

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

На правах рукопису
УДК 543.42+622.412+669.18

Дудатьєв Ігор Андрійович

ЗАСІБ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ
ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ
ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ

05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Кучерук Володимир Юрійович
доктор технічних наук, професор

Вінниця – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ДИМОВИХ ГАЗІВ.....	14
1.1 Особливості димових газів котельних установок як об'єктів контролю...14	
1.2 Огляд сучасних методів для визначення концентрації компонентів димових газів.....	16
1.3 Вибір методу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок.....	30
1.4 Математичне представлення оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.....	33
1.5 Аналіз схем оптичних засобів контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок.....	38
1.6 Огляд сучасних засобів визначення концентрації компонентів димових газів котельних установок.....	42
1.7 Постановка задачі та обґрунтування подальших досліджень.....	47
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК	49
2.1 Аналіз спектрів поглинання сенсорів засобу контролю	49
2.2 Математична модель перенесення випромінювання в середовище димових газів котельних установок.....	53
2.3 Коефіцієнт поглинання CO ₂ у димових газах котельних установок	56
2.4 Математична модель вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю в димових газах котельних установок	61
2.5 Рівняння перетворення додаткових вимірювальних каналів	66

2.6 Дослідження коефіцієнту передачі та чутливості оптичного газового сенсора.....	73
2.6.1 Аналіз коефіцієнту передачі оптичного газового сенсора.....	73
2.6.2 Дослідження впливу ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.....	74
2.7 Дослідження опорної та робочої довжини хвилі для оптичного газового сенсора та розробка методу адитивно-мультиплікативної компенсації впливних факторів.....	77
2.8 Висновки до розділу 2.....	82
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	84
3.1 Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	84
3.2 Розробка функціональної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	85
3.3 Аналіз шляхів подачі димового газу на засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	89
3.4 Оцінювання основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	91
3.5 Аналіз та оцінювання похибок вимірювань.....	102
3.6 Адаптація засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	104
3.7 Висновки до розділу 3.....	109
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ ТА ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	110
4.1 Програмна реалізація засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок	110
4.2 Розробка лабораторного зразка та експериментальні дослідження.....	116

4.3 Дослідження адекватності розробленої математичної моделі.....	120
4.4 Оцінювання вірогідності контролю та точності вимірювань концентрацій димових газів котельних установок.....	128
4.5 Висновки до розділу 4.....	131
ВИСНОВКИ.....	134
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	136
ДОДАТКИ.....	157
Додаток А Результати вимірювання напруги, тиску та температури за допомогою лабораторного зразка системи контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.....	158
Додаток В Лістинг програми контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.....	161
Додаток К Зовнішній вигляд лабораторного зразка.....	163
Додаток Л Спектри поглинання, ФР, ФД, характеристики ІЧ випромінювачів.....	164
Додаток М Математичні розрахунки метрологічних характеристик засобу контролю у пакеті Maple V.14.....	173
Додаток О Акти впровадження.....	182

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність роботи обумовлена проблемою раціонального використання енергоресурсів в Україні. Ефективність роботи котельних установок прямо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Невисока точність контрольно-виміральної апаратури, такої як засіб контролю концентрації компонентів димових газів, може спричинити неефективну роботу установки, зокрема неякісне згорання палива [5].

На даний час існує багато вітчизняних та закордонних засобів контролю концентрації компонентів димових газів, що базуються на різноманітних методах вимірювань (оптичних, механічних, фізичних, хімічних). Але, в багатьох випадках, ці засоби занадто дорогі і, відповідно, термін окупності таких засобів досить великий (до 15 років), що робить їх впровадження на теплопостачальні підприємства не вигідним. З іншого боку, доступніші засоби не можуть забезпечити необхідну точність та достовірність контролю, за рахунок конструктивних недосконалостей або низьких показників метрологічних характеристик, а це є необхідною умовою для ефективної роботи котельної установки [9].

Крім того, вони не відповідають сучасним вимогам адаптивності [64]. Існуючі сучасні засоби контролю концентрації компонентів газів враховують зовнішні збурення, але для повного вирішення задач адаптації необхідно ще враховувати особливості котла, а саме: його оптимальний коефіцієнт надлишку повітря у димових газах котельних установок, що є одним з основних факторів ефективності роботи котельної установки в цілому.

Також потребує вирішення науково-технічне завдання удосконалення методу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок, який би міг забезпечити високу точність при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації компонентів димових газів котельних

установок, за рахунок вдосконалення існуючих математичних моделей визначення концентрації компонентів газів та інженерно-технічних рішень.

Тому питання розробки засобу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок, що забезпечує високу енергоефективність роботи цих установок, є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в Україні (згідно до Закону України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки” № 5460-17 від 16.10.2012 р.), відповідно до статті 3 цього закону “Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року” та пункту даної статті “Енергетика та енергоефективність”. Окремі наукові результати пов’язані з науково-дослідною роботою: “Розробка теоретичних засад побудови інформаційно-вимірювальних систем з часовим представленням вимірювальної інформації”. Автор виступав у НДР (№ держреєстрації 0109U006093, 2009 р.) виконавцем відповідних розділів, пов’язаних з програмною та апаратною реалізацією інформаційно-вимірювальної системи.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення достовірності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок за рахунок оцінення та компенсації впливу впливних факторів на основі оптико-абсорбційного методу.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі:**

- аналіз існуючих засобів та методів контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок;

- технічне обґрунтування реалізації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;

- розробка математичної моделі засобу для контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу;

- розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;

- розробка методик компенсації впливу впливних факторів на результат вимірювання концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;

- розробити алгоритмічну організацію адаптації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок до реальних умов експлуатації.

