

і температури навколишнього середовища. Це дозволяє моделювати теплові процеси в реальному масштабі часу.

**Ключові слова:** математичне моделювання, S-функції, теплові процеси, граничні умови.

*Слесаренко Анатолій Павлович, доктор фізико-математических наук, професор, ведучий научний сотрудник, лауреат Государственной премии Украины, отдел моделирования и идентификации тепловых процессов, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина.*  
*Ена Ирина Владиславовна, кафедра фізики твердого тіла, Харьковський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Украина, e-mail: enaiv@mail.ru.*

*Слесаренко Анатолій Павлович, доктор фізико-математических наук, професор, провідний науковий співробітник, лауреат Державної премії України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.*

*Ена Ирина Владиславівна, кафедра фізики твердого тіла, Харьковський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна.*

*Slesarenko Anatoliy, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.*

*Ena Irina, V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine, e-mail: enaiv@mail.ru*

УДК 681.12

**Білинський Й. Й.,  
Книш Б. П.,  
Юкиш М. Й.**

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНИХ РІДИННИХ СИСТЕМ

*Запропоновано методику експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи, яка являє собою сполуку близьку до скрапленого нафтового газу, та визначенню її температурної залежності, що дає можливість підтвердити адекватність запропонованого термометричного методу визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу.*

**Ключові слова:** пропан, бутан, скраплений нафтовий газ, кількісний вміст, модельні рідинні системи.

### 1. Вступ

На сьогодні знаходить широке використання скраплений нафтовий газ як паливо в двигунах автомобільного транспорту, так і установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів [1]. Дослідження скрапленого нафтового газу передбачає наявність різноманітних методів вимірювання таких його параметрів як тиск, маса, густина, кількісний вміст тощо. Для кількісного вмісту найбільш відомими методами є хроматографічний, який дає змогу визначити вміст як основних компонентів, так і домішок [2], хімічний, за допомогою якого визначається наявність рідкого залишку, вільної води та луку [3], радіохвильовий та радіочастотний методи, які дозволяють визначити масові частки складових скрапленого нафтового газу [4]. Основними недоліками вищезгаданих методів визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу є висока вартість, складність процесу вимірювання та низька точність, що пов'язана з визначенням співвідношення лише суміші пропан-бутан, тоді як наявність домішок не враховується [2–4]. Таким чином, існує необхідність у створенні методу визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу, який дає змогу при різних його температурних режимах визначати кількісний вміст не тільки основних компонентів суміші (пропан і бутан), але й вміст домішок.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Скраплений нафтовий газ — це суміш пропану ( $C_3H_8$ ), бутану ( $C_4H_{10}$ ) і домішок (приблизно 1 %) — етилен, пропілен, бутилен, амілен, гексилен, гептилен тощо [5].

Скраплений нафтовий газ транспортується в залізничних і автомобільних цистернах, зберігається в резервуарах різного об'єму в стані насичення: у нижній частині цистерни розміщується кипляча рідина, а у верхній знаходяться сухі насичені пари. При цьому відбуваються процеси випаровування та конденсації, які в двофазних середовищах протікають при постійному тиску (4,9–6,8 кПа) і температурі (до 50 °С) [6].

Таким чином, основна перевага скрапленого нафтового газу — можливість існування при температурі навколишнього середовища і помірних тисках, як у рідкому, так і в газоподібному стані. У рідкому стані він легко переробляється, зберігається і транспортується, в газоподібному має кращу характеристику згорання [7].

Важливим контролюючим параметром при зберіганні та транспортуванні скрапленого нафтового газу є його кількісний вміст, який визначається за допомогою запропонованого термометричного методу [8]. Оскільки експериментальні дослідження скрапленого нафтового газу є складними, то їх проводять з використанням модельних рідинних систем.

Таким чином, метою роботи є розробка методики проведення експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи та визначенню її температурної залежності для підтвердження адекватності запропонованого термометричного методу [8].

