. Білінський Й.Й. Термометричний метод визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу та його функція перетворення / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // XIV Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-14-2015)»: тези доповідей. – Одеса, 2015. – С. 67. – ISBN 978-966-330-228-7.

38. Пат. 61667 України, МПК G 01 21/81. Оптичний сенсор концентрації газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П., Гладішевський В.Р. – u201100013; Заявл. 04.01.2011; Опубл. 25.07.2011, Бюл. №14 Держпатенту України. – 3 с.

39. Пат. 68725 України, МПК G 01 21/81. Оптичний сенсор концентрації газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – u201110898; Заявл. 12.09.2011; Опубл. 10.04.2012, Бюл. №7 Держпатенту України. – 5 с.

40. Пат. 86552 України, МПК G 01 21/81. Пристрій для визначення об'єму зрідженого газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – u201304700; Заявл. 15.04.2013; Опубл. 10.01.2014, Бюл. №1 Держпатенту України. – 5 с.

41. Пат. 92293 України, МПК G 01 21/81. Спосіб визначення кількісного вмісту компонентів рідкої фази скрапленого нафтового газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – u201402378; Заявл. 07.03.2014; Опубл. 11.08.2014, Бюл. №15 Держпатенту України. – 7 с.

42. Пат. 92294 України, МПК G 01 21/81. Спосіб визначення кількісного вмісту компонентів парової фази скрапленого нафтового газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – u201402379; Заявл. 07.03.2014; Опубл. 11.08.2014, Бюл. №15 Держпатенту України. – 6 с.

43. Пат. 100434 України, МПК G 01 21/81. Засіб вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – u201500976; Заявл. 30.03.2015; Опубл. 27.07.2015, Бюл. №14 Держпатенту України. – 5 с.

АНОТАЦІЯ

Книш Б. П. Термооптичний метод і засіб вимірювального контролю компонентів скрапленого нафтового газу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2016.

В дисертаційній роботі викладено результати досліджень щодо підвищення вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрап-

леного нафтового газу, який перебуває при різних температурах, шляхом знаходження значення густин рідкої фази. У роботі запропоновано термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, який базується на відмінностях у температурних залежностях показників заломлення, а, отже, густин компонентів скрапленого нафтового газу, при цьому результатом вимірювання є числові значення показників заломлення і, відповідно, густини рідкої фази скрапленого нафтового газу при декількох різних температурах, що дозволило за апріорно відомими значеннями густин компонентів скрапленого нафтового газу при цих температурах визначити їхні масові частки та підвищити вірогідність контролю на 10%.

На основі запропонованого методу удосконалено функцію вимірювального перетворення показника заломлення скрапленого нафтового газу, що дозволило зменшити зведену похибку вимірювання в 1,2 рази, та проведено її дослідження.

На основі досліджень розроблено оптико-електронний засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, математична модель якого дає змогу визначати масові частки компонентів скрапленого нафтового газу та підвищити вірогідність контролю до рівня 0,97.

Проведено оцінку статичних метрологічних характеристик вимірювального каналу засобу контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Виділено основні похибки засобу контролю. Знайдено композицію законів розподілу для виділених складових випадкової похибки, на основі яких оцінено показники вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу. Встановлено, що вірогідність прийняття правильного результату становить 0,97, що на 0,1 вище, ніж у відомих засобів.

Ключові слова: засіб вимірювального контролю, термооптичний метод, скраплений нафтовий газ, пропан, бутан, ненасичені вуглеводні, модельні рідинні системи.

АННОТАЦИЯ

Кныш Б. П. Термооптический метод и средство измерительного контроля компонентов сжиженного нефтяного газа. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения состава веществ. Винницкий национальный технический университет, Винница, 2016.

В диссертационной работе изложены результаты исследований по повышению достоверности измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, который находится при различных температурах, путем нахождения значения плотностей жидкой фазы.

Проанализировано современное состояние методов и средств измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа. Выявлено, что основными методами измерительного контроля является хроматографический, химический, радиоволновой, радиочастотный, пиролиза, гидростатического взвешивания, испарения и охлаждения. Установлено, что основными недостатками средств измерительного контроля массовых долей компо-

нентов сжиженного нефтяного газа является высокая стоимость, сложность процесса измерения и низкая точность определения массовых долей смеси пропан-бутан, поскольку наличие ненасыщенных углеводородов не учитывается.

