

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

На правах рукопису

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Білинський Йосип Йосипович,
доктор технічних наук,
професор

Вінниця - 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ МАСОВИХ ЧАСТОК КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ	12
1.1 Аналіз фізико-хімічних показників скрапленого нафтового газу	12
1.2 Аналіз відомих методів і засобів вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	13
1.3 Вибір критерію оцінки ефективності вимірювальних перетворювачів	21
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ МАСОВИХ ЧАСТОК КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ	25
2.1 Аналіз експлуатаційних показників скрапленого нафтового газу та його контроль.....	25
2.2 Розробка математичної моделі стану рідкої фази скрапленого нафтового газу	27
2.3 Error! Reference source not found.	33
2.4 Error! Reference source not found.	38
Висновки до розділу 2	58
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ МАСОВИХ ЧАСТОК КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ	60
3.1 Розробка засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	60
3.2 Перетворення та обробка вимірювальної інформації. Виведення функції перетворення засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	62
3.3 Error! Reference source not found.	70

3.4 Аналіз похибок засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	76
3.4.1 Похибка встановлення положення плями світла на фотоприймачі.....	78
3.4.2 Похибка квантування (похибка АЦП).....	79
3.4.3 Випадкові фактори впливу на сумарну похибку вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	82
Висновки до розділу 3	83
РОЗДІЛ 4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ МАСОВИХ ЧАСТОК КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ	84
4.1 Рекомендації щодо інженерного проектування засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	84
4.2 Алгоритм вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	89
Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.	91
4.4 Експериментальні дослідження засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	95
4.5 Експериментальні дослідження похибок засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	101
4.6 Error! Reference source not found.	107
4.7 Оцінювання вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	109
Висновки до розділу 4	110
ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТКИ.....	129
Додаток А Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробництво	130

Додаток Б Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес	133
Додаток В Порівняльні характеристики методів вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	135
Додаток Г Таблиця густин та масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	137
Додаток Д Залежність вихідної напруги від масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	139
Додаток Е Масові частки пропану, бутану та ненасичених вуглеводнів	140
Додаток Ж Аналіз статичних метрологічних характеристик засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	143
Додаток К Функціональна схема мікропроцесорного блоку засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	183
Додаток Л Лістинг програми керування роботою мікроконтролера	184
Додаток М Експериментальні дані дослідження повторюваності результату	194
Додаток Н Дослідження законів розподілу контрольованої величини.....	196
Додаток П Розрахунок загального закону розподілу похибки вимірювання масових часток компонентів скрапленого нафтового газу.....	201
Додаток Р Дослідження вірогідності вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу	206

ВСТУП

Актуальність теми

На сьогодні знаходить широке використання скраплений нафтовий газ як паливо в двигунах автомобільного транспорту та установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів [1]. 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 [2 – 4]. Основними їх недоліками є складність реалізації процесу вимірювання, його висока вартість та низька точність. Наприклад, похибка методу гідростатичного зважування складає 5% [5, 6], піролізу – 5...10% [7], радіохвильового та радіочастотного – 4% [8]. 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% [9, 10]. 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 наф-тового газу надзвичайно важливий, оскільки

нормоване співвідношення масової частки кожного із компонентів визначає не лише марку, але й якість скрапленого нафтового газу.

Проблемами дослідження масових часток компонентів скрапленого нафтового газу займались Летуновський А.А. [11], Рачевський Б.С. [1], Совлуков А.С. [12], Викторов В.А. [13], Терьошин В.І. [14], Астахов А. [15], Преображенський Н.І. [16].

Таким чином, з огляду на безупинний розвиток промисловості та високі вимоги щодо якості газу в стандартах [5, 7, 9, 10, 17 – 21], 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 скрапленого 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:

- проаналізувати існуючі методи та засоби вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;
- розробити термооптичний метод вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;
- розробити методику модельних рідинних систем;
- розробити засіб вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;

– отримати аналітичні залежності для оцінювання основних статичних метрологічних характеристик та впливних величин на вимірювальний канал засобу контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу;

– виконати експериментальні дослідження та оцінити вірогідність контролю засобу.