- розробка програмного засобу для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок;

- проведення експериментальних досліджень та підтвердження адекватності розробленого засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є процес вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення достовірності контролю при заданій швидкодії оптико-абсорбційного методу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в дисертаційній роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів, які були використані для обробки експериментальних результатів, теорії планування наукового експерименту в ході експериментальних досліджень, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю, методи

алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Одержав розвиток метод вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок в основній інфрачервоній області з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами, особливістю яких є різні робочі довжини хвиль фотоприймачів. Значення концентрації двоокису вуглецю отримують на основі співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків, які пройшли через відкриті вимірювальний та компенсаційний канали. При цьому співвідношення показників інтенсивностей світлових потоків враховує як адитивні, так і мультиплікативні коефіцієнти поправок, що дозволило зменшити похибку вимірювання до значення менше 1% у діапазоні вимірювання та зменшити кількість контрольованих параметрів (вологість, запиленість).

2. Вдосконалена математична модель ослаблення випромінювання в середовище димового газу котельних установок, яка, на відміну від існуючих, враховує параметри об'єкта контролю, а саме, значення тиску в загальному випадку представляється як атмосферний тиск та розрідження, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю до рівня 0,968.

3. Вдосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, яка враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача та пов'язує вихідну величину – значення вихідної напруги фотоприймача та вхідну – значення інтенсивності світлового потоку, і, як наслідок, концентрацію двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, що дозволило підвищити точність вимірювання у 1,1-1,2 рази.

Практичне значення одержаних результатів. У роботі отримані такі практичні результати:

1. Розроблена структурно-алгоритмічна організація засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу, яка враховує вплив впливних факторів та адаптаційні алгоритми функціонування його в реальних умовах.

2. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено:

- зв'язок суми розподілу Лоренца спектральних коефіцієнтів поглинання газу з різними інтенсивностями від швидкодії її обчислення, причому було встановлено, що оптимальним значенням інтенсивності лінії, які слід враховувати, $S \geq 0,15$ ($\text{cm}^{-1}/\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2}$) в спектральній смузі $2300\text{-}2400 \text{ cm}^{-1}$ з кроком $0,01 \text{ cm}^{-1}$, що дозволило провести більш точний аналіз димової суміші при заданій швидкодії вимірювального контролю;

- зв'язок ширини спектра світлодіода з чутливістю оптичного каналу газового сенсора. Встановлено, що використання оптичного фільтра збільшує чутливість приблизно вдвічі, до того ж залежність інформаційного параметра оптичного газового сенсора має практично лінійний характер.

3. Розроблений програмний засіб CFG (Controlling flue gas) для автоматичного контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок. Програму контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок написано у програмному пакеті WinPLC7 на мові програмування STL.

4. Розроблений та досліджений експериментальний зразок засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок, який має перехідний процес на рівні $0,44 \text{ c}$ при максимальній відносній похибці $0,92\%$.

Результати дисертаційної роботи впроваджені та використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради (акт від 23 червня 2014 р.). Науково-технічний ефект впровадження дозволив, в залежності від продуктивності котельної установки, зменшити використання природного газу до 3% , за рахунок оптимального процесу горіння у топці котла.

До основних результатів, що використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради, варто віднести такі:

1. Впроваджено методику контролю складу димових газів котельних установок.
2. Впроваджено програмний комплекс "CFG" (Controlling flue gas) контролю складу димових газів котельних установок.
3. Структурно-алгоритмічну схему керування котельною установкою з контролем складу димових газів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету (акт від 25 вересня 2014 р.) при виконанні лабораторних та практичних робіт з дисципліни "Мікропроцесорні засоби вимірювань і контролю" у вигляді лабораторного стенду та лабораторного практикуму, в якому використаний оптико-абсорбційний інфрачервоний аналізатор концентрації газів, додаткові вимірювальні канали температури, тиску, вологості. Стенд реалізований на базі ПЛК VIPA, програмне забезпечення написано на мові Ladder Diagram та Instruction List.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, що представлені в дисертації, одержані автором самостійно.