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Розробити методику до запропонованого методу.
2. Розробити експериментальну установку відповідно до розробленої методики.
3. Провести серію експериментів на установці з толуолом, ізооктаном та гексаном та отримати залежності масових часток цих сполук від температури.
4. На основі експериментальних залежностей масових часток від температури визначити найбільш близьку за своїми характеристиками сполуку до скрапленого нафтового газу.

### 3. Методика проведення експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи та визначенню її температурної залежності

Для підтвердження адекватності роботи методів і засобів вимірювання на їх основі, як правило, проводять експериментальні дослідження з використанням або модельних систем, або високоточних засобів вимірювання. Розроблений стандартний зразок ГСО 10211-2013 [2, 9] для перевірки, калібрування засобів вимірювання густини скрапленого нафтового газу, контролю метрологічних характеристик при проведенні випробувань засобів вимірювання, який представлений у вигляді суміші скрапленого пропану і н-бутану, що знаходяться в балоні постійного тиску поршневого типу об'ємом від 2 до 6 дм<sup>3</sup>. Але дослідження в лабораторних умовах з використанням таких сумішей мають високу вартість і є складними, оскільки 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 [10]. Тому в роботі для підтвердження запропонованого методу дослідження кількісного вмісту скрапленого нафтового газу [8] використані модельні рідинні системи, такі як толуол, ізооктан та гексан, які визначені, виходячи з близькості їх характеристик до скрапленого нафтового газу, доступності, ціни, токсичності та відомими значеннями густини [5], а також запропоновано методику проведення експериментальних досліджень, яка передбачає використання модельних рідинних систем.

Густина скрапленого нафтового газу згідно нормам ГОСТ 28656-90 — «Газы углеводородные сжиженные. Расчетный метод определения плотности и давления насыщенных паров» задається масовими частками пропану та бутану при відповідній температурі як:

$$\rho = \rho_p^o \cdot k_p\% + \rho_b^o \cdot k_b\%, \quad (1)$$

де  $\rho_p^o$  та  $\rho_b^o$  — густина пропану і бутану при температурі  $t$ ;  $k_p\%$  та  $k_b\%$  — масові частки пропану і бутану.

Густина толуолу, ізооктану та гексану при температурі  $t$  може бути визначена таким чином:

$$\rho^t = \rho^{20} - \gamma \cdot (t - 20), \quad (2)$$

де  $\rho^{20}$  — густина толуолу, ізооктану та гексану при 20 °С;  $\gamma$  — середня температурна поправка густини, яка складає 0,000686 (для толуолу), 0,00091 (для ізооктану) і 0,000962 (для гексану).

При зіставленні залежностей густин пропану, бутану з густинами толуолу, ізооктану та гексану від температури, отримані з (1) і (2), встановлено, що характеристики для толуолу, ізооктану та гексану симетричні характеристикам для пропану та бутану. Це означає, що для визначення густини скрапленого нафтового газу, можна використовувати модельні рідинні системи, зокрема, толуол, ізооктан та гексан з подальшим калібруванням вимірювань та використанням їх отриманих значень для визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу.

Виходячи з цього, запропоновано методику проведення експериментальних досліджень по визначенню еталонної модельної рідинної системи, яка передбачає:

- виділити пробу толуолу об'ємом 1 мл;
- пробу помістити на дзеркало рефрактометричного блоку рефрактометра;
- визначити дискретний крок зміни температури води, яка нагріває пробу толуолу, від однієї контрольної точки виміру до іншої;
- встановити максимальну температуру, до якої в калориметрі буде нагріватися вода;
- в кожній контрольній точці проводити вимірювання масової частки толуолу за допомогою рефрактометра;
- встановити експериментальні залежності масової частки толуолу від температури;
- провести аналогічні дослідження для ізооктану і гексану та порівняти їх характеристики з характеристиками толуолу;
- на основі експериментальних залежностей масової частки толуолу, ізооктану та гексану від температури визначити найбільш близьку за своїми характеристиками сполуку до скрапленого нафтового газу;
- визначити густину скрапленого нафтового газу шляхом вимірювань для подібної модельної рідинної системи з подальшим калібруванням отриманих значень;
- на основі отриманих значень густини визначити кількісний вміст скрапленого нафтового газу на основі запропонованого термометричного методу [8].