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

Предметом дослідження є 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 i , 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%.

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, які пов'язані з показниками заломлення, а, отже, з густинами скрапленого нафтового газу при заданих температурах і апріорно відомих залежностях масових часток компонентів скрапленого нафтового газу, що відповідають отриманим значенням густин, дає змогу визначати 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 напрямами 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 [22, 44], проаналізовано оптичні методи дослідження фізико-хімічних параметрів газу [23, 47], проаналізовано оптичні методи дослідження густини газу [24, 52], проведено моделювання впливу температур на результати вимірювального контролю масових часток масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [25, 53], розроблено математичну модель стану рідкої фази скрапленого нафтового газу [26, 54], запропоновано використовувати замість сухого газу уайт-спірит як вуглеводневоподібну сполуку [27, 55], змодельовано схему двоканального сенсора концентрації газу [28, 56], запропоновано використання оберненого зв'язку в конструкції сенсора [29, 57], змодельовано схему триканального сенсора концентрації газу [30, 58], запропоновано додати в конструкцію ще одну кювету [31, 59], запропоновано функцію перетворення двоканального аналізатора вологості газу з оберненим зв'язком [32, 62], проаналізовано проходження променів в плоскому світловоді [33,

63], розроблено методику експериментальних досліджень розробленого аналізатора [34, 64], запропоновано використання екліметра [35, 65], запропоновано проводити вимірювання густини при різних температурних режимах [36, 67], запропоновано проводити вимірювання тиску при різних температурних режимах [37, 68], проведено моделювання співвідношення компонентів парової фази скрапленого нафтового газу в умовах зміни тиску та температури [38, 71], розроблено методику експериментальних досліджень по вибору модельної рідинної системи та визначенню її температурної залежності [39, 79], розроблено експериментальну установку на основі функції температурних параметрів [80], запропоновано використання поршня в конструкції спеціальної кювети [41, 81], визначено чутливість засобу вимірювального контролю масових часток компонентів скрапленого нафтового газу [42, 82], проведено аналіз статичних метрологічних характеристик [43].

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 міжнародний молодіжний форум "Радиоэлектроника 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

pp.); XII – XIV міжнародні науково-технічні конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах ВОТТП-2013, ВОТТП-2014, ВОТТП-2015" (м. Одеса (Затока), 2013 – 2015 pp.); 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.

Обсяг і структура дисертації. 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М. : Нефть и газ, 2009. – 640 с. – ISBN 5-7246.
2. Sovlukov A.S. Measurement of liquefied petroleum gas quantity in a tank by radiofrequency techniques / A.S. Sovlukov, V.I. Tereshin // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2004. – Vol. 53. – No. 4. – P. 1255-1261.
3. Nyfors E. Industrial microwave sensors / E. Nyfors, P. Vainikainen. – Artech House. – 1989. – 351 p.
4. Совлуков А.С. Радиочастотный метод измерения количественных параметров сжиженных углеводородных газов в резервуарах / А.С. Совлуков, В.И. Терешин // Измерительная техника. – 2005. – № 10. – С. 68-71.