У співавторських роботах здобувачеві належать: [6] – запропонована модель управління КУ з зворотнім зв'язком; [7], [10] – розроблена структура газоаналітичної системи; [11] – розроблена функціональна схема системи контролю складу димових газів котельних установок; [13], [14] – розроблено алгоритм роботи КУ з контролем складу димових газів; [15], [52] – розроблена структурно-алгоритмічна організація ІВС контролю складу димових газів котельних установок; [23] – обґрунтовано підхід застосування синергетичних методів керування КУ; [36], [39] – розроблено програмне забезпечення та математичну модель вимірювання температури газової суміші; [43] – розроблена структура вимірювального каналу для контролю компонентів газової суміші; [47] – розроблено програмне та апаратне забезпечення

додаткового контролю параметрів мікроклімату виробничого середовища оператора котельної установки; [51], [102] – обґрунтовано та розраховано оптимальний КНП для заданого теплопостачального об'єкту; [71] – розроблено метод компенсацій температурної похибки оптичних перетворювачів; [100], [101], [106], [109], [112] – розроблено комплексну математичну модель визначення складу димових газів котельних установок з компенсацією дестабілізуючих факторів; [103], [104], [105], [107] – теоретично обґрунтовано та практично реалізовано експериментальний зразок системи контролю складу димових газів котельних установок; [108] – зроблено огляд та систематизацію сучасних методів контролю газових сумішей; [110] – обґрунтовано вибір довжин хвиль для приймачів інфрачервоного випромінювання враховуючи особливості об'єкту; [113] – розроблено програмний комплекс контролю складу димових газів котельних установок, що сумісний з ПЛК Vipa та Siemens всіх серій.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (2008 – 2013), II-му та III-му Всеукраїнських з'їздах екологів з міжнародною участю (м. Вінниця 2009, 2011), I та II Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія” (м. Вінниця, 2010, 2012), на X та XI міжнародній науково-практичній конференції “Контроль і управління в складних системах” (м. Вінниця, 2010, 2012), V and VI International conference on optoelectronic information technologies “Photonics-ODS 2010, 2012” (м. Вінниця 2010, 2012), на третій Міжнародній науково-практичній конференції “Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації” (м. Вінниця, 2011), V-й Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування” (м. Вінниця, 2011), I-й та II-й Міжнародній конференції студентів і молодих науковців “Сучасні інформаційні технології 2011, 2012” (м.

Одеса, 2011,2012), I-й та II-й Міжнародній науковій конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011, 2013)” (м. Вінниця, 2011, 2013). Міжнародна науково-технічна конференція “ТЕХНОЛОГІЯ-2013” (м. Севастополь 2012), VIII and IX international salon of inventions and new technologies «NEW TIME» (Sevastopol, 2012).

Результати роботи було представлено на Міжнародних виставках та салонах винаходів. Результати роботи удостоєні 3 золотих медалей (VIII and IX International salon of inventions and new technologies «NEW TIME» (Sevastopol, 2012, 2013), International Warsaw Invention Show (Warsaw, 2012).

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 38 наукових працях, в тому числі: 13 статей, 11 з яких у наукових фахових виданнях (з яких одне видання входить до наукометричної бази Index Copernicus), 23 матеріалів і тез доповідей на науково-технічних конференціях, 2 патенти України на корисну модель.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (202 бібліографічних посилання, 21 сторінка) та додатків (26 сторінок). Загальний обсяг роботи, в якому викладено основний зміст, складає 156 сторінок і містить рисунків 50, таблиць 9. Повний обсяг дисертації – 184 сторінки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Франко Р.Т. Газоаналитические приборы и системы / Р.Т. Франко, Б.Г. Кадук, А.А. Кравченко. – М.:Машиностроение, 1983. – 358с.
2. Соколов В.А. Методы анализа газов / В.А. Соколов – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 340с.
3. Кустикова М.А. Методические указания к лабораторным работам по разделу “Оптико-электронные газоанализаторы” курса “Экологический мониторинг” / Кустикова М.А., Мешалкина М.Н., Мусяков В.Л., Тимофеев А.Н.. – С-Пб: 2003. – С. 73-89.
4. Теплюх З.М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу димових газів / З.М. Теплюх // Энергетика и Электрификация. - 2004. – №3. – С. 10-18.
5. Антропов Д.Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов: дис. канд. техн. наук / Антропов Д.Н. – Казань, 2007. – 143 с.
6. Кучерук В.Ю. Використання ресурсозберіжних технологій на теплопостачальних підприємствах / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Збірник наукових статей II-го всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. – Вінниця, 2009. – С.283-287.
7. Кучерук В.Ю. Система контролю складу димових газів / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Збірник наукових статей III-го всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. – Вінниця 2011. – Т 2. – С. 345 – 347.
8. Парахин Н.Ф. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом / Н.Ф. Парахин, А.К. Алексеева // Энергосбережение.– 2007. – №16. – С. 26-28.
9. Дудатьєв І.А. Енергозберігаюча електромеханічна система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів. / І.А. Дудатьєв // Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт галузі “Електротехніка та електромеханіка”. – Дніпродзержинськ, 2010. – С. 27.

10. Кучерук В.Ю. Система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Науково-практична конференція професорсько-викладацького складу та студентів ВНТУ. –Вінниця, 2010. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2010/inaeksu/txt/Dudatiev.pdf>.
11. Кучерук В.Ю. Оптико-абсорбційний інфрачервоний метод контролю складу димових газів котельних установок // В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв / V International conference on optoelectronic information technologies “Photonics-ODS 2010”. – Vinnytsia, 2010. – P. 189.
12. Козубовський В.Р. Оптичні прилади газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря / В.Р. Козубовський // Метрологія та прилади. – 2010. – №2. – С. 62-70.
13. Кучерук В.Ю. Система автоматичного керування котельною установкою / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Тези доповідей десятої міжнародної науково-практичної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)». – Вінниця, 2010. – С. 265.
14. Кучерук В.Ю. Ресурсоенергозбережна система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2010. – №3-4. – С. 98-103.
15. Кучерук В.Ю. Комп’ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Матеріали I Міжнародної конференції студентів і молодих науковців “Сучасні інформаційні технології 2011”. – Одеса, 2011. – С. 55-56.
16. Кучерук В.Ю. Метод вимірювання параметрів на основі генератора хаотичних коливань / В.Ю. Кучерук, В.С. Маньковська, І.А. Дудатьєв // Міжнародний науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”. – Вінниця, 2010. – С. 99-103.
17. Кучерук В.Ю. Визначення параметрів роторного кола асинхронних машин з використанням функцій чутливості / В.Ю. Кучерук, П.І. Кулаков, І.О.