На рис. 1 показана експериментальна установка дослідження характеристик модельних рідинних систем, в яку входить калориметр 1, рефрактометр ИРФ-454 Б2М 2, який містить дзеркало рефрактометричного блоку 3, магнітний 4 і ртутні 5 термометри.

В калориметр 1 подається нагріта вода, яка за допомогою двигуна перекачується до рефрактометричного блоку 3 рефрактометра 2 й поступово нагріває його. На дзеркалі рефрактометричного блоку 3 знаходиться проба модельної рідинної системи, яка досліджується. При визначенні початкової температури, яка контролюється магнітним 4 і ртутними 5 термометрами, вимірюється показник заломлення та масова частка речовини.

При підвищенні температури та досягненні наступного кроку вимірювання процедура повторюється. Причому магнітний термометр 4 забезпечує вимикання системи при досягненні максимальної температури.

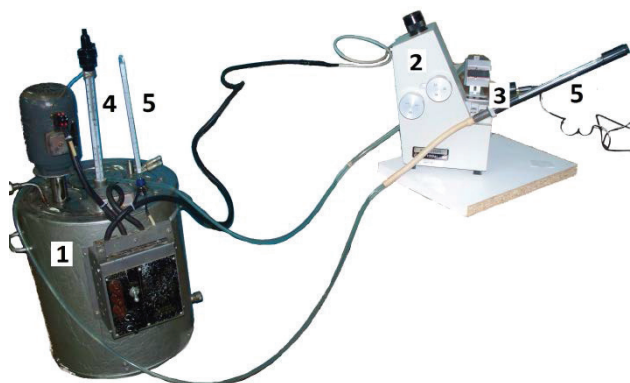


Рис. 1. Експериментальна установка дослідження характеристик модельних рідинних систем

На рис. 2 представлені результати дослідження модельних рідинних систем типу «Толуол», «Ізооктан», «Гексан» у вигляді множини характеристик — зміни масових часток від температури. Крім того, на рис. 2 наведені для порівняння теоретичні залежності зміни густин від температури для таких саме рідинних систем, як «Толуол (т)», «Ізооктан (т)», «Гексан (т)» та характеристики зміни густин від температури для компонентів скрапленого нафтового газу пропану та бутану.

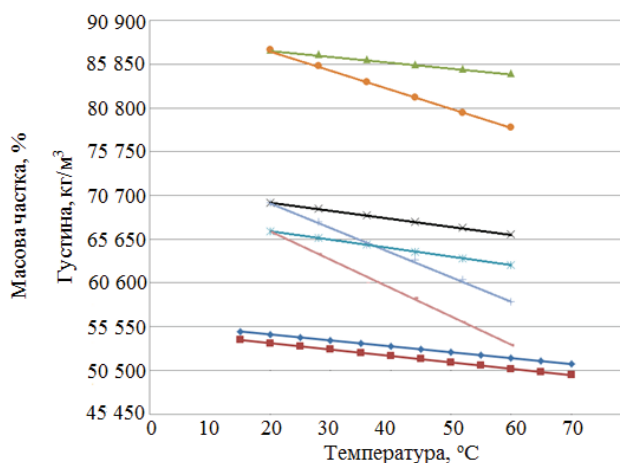


Рис. 2. Теоретичні залежності густин пропану, бутану, а також толуолу, ізооктану, гексану та експериментальні залежності масових часток толуолу, ізооктану, гексану від температури: —♦— пропан; —■— бутан; —▲— толуол (т); —×— ізооктан (т); —\*— гексан (т); —○— толуол; —+— ізооктан; —+— гексан

Як видно з рис. 2, найближчою до характеристик компонентів скрапленого нафтового газу пропану та бутану є характеристика гексану. Таким чином, дана сполука, в порівнянні з іншими, може бути використана в якості еталонної модельної рідинної системи, на основі якої буде визначатися густина скрапленого нафтового газу та його кількісний вміст.