5. Газы углеводородные сжиженные. Методы определения углеводородного состава : ГОСТ Р 54484-2011. – М. : Стандартинформ РФ, 2011. – 28 с.
6. Чертков Я. Б. Современные и перспективные углеводородные реактивные и дизельные топлива / Я. Б. Чертков. – М. : Химия, 1968. – 352 с.
7. Газы углеводородные сжиженные, поставляемые на экспорт. Технические условия : ГОСТ 21443-75. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1975. – 13 с.
8. Совлуков А.С. Радиочастотные технологические измерения при хранении и транспортировании сжиженных углеводородных газов / А.С. Совлуков, В.И. Терешин // Международная конференция «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – 2010. – 11 с.
9. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия : ГОСТ Р 52087-03. – М. : Миннефтехимпром РФ, 2003. – 12 с.
10. Гази вуглеводні скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови: ДСТУ 4047-01. – К. : Національний стандарт України, 2001. – 13 с.
11. Летуновский А.А. Система автоматизации отпуска сжиженного газа на АГЗС / А.А. Летуновский // Современные технологии автоматизации. – 2002. – №2. – С. 54-61.
12. Совлуков А.С. Измерение количества сжиженного углеводородного газа в резервуаре / А.С. Совлуков, В.И. Терешин // Измерительная техника. – 2006. – №2. – С. 40-42.
13. Викторов В.А. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков. – М. : Наука, 1980. – 640 с.
14. Терешин В. И. Особенности учета СУГ в резервуарном парке / В.И. Терешин, А.С. Совлуков, А.А. Летуновский // Газ России. – 2007. – №2. – С. 66-71.
15. Астахов А. Анализ нефтепродуктов с помощью хроматографических методов / А. Астахов // Оборудование и материалы. – 2013. – №3. – С. 48-53.
16. Преображенский Н.И. Сжиженные углеводородные газы / Н.И. Преображенский. – Л. : Недра, 1975. – 279 с.

17. Газы углеводородные сжиженные. Расчетный метод определения плотности и давления насыщенных паров : ГОСТ 28656-90. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1990. – 10 с.
18. Газы углеводородные сжиженные топливные для коммунально-бытового потребления. Технические условия : ГОСТ 20448-90. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1990. – 8 с.
19. Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия : ГОСТ 27578-87. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1987. – 10 с.
20. Газы углеводородные сжиженные. Метод определения сероводорода и меркаптановой серы : ГОСТ 22985-90. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1990. – 14 с.
21. Газы углеводородные сжиженные. Метод определения углеводородного состава : ГОСТ 10679-76. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1976. – 9 с.
22. Білінський Й.Й. Порівняльна характеристика методів експертно-аналітичного контролю якості скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №5. – С. 142-147. – ISSN 1997-9266.
23. Білінський Й.Й. Класифікація оптичних методів дослідження фізико-хімічних параметрів газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, В.В. Онушко // Вимірювання та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – №2. – С.52-56. – ISSN 2219-9365.
24. Білінський Й.Й. Універсальна класифікація оптичних методів дослідження густини газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, В.В. Онушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №4. – С.23-26. – ISSN 1997-9266.
25. Білінський Й.Й. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, Гладішевський М.В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №1. – С. 112-119. – ISSN 1997-9266.

26. Білінський Й.Й. Контроль кількісного вмісту компонентів зрідженого нафтового газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, Гладішевський В.Р. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – №3. – С. 18-20. – ISSN 1813-6796.
27. Білінський Й.Й. Методика визначення коефіцієнтів поглинання складових вологого природного газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, Онушко В.В. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – №9. – С. 134-139.
28. Білінський Й.Й. Інфрачервоний двохвильовий сенсор контролю концентрації газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, О.А. Павлюк // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №3. – 6 с. – ISSN 2307-5376. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/290/288>.
29. Пат. 61667 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Оптичний сенсор концентрації газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П., Гладішевський В.Р. – № 201100013; заявл. 04.01.2011; опубл. 25.07.2011, Бюл. №14. – 3 с.
30. Білінський Й.Й. Інфрачервоний триканальний сенсор концентрації газу / Й.Й. Білінський, К.Ю. Іоніна, Б.П. Книш // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – №6. – С. 41-49.
31. Пат. 68725 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Оптичний сенсор концентрації газу / Білінський Й.Й., Книш Б.П. – № 201110898; заявл. 12.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. – 5 с.
32. Білінський Й.Й. Двоканальний аналізатор вологості газу та дослідження його статичних метрологічних характеристик / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, В.В. Онушко, О.С. Городецька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №3. – С.222-228. – ISSN 1997–9266.
33. Білінський Й.Й. Світловодний аналізатор вологості газу / Й.Й. Білінський, К.Ю. Іоніна, Б.П. Книш // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С. 44-47. – ISSN 1993–9981.
34. Білінський Й.Й. Експериментальне дослідження аналізатора вологості природного газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш, В.В. Онушко, О.С. Городецька //

Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №1. – С.128-132. – ISSN 1997–9266.