Денищук, І.А. Дудатьєв // Вісник інженерної академії України.– Київ, 2010. – Бюл. № 1. – С. 205-209.

18. Кучерук В.Ю. Діагностування електромоторів в реальному часі / В.Ю. Кучерук, О.П. Войтович, І.А. Дудатьєв // Радіоелектронні комп'ютерні системи. – Харків, 2008. – С. 20 – 24.

19. Вронский В. А. Прикладная экология / Вронский В. А. – Ростов-на-Дону: Феникс. - 1996. - 512с.

20. Бродский А.К. Краткий курс общей экологии / Бродский А.К. – С-Пб. – 1992. –152с.

21. А.Ю. Ретюма. Вторжение в природную среду. Оценки воздействия /А.Ю. Ретюма. - М.: Прогресс. – 1983. - 192 с .

22. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами:энергетические системы / А.А. Колесников. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 457 с.

23. Кучерук В.Ю. Синергетичні методи керування теплоенергетичними об'єктами / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія”. – Вінниця, 2010. – С. 47.

24. Фокин В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 352с.

25. Садыков Р.А.Компьютерная симуляция теплогенерирующих установок/ Р.А. Садыков, Д.Н. Андропов, Д.В. Крайнов // Известия КазГАСУ. - 2009. – №1 (11). - С196-200.

26. Кнорринг В.Г. Автоматизирования системы контроля и управление процессом горения в топливосжигающем оборудовании / В.Г. Кнорринг, О.Н. Новиков, А.Н. Окадьев // Межвуз. сб. науч. тр.. Пенз. гос. ун-т. - 2000. – №25. – С.112-117.

27. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 150 с.

28. Тюрин М.П. Повышение экономичности работы промышленных котлоагрегатов / М.П. Тюрин, Л.М. Кочетов, Е.В. Харамин. – М.: РХТУ, 1999. – 290 с.

29. Дудатьєв І.А. Математичне моделювання процесів горіння в котельних установках / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Науково-практична конференція професорсько-викладацького складу та студентів ВНТУ. – Вінниця, 2011. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2011/inaeksu/txt/dudatev.pdf>.

30. Офіційний сайт корпорації SE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.VIPA.de.

31. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. пос. / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця ВДТУ, 2001. – 257 с.

32. Кухарчук В.В. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. пос. / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, В.П. Долгополов, Л.В. Грумінська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 220 с.

33. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин, А.Д. Шинков. – М.: Высшая шк., 1973. – 398 с.

34. Денисенко В.В. Термометры сопротивления, термисторы и термопары / В.В. Денисенко, А.Н. Халявко // ПИКАД. - 2005. – №1. – С. 50-54

35. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И. Стафеев. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.

36. Кучерук В.Ю. Лабораторний стенд для вивчення принципу дії терморегулятора / В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов, І.А. Дудатьєв // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2009. – Бюл. № 3-4. – С.174-176.

37. Інструкції до програмного забезпечення SE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.WinPLC7.de.

38. Кучерук В.Ю. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC / В.Ю. Кучерук, В.О. Поджаренко, П.І. Кулаков. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 132 с.

39. Кучерук В.Ю. Система вимірювання температури димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Вісник ЧДТУ. - 2011. – №1. – С.123-128.
40. Бугайов Ю.В. Використання мікропроцесорних систем для компенсації температурної похибки оптичних перетворювачів / Ю.В. Бугайов, Ю.В. Шабатура // Вісник Технологічного університету Поділля. - 2003. – №3/Т.2. – С. 152-154.
41. Фединець В.О. Дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів для вимірювання температури газових середовищ / В.О. Фединець // Вимірювальна техніка та метрологія. - 2003. – № 63. – С. 60-62.
42. Фединець В.О. Вимірювання швидкозмінних температур газових потоків шляхом введення поправки у покази приймачів температури / В.О. Фединець // Національний лісотехнічний університет України. - 2007. –№ 17.5. – С. 217 - 220.
43. Дудатьєв І.А. До питання оптимального вимірювального перетворення інформації у газоаналітичних системах / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Тези доповідей третьої міжнародної науково-практичної конференції «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації». – Вінниця, 2011. – С. 216-217.
44. Білинський Й.Й. Математична модель аналізатора вологості газу / Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Наукові праці ВНТУ. - 2010. – № 4. – 124 с.
45. Патент на корисну модель 57897, Україна, G01N27/22. Резонансний вологомір / Васюра А.С., Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 30.11.2010; опубл. , Бюл. № . – 3 стор.
46. Поджаренко В.О. Основи мікропроцесорної техніки: навчальний посібник / В.О. Поджаренко, В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 206 с.
47. Кучерук В.Ю. Система контролю параметрів мікроклімату виробничого середовища оператора котельної установки / В.Ю. Кучерук, І.А.