Залежність між теоретичними характеристиками рідинних систем та їх експериментальними можна описати функцією:

$$\rho^t = (\rho^{20} - W^{20}) + W^t, \quad (3)$$

де  $W^{20}$  — масова частка сполуки при 20 °С;  $W^t$  — масова частка сполуки при температурі  $t$ .

Густина скрапленого нафтового газу здійснюється на основі відкаліброваних вимірювань для гексану, причому процес калібрування описується функцією:

$$\rho_{LPG}^t = W_g^t - (W_g^{20} - \rho_{LPG}^{20}), \quad (4)$$

де  $\rho_{LPG}^t$  — густина скрапленого нафтового газу при температурі  $t$ ;  $W_g^t$  — масова частка гексану при температурі  $t$ ;  $W_g^{20}$  — масова частка гексану при 20 °С;  $\rho_{LPG}^{20}$  — густина скрапленого нафтового газу при 20 °С.

Таким чином, шляхом використання отриманих характеристик масової частки еталонної модельної рідинної системи з'являється можливість провести експериментальні дослідження засобу вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого газу, реалізованого на основі запропонованого термометричного методу [8], з використанням гексану в якості модельної рідинної системи.

#### 4. Висновок

1. Запропоновано методику експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи та визначенню її температурної залежності.
2. Розроблено експериментальну установку для дослідження характеристик модельних рідинних систем.
3. Проведено серію експериментів з модельними рідинними системами, а саме толуолом, ізооктаном та гексаном.
4. Встановлено, що гексан є оптимальною модельною рідинною системою і може використовуватись в якості еталону, на основі якого буде визначатися густина скрапленого нафтового газу та його кількісний вміст.
5. Підтверджена адекватність запропонованого термометричного методу визначення кількісного вмісту скрапленого нафтового газу.

#### Література

1. Рачевский, Б. С. Сжиженные углеводородные газы [Текст] / Б. С. Рачевский. — М.: Нефть и газ, 2009. — 640 с.
2. Sovlukov, A. S. Measurement of liquefied petroleum gas quantity in a tank by radio-frequency techniques [Text] / A. S. Sovlukov, V. I. Tereshin // IEEE Trans. Instrum. Meas. Institute of Electrical & Electronics Engineers. — 2004. — Vol. 53, № 4. — P. 1255–1261. doi:10.1109/tim.2004.831173.
3. Nyfors, E. Industrial microwave sensors [Text] / E. Nyfors, P. Vainikainen. — Artech House, 1989. — 351 p.
4. Совлуков, А. С. Радиочастотный метод измерения массы сжиженного углеводородного газа [Электронный ресурс] / А. С. Совлуков, В. И. Терешин. — Режим доступа: \www/URL: http://uteoss2012.ipu.ru/procdngs/0654.pdf. — 03.07.2014.
5. Книш, Б. П. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу [Текст] / Б. П. Книш, Й. Й. Білинський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2014. — № 1. — С. 112–119.
6. Zoughi, R. Microwave non-destructive testing and evaluation [Text] / R. Zoughi. — Kluwer academic Publ., 2000. — 263 p. doi:10.1007/978-94-015-1303-6.
7. Совлуков, А. С. Свойства сжиженных углеводородных газов. Особенности эксплуатации углеводородных систем [Электронный ресурс] / А. С. Совлуков, В. И. Терешин. — Режим доступа: \www/URL: http://www.avtozagruzka.com/publ3.pdf. — 03.07.2014.

8. Sovlukov, A. S. Determination of liquefied petroleum gas quantity in a reservoir by radiofrequency techniques [Text] / A. S. Sovlukov, V. I. Tereshin // Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation Technology Conference (Cat. No. 03CH37412). Vail, CO, USA. — 2003. — Vol. 1. — P. 368–373. doi:10.1109/imtc.2003.1208182.
9. Sovlukov, A. S. Radiofrequency temperature-independent measurements of the density of liquefied hydrocarbon gases [Text] / A. S. Sovlukov, V. I. Tereshin // Measurement Techniques. — 2008. — Vol. 51, № 7. — P. 791–793. doi:10.1007/s11018-008-9116-z.
10. Совлуков, А. С. Проблемы и опыт разработки методик выполнения измерений для организации коммерческого учета СУГ [Электронный ресурс] / А. С. Совлуков, В. И. Терешин. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.avk-peterburg.ru/equipments/useful/art-2008-5>. — 03.07.2014.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ СЖИЖЕННОГО ГАЗА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ

Предложена методика экспериментальных исследований по выбору модельной жидкостной системы, которая представляет собой соединение близкое к сжиженному нефтяному газу, и определению ее температурной зависимости, которая дает возможность подтвердить адекватность предложенного термометрического метода определения количественного содержания сжиженного нефтяного газа.

**Ключевые слова:** пропан, бутан, сжиженный нефтяной газ, количественное содержание, модельные жидкостные системы.

**Білінський Йосип Йосипович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [yosyp.bilynsky@yandex.ru](mailto:yosyp.bilynsky@yandex.ru).  
**Книш Богдан Петрович**, аспірант, кафедра електроніки, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [tutmos-3@i.ua](mailto:tutmos-3@i.ua).  
**Юкиш Марина Йосипівна**, асистент, кафедра електроніки, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: [yukish@yandex.ua](mailto:yukish@yandex.ua).

**Билынский Иосиф Иосифович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники, Винницкий национальный технический университет, Украина.  
**Кныш Богдан Петрович**, аспирант, кафедра электроники, Винницкий национальный технический университет, Украина.  
**Юкиш Марина Иосифовна**, ассистент, кафедра электроники, Винницкий национальный технический университет, Украина.

**Bilynskyi Yosy**, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: [yosyp.bilynsky@yandex.ru](mailto:yosyp.bilynsky@yandex.ru).  
**Knysh Bogdan**, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: [tutmos-3@i.ua](mailto:tutmos-3@i.ua).  
**Yukysh Maryna**, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: [yukish@yandex.ua](mailto:yukish@yandex.ua).

УДК 003.26.09

Малік О. Р.

## ЕМПІРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЧАСУ СИНХРОНІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ПРОТОКОЛІ ОБМІНУ КЛЮЧАМИ

Представлено аналіз особливостей роботи протоколу обміну ключами з використанням взаємного навчання нейронних мереж, розглянуто існуючі атаки на протокол. Емпірично проаналізовано розподіл часу синхронізації нейронних мереж, що дозволило виявити слабкі місця протоколу та зробити висновок стосовно його захищеності.

**Ключові слова:** нейронні мережі, взаємне навчання, протокол обміну ключами.

### 1. Вступ

Нещодавно було показано, що дві нейронні мережі можуть синхронізуватися взаємним навчанням [1] і [2]. Нейронні мережі отримують на вхід однакове значення та обмінюються своїм виходом. Налаштування вагових коефіцієнтів відповідно до підходящого правила навчання призводить до повної синхронізації за скінченну кількість кроків у випадку дискретних значень. Така синхронізація нейронних мереж є частковим випадком онлайн навчання мереж, причому нейронні мережі починають з вагових коефіцієнтів, які було вибрано випадковим чином. Після цього відповідні вагові коефіцієнти у обох мереж мають однакове значення, навіть, якщо вони будуть оновлені наступним використанням правила навчання [3].

Саме цей факт було використано з метою побудови протоколу обміну ключем в роботі [4], що дало пош-

товх наступним роботам з побудовою більш складних протоколів і криптосистем. Не дивлячись на відсутність достатньо ґрунтовного аналізу стійкості, такі протоколи анонсуються захищеними, навіть в квантовій моделі обчислень [4], опираючись лише на той факт, що їх стійкість не базується на теоретико-числових задачах. З огляду на це, роботи з аналізом захищеності таких протоколів і систем є досить актуальними, оскільки напрям є достатньо новим і може виявитися перспективним, але вкрай необхідним є обґрунтування анонованих властивостей подібних систем.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

ТРМ (від англ. *tree parity machine*) — це вид багаточислової нейронної мережі прямого поширення, яка складається з одного вихідного нейрону,  $K$  прихованих ней-