35. Пат. 86552 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Пристрій для визначення об'єму зрідженого газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П. – № 201304700; заявл. 15.04.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. – 5 с.
36. Пат. 92293 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Спосіб визначення кількісного вмісту компонентів рідкої фази скрапленого нафтового газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П. – № 201402378; заявл. 07.03.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. №15. – 7 с.
37. Пат. 92294 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Спосіб визначення кількісного вмісту компонентів парової фази скрапленого нафтового газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П. – № 201402379; заявл. 07.03.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. №15. – 6 с.
38. 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.
39. Білинський Й.Й. Дослідження кількісного вмісту скрапленого газу шляхом використання модельних рідинних систем / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш, М.Й. Юкиш // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2014. – №4/1(18). – С. 23-26. – ISSN 2226-3780.
40. 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.
41. Пат. 100434 УКРАЇНА, МКІ G0121/81. Засіб вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу / Білинський Й.Й., Книш Б.П. – № 201500976; заявл. 30.03.2015; опубл. 27.07.2015, Бюл. №14. – 5 с.
42. Білинський Й.Й. Математична модель засобу вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш, М.О. Стасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №3. – С. 180-186. – ISSN 2307-5732.
43. 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. – С. 135-141. – ISSN 1995-0519.
44. Білинський Й.Й. Оптичні методи дослідження фізико-хімічних параметрів газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // Матеріали XVI Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке»: тези доповідей. – Харків, 2012. – С. 329-330.
45. Методы измерения плотности жидкости [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lemis-baltic.ru/?mid=60>.
46. Свойства сжиженных углеводородных газов. Особенности эксплуатации углеводородных систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avtozagruzka.com/publ3.pdf>.
47. Білинський Й.Й. Вплив води на параметри зрідженого нафтового газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський // 9-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2013»: тези доповідей. – Севастополь, 2013. – С. 237. – ISBN 978-617-612-028-5.
48. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей : ГОСТ 16350-80. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1980. – 102 с.
49. Газохроматографический анализ компонентного состава сжиженного углеводородного газа по новому национальному стандарту ГОСТ Р 54484-2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.chromatec.ru/library/articles/metodicheskie_materialy.
50. Стаскевич Н.Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н.Л. Стаскевич, Д.Я. Вигдорчик. – Л. : Недра, 1986. – 543 с.
51. Визначення якості хроматографічними методами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/pharma_2/classes_stud/uk/pharm/prov_pharm/ptn.
52. Білинський Й.Й. Контроль кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білинський, 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.

53. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу [Електронний ресурс] / Й.Й. Білинський, 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>.
54. Білинський Й.Й. Методика проведення експериментальних досліджень кількісного вмісту скрапленого нафтового газу на основі термометричного методу / Й.Й. Білинський, 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.
55. Білинський Й.Й. Методика визначення коефіцієнтів поглинання складових газу / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // Збірник наукових праць SWorld: тези доповідей. – Одеса, 2012. – С. 27-29. – ISSN 2224-0187.
56. Білинський Й.Й. Експериментальні дослідження з визначення температурної залежності масової частки скрапленого нафтового газу на основі модельних рідинних систем / Й.Й. Білинський, Б.П. Книш // III Науково-технічна конференція «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації»: тези доповідей. – Львів, 2014. – С. 57-58. – ISBN 978-966-02-6536-3.
57. Білинський Й.Й. Використання модельних рідинних систем для дослідження скрапленого нафтового газу / Й.Й. Білинський, 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.
58. Білинський Й.Й. Аналіз впливу води на параметри зрідженого нафтового газу: [Електронний ресурс] / Й.Й. Білинський, 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>.