Дудатьєв, Н.А. Дудатьєва // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2010. – № 1. – С. 232-235.

48. Дудатьєв А.В. Аналіз забезпечення комплексної інформаційної безпеки в умовах конфліктів / А.В. Дудатьєв, О.П. Войтович, І.А. Дудатьєв // Вісник інженерної академії України. - 2010. – №2. – С.83-88.

49. Бужинський В.В. Автоматизація теплоенергетичних та теплотехнологічних процесів і установок / В.В. Бужинський, М.М. Чепурний. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 48 с.

50. Патент на корисну модель 5163, Україна, G01 N27/72. Високоточний термомагнітний газоаналізатор / Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В.; заявники та патентовласники Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В. №20040705790; заявлено 14.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – 2005.- 4 с.

51. Кучерук В. Ю. Система для контролю складу димових газів котельних установок з підтримкою оптимального коефіцієнту надлишку повітря у топці котлоагрегата / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування”. – Вінниця, 2011. – С. 125-126.

52. Кучерук В.Ю. Мікропроцесорна інформаційно-вимірювальна система контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // I International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS -2011). – Vinnitsya, 2011. – P. 167.

53. Дудатьєв І.А. Система газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря / І.А. Дудатьєв // Науково-практична конференція професорсько-викладацького складу та студентів ВНТУ. – Вінниця, 2011. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2011/inmt/txt/dudatiev.pdf>.

54. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко. – Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2003. – 311 с.

55. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94.- [Чинний від 1994-04-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1994. – 12 с. – (Національні стандарти України).

56. Франко Р.Т. Газоаналитические приборы и системы / Франко Р.Т., Кадук Б.Г., Кравченко А.А. - М.: Машиностроение. – 1983. - 128 с.

57. Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Горелик Д.О., Конопелько Л.А. - М.:из-во Стандартов. – 1992. – 432 с.

58. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / Ельяшевич М.А. - М.:из-во Стандартов. – 1962. – 452 с.

59. Смирнов Н.И. Оптимизация настроечных параметров регулирующих устройств в АСР // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: труды Международ. науч. конф. - М.: Издательство МЭИ. - 2003. - С.52-57.

60. Левин А.С. Введение в общую экологию:курс лекций / Левин А.С. – Таллин: LEX. - 1996. -174 с.

61. On-line расчеты в Интернет на Mathcad Application Server (MAS). – Режим доступа:<http://www.vpu.ru/mas>.

62. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы/ Горелик Д.О. - Том 2. – СПб.: Крисмас+, 1998. -592 с.

63. Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько. – М.: из-во Стандартов, 1992. – 432 с.

64. Л.Н. Панченко. Проверенное решение автоматизации тепловых котельных на базе контроллеров МФК» / Л.Н. Панченко, И.В. Карандасов, В.И. Самыкин, А.В. Селезнев // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2003. – № 4. – С.19-23.

65. Ресурсоэнергосбережение и альтернативное топливо / Под ред. Пермякова Б.А. - М.: НПП Экология-энергетика, МГСУ. - 2001. – 80 с.

66. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Том 1/ Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. – СПб.: Крисмас+. - 1998. -735 с.

67. А.Д. Фролов. О применении прямого расчета поглощения ИК радиации к задаче определения общего содержания CO₂ в вертикальном столбе атмосферы: Труды ГГО в. 369 / А.Д. Фролов, А.А. Шашков. – СПб.: Крисмас+. - 1976. - 211 с.

68. Howell Y.R. Solution of Thermal Transfer through Radiant Media Between Gray Walls / Howell Y.R., Permuter M. Monte Carlo // Journ. Heat Transfer. - 1964. – P. 116-122.

69. Zanelly S. On the calculation of spatial temperature and radiative transfer in industrial watertube boiler/ Zanelly S., Corsi R., Rieri Y. // Heat Transfer in Flames. – Washington: Scripta Book Company, 1973. – P. 18-24.

70. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Том 2 / Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. – СПб.: Крисмас+. - 1998. – 592 с.

71. Кучерук В.Ю. Метод компенсації температурної похибки оптико-абсорбційних температурних перетворювачів концентрації газової суміші / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Оптико електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2011. – №1 (21). – С. 163-167.

72. Rychkov A. D., Krasinskii D. V., Keino A. J., Salomatov V. V. Modeling the vortex furnace aero dynamics // Proc. 4th Europ. Conf. on Industrial Furnace and Boilers. Vol. 2. Portugal, Espinho-Porto. – 1997. – P.9.

73. Rychkov A. D., Filipov K. P. Numerical modeling of coal combustion processes in ecological clear circulating fluidized bed boiler units // Proc. of 4th Intern. Korean Nat.Symp. on Sci. and Technologies KORUS 2000, Ulsan, 2000. – Pt 1. – P.304–309.

74. Исаева Л.К. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Исаева Л.К. – СПб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз". - 1998. - 896 с.