В работе предложен термооптический метод измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, основанный на различиях в температурных зависимостях показателей преломления, а, следовательно, плотностей компонентов сжиженного нефтяного газа, при этом результатом измерения является числовые значения показателей преломления и, соответственно, плотности жидкой фазы сжиженного нефтяного газа при нескольких различных температурах, что позволило по априорно известными значениями плотностей компонентов сжиженного нефтяного газа при этих температурах определить их массовые доли и повысить достоверность контроля на 10%.

На основе предложенного метода усовершенствована функция измерительного преобразования показателя преломления сжиженного нефтяного газа, что однозначно связывает входную величину – значение показателя преломления сжиженного нефтяного газа при заданной температуре и давлении и выходное – значение дифференциальной напряженности, полученное в результате прохождения светового излучения через специальную кювету со сжиженным газом и детектируемого составленным фотоприемником в результате смещения светового пятна, один из каналов которого является опорным для стабилизации излучения, что позволило уменьшить сводную погрешность измерения в 1,2 раза, и проведено ее исследование.

На основе исследований разработан оптико-электронное средство измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, математическая модель которого на основе полученных значений напряженности, связанных с показателями преломления, а, следовательно, плотностями сжиженного нефтяного газа при заданных температурах и априорно известных зависимостях массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, которые соответствуют полученным значениям плотностей, позволяет определять массовые доли компонентов сжиженного нефтяного газа и повысить достоверность контроля до уровня 0,97.

В работе также разработана методика модельных жидкостных систем, для приготовления которой предложено использовать толуол, изооктан и гексан, исходя из близости их температурных характеристик к составляющим сжиженного нефтяного газа. Это позволило проводить исследования сжиженного нефтяного газа в лабораторных условиях путем переноса исследования с газа на модельную систему.

Проведено оценку статических метрологических характеристик измерительного канала средства контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа. Выделены основные погрешности средства контроля. Проведен анализ результатов экспериментальных исследований средства измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа, который показал сходимость теоретической и экспериментальной характеристики. Погрешность модели не превышает 8%. Найдено композицию законов распреде-

ления для выделенных составляющих случайной погрешности, на основе которых оценены показатели достоверности измерительного контроля массовых долей компонентов сжиженного нефтяного газа. Установлено, что вероятность принятия правильного результата составляет 0,97, что на 0,1 выше, чем в известных средств.

Ключевые слова: средство измерительного контроля, термооптический метод, сжиженный нефтяной газ, пропан, бутан, насыщенные углеводороды, модельные жидкостные системы.

ABSTRACT

Knysh B.P. Thermo-optical method and device for a measuring control of components of liquefied petrochemical gas. - The manuscript.

Ph.D. thesis in engineering science with 05.11.13 specialization – devices and methods of control and analysis of materials composition. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, 2016.

The thesis presents the research results to increase the probability of mass fractions measuring control of LPG components, which has various temperatures by defining the density of the liquid phase. The thermo-optical method for measuring control of mass fractions of LPG components is presented in the paper; it is based on the differences in temperature dependences of the refractive index, and thus the densities of the LPG components, the results of the measurement are numerical values of the refractive index and therefore the density of the liquid phase of LPG at several different temperatures, allowing to estimate the mass fractions of LPG components and increase the probability of control by 10% with the help of a priori known values of density of LPG components at these temperatures.

The measuring conversion function of the refractive index of LPG was improved based on the proposed method, thus reducing consolidated measurement error by 1.2 times, its investigation was conducted.

Based on research conducted it was developed the device of optoelectronic mass fraction measuring of LPG components, its mathematical model allows to determine the mass fractions of LPG components and increase the probability of control to the level of 0.97. The estimation of static metrological characteristics of control device measuring channel for the LPG components mass fractions. The control device basic errors are defined as well. Distribution law compositions were defined for selected random error components based on which probability indicators of mass particle measuring control of LPG components were estimated. It was defined that the probability of right decision result is 0,97, which is 0.1 bigger than that of the known devices.

Keywords: device for a measuring control, thermo-optical method, liquefied petroleum gas, propane, butane, unsaturated hydrocarbons, model liquid systems.

Підписано до друку 24.05.2016 р.
Формат 21x29.7 1/4. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний.
Наклад 100 прим. Зам. № 2016-124.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59