59. 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.
60. Сравнительный анализ средств измерений сжиженных углеводородных газов. Условия обеспечения метрологических характеристик [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://promizmeritel.ru/publ4.pdf>.
61. Хроматографы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/bse/3075.html>.
62. 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>.
63. Білінський Й.Й. Розробка оптичного сенсора концентрації газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // 7-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2011»: тези доповідей. – Севастополь, 2011. – С. 55. – ISBN 978-966-335-365-4.
64. Білінський Й.Й. Моделювання оптичного сенсора концентрації газу / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // 5-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП – 2011)»: тези доповідей. – Вінниця, 2011. – С. 69. – ISBN 978-966-641-411-6.
65. Білінський Й.Й. Інфрачервоний двохвильовий сенсор концентрації газу з лінійною вихідною характеристикою / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // 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.
66. Портативный плотномер газа LPGDi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.linolab.ru/Katalog_tovarov/Laboratornoe_oborudovanie_i_pribory/Plotnomery?new_window=yes&product_id=47485.

67. 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>.
68. Білінський Й.Й. Триканальний оптичний сенсор концентрації вуглеводнів / Й.Й. Білінський, Б.П. Книш // 8-а Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2012»: тези доповідей. – Севастополь, 2012. – С. 55. – ISBN 978-617-612-014-8.
69. Лазарев И. В. Метод синтеза структур адаптивных измерителей временных параметров импульсов сложной формы по критерию «Эффективность – интегрированные затраты» в условиях параметрической априорной неопределенности // Вестник Воронежского института МВД России. – 2010. – № 1. – С. 144–148.
70. Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е.П. Осадчий. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
71. 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.
72. Совлуков А.С. Сравнительный анализ существующих методов измерений массы светлых нефтепродуктов в резервуарах / А.С. Совлуков, В.И. Терешин // 3-я Международная метрологическая конференция "Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов": тези доповідей. – Казань, 2015. – С. 72-78. – ISBN 978-5-9907330-2-2.
73. Вимірювання густини рідин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.vsp.com.ua/mobrey/systems_1.
74. Плотномер радиоизотопный ПРИЗ-Т [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://tetra.ua/production/radioisotope_apparatus/priz-t.
75. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии / Б.В. Иоффе. – Л. : Химия, 1983. – 352 с.

76. Чепурний М.М. Застосування теорії подібності для розв'язання задач тепломасообміну / М.М. Чепурний, С.Й. Ткаченко, В.В. Бужинський. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 110 с.
77. Иванов В.И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 448 с.
78. Гильярди Р.М. Оптическая связь / Р.М. Гильярди, Ш. Карп. – М. : Связь, 1978. – 456 с.
79. Гринев А.Ю. Постоение передаючих устройств оптического диапазона волн / А.Ю. Гринев, А.М. Братчиков, Е.Н. Воронин. – М. : МАИ, 1985. – 560 с.
80. 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>.
81. 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.
82. 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>.
83. 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.

84. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с. – ISBN 966-7993-18-3.
85. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества / Б.Б. Дунаев. – К. : Техніка, 1981. – 152 с.
86. Володарський Є.Т. Підвищення вірогідності контролю з застосуванням адаптивного алгоритму / Є.Т. Володарський, І.П. Москаленко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1999. – № 3. – С. 111-114.
87. Электронные компоненты для профессионалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.itis.spb.ru/temp/phi_temp.htm.
88. ПД100 Преобразователь давления измерительный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/re_pd100_1499.pdf.
89. МТЕС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://radiocom.dn.ua/image/data/pdf/TEC1-0XXXXX.pdf>.
90. Локазюк В. М. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах : посібник / В. М Локазюк. – К. : Академія, 2002. – 368 с.
91. Пейтон Дж., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях / Дж. Пейтон, В. Волш. – М. : БИНОМ, 1994. – 352 с.
92. Вольфганг Р. Как работают аналого-цифровые преобразователи и что можно узнать из спецификации на АЦП / Р. Вольфганг // Компоненты и технологии. – 2005. – № 3. – С. 20-24.
93. Гитис Э.И. Аналогоцифровые преобразователи : учеб. пособие для вузов / Э.И. Гитис, Е.А. Пискулов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
94. Партала О. Н. Цифровая электроника / О. Н. Партала. – СПб. : Наука и техника, 2000. – 208 с.
95. Білінський Й.Й. Аналіз похибок автоматизованого контролю вологості природного газу / Білінський Й.Й., Городецька О.С., Білошкурський С.С. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – №6/12. – С.30-33.