75. Ю.К. Кривогузова. Исследование состава воздуха. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехнические измерения и приборы» для студентов всех направлений Энергетического института / Ю.К. Кривогузова, И.П. Озерова. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. –15 с.
76. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей / Я. Ваня. – М. : Энергия, 1970. – 552 с.
77. Еремина Б. Г. Газовый анализ / Б. Г. Еремина. – Л. : Гос. науч.-техн. из-во хим. литературы, 1955. – 380 с.
78. Примак А. В. Методы и средства контроля загрязнения атмосферы / А. В. Примак, А. Н. Щербань – К. : Наук. думка, 1980. – 296 с.
79. Кучерук В.Ю. Аналіз існуючих засобів вимірювання механічних характеристик електричних машин // Вимірювальна техніка та метрологія /Кучерук В.Ю. - Львів, №54. – 1999. - с. 125-138.
80. Моисеев В.С. Системное проектирование преобразователей информации / Моисеев В.С. – Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение. - 1982. – 254 с.
81. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. - 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1296 с. — ISBN 5-8459-0857-4.
82. Баркалов С.А. Методы агрегирования в управлении проектами / Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. - М.: ИПУ РАН. - 1999. – 55 с.
83. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Новиков Д.А. - М.: ИПУ РАН. -2003. – 102 с.
84. В. Я. Дремлюга. Методы компенсации температурной погрешности оптических сигнализаторов задымленности/ В. Я. Дремлюга, А. А. Дашковский, С. И. Еременко, С. В. Скицунов // МНПК «Современные информационные и электронные технологии», Одесса 27 — 31 мая. - 2013. - С 100 -101.

85. Remennyi M.A., Zotova N.V., Karandashev S.A., Matveev B.A., Stus' N.M., Talalakin G.N. // *Sensors&ActuatoatorsB: Chemical*. 2003. Vol. 91. N 1–3. P. 256–261.

86. Share S.W., Jonson T.J. et al. // *Applied Spectroscopy*. 2004. Vol. 58. N 12. - P. 1452–1460.

87. Matveev B.A. // *Mid-infrared Semiconductor Optoelectronics*. Springer, 2006. - P. 395–428.

88. Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М. // *ФТП*. - 2008. - Т. 42. - Вып. 6. - С. 641–656.

89. Матвеев Б.А., Закгейма Л., Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Ременный М.А., Стусь Н.М., Черняков А.Е. // Тез. докл. XX Междунар. науч.-технич. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М. - 2008.

90. Патент РФ. Оптический газовый сенсор на основе иммерсионных диодных оптопар / Александров С.А., Гаврилов Г.А., Капралов А.А., Сотникова Г.Ю., Усачев С.А.; заяв. № 2008 113124(014227) от 26.03.2008.

91. Режим доступа: <http://www.rusnano.com/>.

92. Залкинд И.Я. Зола и шлаки в котельных топках. / Залкинд И.Я., Вдовченко В.С., Дик Э.П. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 432 С.

93. Василевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О. М. Васілевський // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2006. – № 3 (7). – С. 147–151.

94. Газоанализаторы АНКАТ-310. Руководство по эксплуатации. Смоленск. – Аналитприбор, 2012. – 118 с.

95. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества / Б. Б. Дунаев. – К. : Техніка, 1981. – 150 с.

96. Захаров И. П. Теория неопределенности в измерениях / И. П. Захаров, В. Д. Кукуш. – Харьков : Консум, 2002. – 256 с.

97. Техническая документация на DMK 331. Режим доступу: www.bdsensors.ua
98. Режим доступу: www.thermoscientific.com
99. Режим доступу: www.infraspek.ru
100. Кучерук В.Ю. Система автоматичного керування котельною установкою з контролем складу димових газів на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного метод / В.Ю. Кучерук, І.А.Дудатьєв // Наукові праці ВНТУ. – №3. – Вінниця, 2011. Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_3/2011-3.htm.
101. Кучерук В.Ю. Метод компенсації вологості димових газів котельних установок з покращеними метрологічними характеристиками / В.Ю. Кучерук, І.А.Дудатьєв // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, 2012. – №1. – С.74-78.
102. Кучерук В.Ю. Система забезпечення оптимального ККД роботи котельної установки характеристиками / В.Ю. Кучерук, І.А.Дудатьєв // Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія”. – Вінниця, 2012. - С. 39.
103. Kucheruk V. Yu. Laboratory stand control composition smoke gases of caldron option / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // Матеріали II Міжнародної конференції студентів і молодих науковців “Сучасні інформаційні технології 2012”. – Одеса, 2012. - С. 67-68.
104. Кучерук В.Ю. Лабораторний стенд контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А.Дудатьєв // Тези доповідей десятої міжнародної науково-практичної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)». – Вінниця, 2012. – 77 с.
105. Kucheruk V. Laboratory stand control composition smoke gases of caldron options / Kucheruk V., Dudatiev I. // VI International conference on optoelectronic information technologies “Photonics-ODS 2012”. - Vinnytsia, VNTU 2012. - P. 124

106. Kucheruk V. Optical-gas analysis absorption system with compensation of destabilizing factors / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // VIII International salon of inventions and new technologies«New Time», september , 2012. – Sevastopol, 2012. – P.330-331.

107. KucherukV. Laboratory stand control composition smoke gases / KucherukV. Yu., Dudatiev I. // Міжнародна науково-технічна конференція ТЕХНОЛОГІЯ–2013. - Сєверодонецьк, 2013. - С. 94-95.

108. Кучерук В.Ю. Огляд методів контролю складу димових газів котельних установок / В.Ю. Кучерук, І.А.Дудатьєв // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. - №1(2). - 2013. – С. 50 – 59.

109. Kucheruk V. Automatic control of concentration of flue gases / Kucheruk V., Dudatiev I. // Pomiry avtovatyka kontrola. - № 7. – 2013. - P.621-623.

110. Kucheruk V. Physical nature metrological select of range of infrared waves to optical absorption methods of control flue gas boilers / Kucheruk V. Yu., Dudatiev I. // II International Scientific Conference in memory of Professor Vladimir Podzharenko Measurement, control and diagnosis in technical systems (MCDTS -2013). – Vinnitsya, 2013. – P. 26-27.

111. Кучерук В.Ю. Мікропроцесори в ІВТ. Лабораторний практикум у середовищі WinPLC7 з використанням ПЛК VIPA / В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов, І.А.Дудатьєв // Навчальний посібник.– Вінниця: ВНТУ, 2013. – 82 с.

112. Патент на корисну модель Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А. Оптико-абсорбційна система газового аналізу з компенсацією дестабілізуючих факторів U201202374 від 28.02.2012

113. Kucheruk V. Energi saving gas analysis systems with the use of software CFG/KucherukV. Yu., Dudatiev I. // IX International salon of inventions and new technologies«New Time» september. - Sevastopol, 2013. - p. 221-222.

114. Троян И. А. Влияние высокого давления на электронные, оптические и магнитные свойства диэлектриков с переносом заряда: дис. канд. физико-математических наук / Троян И. А. – Троицк, 2003. – 178с.

115. Азизов А.М. Точность измерительных преобразователей: монография / А.М. Азизов, А.Н. Гордов. – Л.: Энергия, 1975.

116. Daniel J. On the climate forcing of carbonmonoxide / Daniel J. , Solomon S. - J. Geophys.: Res. Atmos 103. -1998. - 13249–13260 p.

117. Анцыферов С.С. Общая теория измерений: учебное пособие / С.С. Анцыферов, Б.И. Голубь; под ред. Н.Н. Евтихеева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

118. Dils B. Ground-based CO observations atJungfrauoch // Comparison between FTIR and NDIR measurements / Dils B., Mahieu E., Demoulin P., Steinbacher M., Buchmann B., and De Maziere M. - 2009. - 154p.

119. Браславский, Д.А. Точность измерительных устройств / Д.А. Браславский, В.В. Петров. – М.: Машиностроение, 1976.

120. Ван-дер-Зил. Источники, описание, измерение / А. Ван-дер-Зил, А. Шум. – М.: Сов. радио, 1973.

121. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств: учебное пособие для вузов / А.И. Иванцов. – М.: Изд-во стандартов, 1972.

122. Кунце Х.И. Методы физических измерений / Х.И. Кунце. – М.: Мир, 1989.

123. Duncan B. N. Global budget of CO, 1988–1997 // Source estimates and validationwith a global model / Duncan B. N., Logan J. A., Bey I., Megretskaiia I. A., Yantosca R. M., Novelli P. C., Jones N. B., and Rinsland C. P. - J. Geophys. Res. Atmos. 112, D22301,doi:10.1029/2007JD008459. - 2007.

124. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991.

125. Подмастерьев К.В. Точность измерительных устройств: учебное пособие / К.В. Подмастерьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Орел: ОрелГТУ, 2004.

126. Folini D. Lagrangian particle dispersion modeling for the high Alpine site Jungfraujoch / Folini D., Uhl S., and Kaufmann P. - J. Geophys. Res. Atmos., 113, D18111, doi:10.1029/2007jd009558. - 2008.

127. Пирс Дж. Символы, сигналы, шумы: закономерности и процессы передачи информации / Дж. Пирс. – М.: Мир, 1967.

128. Рей Ф. Статистическая физика / Ф. Рей. – М.: Наука, 1986.

129. Робинсон Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях / Ф.Н.Х. Робинсон. – М.: Атомиздат, 1980.

130. Романов В.Н. Анализ и обработка экспериментальных данных: учебное пособие / В.Н. Романов, В.В. Комаров. – СПб.: СЗТУ, 2002.

131. Романов, В.Н. Точность средств измерений: учебное пособие / В.Н. Романов. – СПб.: СЗТУ, 2003.

132. Фундаментальные проблемы теории точности: [монография] / под ред. В.П. Булатова, И.Г. Фридендера. – СПб.: Наука, 2001.

133. А.М. Туричин . Электрические измерения неэлектрических величин/ А.М. Туричин, П.В. Новицкий, Е.С. Левшина и др.; под ред. П.В. Новицкого. – Л.: Энергия, 1975.

134. Вовна О.В. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю концентрації метану у вугільних шахтах: дис. канд. техн. наук. / Вовна О.В. – Донецьк, 2009.

135. Гаврилов А.А. Программный комплекс "SigmaFlame" для моделирования топочных камер / Гаврилов А.А., Дектерев А.А., Тэпфер Е.С. и др. // Горение твердого топлива: тез. докл. VIII Всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 13-16 нояб. 2012. - Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики СО РАН, 2012. - С.43-44.