96. Гвоздева Н. П. Физическая оптика : учебник для учащихся высших и средних специальных учебных заведений / Н. П. Гвоздева, В. И. Кульянова, Т. М. Леушина. – М. : Машиностроение, 1991. – 304 с. – ISBN 5-217-01264-1.
97. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
98. Іщенко В.А. Високочутливі засоби контролю малих концентрацій газів: монографія / В.А. Іщенко, В.Г. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 152 с. – ISBN 978-966-641-365-2.
99. Ишанин Г.Г. Источники и приемники излучения. Уч. пос. для студ. оптич. спец. / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев. – СПб. : Политехника, 1991. – 240 с.
100. Федорков Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б.Г. Федорков, В. А. Телец. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
101. Венцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е.С. Венцель. – М. : Высш. шк., 1999. – 576 с.
102. Лавренчик В.Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов / В.Н. Лавренчик. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
103. Венцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М. : Наука, 1991. – 384 с.
104. Фрумкин В.Д., Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике / В.Д. Фрумкин, Н.А. Рубичев. – М. : Машиностроение, 1987. – 168 с.
105. Волков В.А. Справочник по приемникам оптического излучения / В.А. Волков, В.К. Вялов, Л.Г. Гассанов. – К. : Техніка, 1985. – 216 с.
106. Гавриленко В.И. Оптические свойства полупроводников: Справочник / В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк, В.Г. Литовченко. – К. : Наукова думка, 1987. – 607 с.
107. Грабовский Р.И. Курс физики: Учеб. пособие / Р.И. Грабовский. – М. : Высш. школа, 1980. – 607 с.

108. Агуров П.В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования / П.В. Агуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 576 с.
109. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. Введение в цифровую оптику / Л.П. Ярославский. – М. : Радио и связь, 1987. – 296 с.
110. Физико-химические свойства пропан-бутановой смеси [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fas.su/page-319>.
111. Sovlukov A.S. Determination of liquefied petroleum gas quantity in a reservoir by radiofrequency techniques / A.S. Sovlukov, V.I. Tereshin // Proc. of the 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Vail, CO, USA. – 2003. – Vol. 1. – P. 368 – 373.
112. Рефрактометр лабораторный Серия RFM300+ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecoinstrument.com.ua/katalog/refraktometry/refraktometr-laboratornyj-seriya-rfm300>.
113. Тoluол. Технические условия : ГОСТ 5789-78. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1978. – 2 с.
114. Изооктаны эталонные. Технические условия ГОСТ 12433-83. – М. : Миннефтехимпром СССР, 1983. – 2 с.
115. Расчет плотности нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elarum.ru/info/references/density>.
116. Способы приготовления растворов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://konspekta.net/lek-3597.html>
117. 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.
118. Максимов В.П. Измерение, обработка и анализ быстропротекающих процессов / В.П. Максимов, И.В. Егоров, В.А. Карасев. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.

119. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль. – Х. : Вища школа, 1986. – 240 с.
120. Володарский Е.Т. Уменьшение влияния погрешности измерительного канала на достоверность контроля / Е.Т. Володарский, И.П. Москаленко // Сб. труд. МНТК «Измерения – 98». – 1998. – №.1. – С. 266-267.