136. Майданик М.Н. Математическое моделирование топки и поворотного газохода котла П-50Р при совместном сжигании твердого и газообразного топлива / Майданик М.Н., Вербовецкий Э.Х., Дектерев А.А., Чернецкий М.Ю., Гаврилова А.А., Бойков Д.В., Бердин С.В. // Теплоэнергетика. - № 6. – 2011. - с. 37-42.

137. Chevalier A., Gheusi F., Atti´e, J., Zbinden R., Athier G., and Cousin J.: Carbon monoxide observations from ground stations in France and Europe and long trends in the free troposphere, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, 3313–3356. - 2008.
138. Daniel J. S. and Solomon S.: On the climate forcing of carbon monoxide, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 103, 13249–13260. - 1998.
139. Dils B., Mahieu E., Demoulin P., Steinbacher M., Buchmann B., and De Maziere M.: Ground-based CO observations at Jungfraujoch: Comparison between FTIR and NDIR measurements, in preparation. - 2009.
140. Duncan B. N., Logan J. A., Bey I., Megretskaia I. A., Yantosca R. M., Novelli P. C., Jones N. B., and Rinsland C. P.: Global budget of CO, 1988–1997: Source estimates and validation with a global model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 112, D22301, doi:10.1029/2007JD008459. - 2007.
141. Ries L., Cemas D., and Jesenovec B.: Transport of nitrogen oxides, carbon monoxide and ozone to the Alpine Global AtmosphereWatch stations Jungfraujoch (Switzerland), Zugspitze and Hohenpeissenberg (Germany), Sonnblick (Austria) and Mt. Kravavec (Slovenia), *Atmos. Environ.*, 41, 9273–9287. - 2007.
142. Khalil M. A. K., Rasmussen R. A.: Carbon-Monoxide in the Earths Atmosphere – Indications of a Global Increase, *Nature*, 332, 242–245. - 1988.
143. Khalil M. A. K., Rasmussen R. A.: Global Decrease in Atmospheric Carbon-Monoxide Concentration, *Nature*, 370, 639–641. - 1994.
144. Levy H., Kasibhatla P. S., Moxim W. J., Klonecki A. A., Hirsch A. I., Oltmans S. J., and Chameides W. L.: The global impact of human activity on tropospheric ozone, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 791–794. - 1997.
145. Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H.: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, *Science*, 303, 1499–1503. - 2004.
146. Meszaros T., Haszpra L., Gelencser A.: Tracking changes in carbon monoxide budget over Europe between 1995 and 2000, *Atmos. Environ.*, 39, 7297–7306. - 2005.

147. Stemmler K., Zellweger C., Ridgeon P.: Two highspeed, portable GC systems designed for the measurement of non-methane hydrocarbons and PAN: Results from the Jungfraujoch High Altitude Observatory, *J. Environ. Monit.*, 6, 234–241. - 2004.

148. Wild O., Prather M. J.: Excitation of the primary tropospheric chemical mode in a global three-dimensional model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 105, 24647–24660. - 2000.

149. Авдеева А.А. Хроматография в энергетике / А.А. Авдеева. - М.: Энергия. - 1980. – 271 с.

150. Андреев А.Н. Оптические измерения / Андреев А.Н., Гаврилов Е.В., Ишанин Г.Г., Кирилловский В.К., Прокопенко В.Т. - М.: Университетская книга Логос. - 2008. – 416с.

151. Дмитриев А.В. Очистка газовых выбросов ТЭС в аппаратах вихревого типа / А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев, Н.А. Николаев // *Промышленная энергетика*. – 2006. - № 3.

152. Котлер В.Р. Промышленно-отопительные котельные: сжигание топлив и защита атмосферы / В.Р. Котлер, С.Е. Беликов –Санкт-Петербург: Энерготех. - 2001. – 272 с.

153. Rigby A. The most effective technology for NO_x reduction in large combustion plants / A. Rigby, A. Klatt, T. Libuda, J. Zürgbig – NOXCONF: International Conference on Industrial Atmospheric Pollution. - 2001.

154. Буренин В.В. Новые фильтры-пылеуловители для очистки и обезвреживания пылегазовоздушных выбросов ТЭС / В.В. Буренин // *Промышленная энергетика*. – 2010. - № 10. – с. 44-51.

155. Коньков О.А. Очистка газовых выбросов ТЭС от твердых частиц в вихревых аппаратах с форсунками ударного действия / О.А. Коньков, А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев // *Промышленная энергетика*. – 2011. - № 6. – с. 46-48.

156. S. Garavaglia. A Heuristic Self-Organizing Map Trained Using the Tanimoto Coefficient. // Proc. of International Joint Conference on Neural Networks. Washington, DC. - 1998.

157. Shaidurov V.V. Multigrid Method for Finite Elements // Mathematics and Its Applications. Kluwer Academic Publishers. - 1995.

158. T. Honkela, S.K. Lagus, T. Kohonen. Exploration of Full-Text Databases with Self-Organizing Map // Proc. of International Conference on Neural Networks. Washington, DC. - 1996. - Vol.1. - P. 56-62

159. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Исаева Л.К. - СПб: Эколого-аналитический информационный центр "Союз", 1998. - 896 с.

160. Изерман Р. // Цифровые системы управления: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984.- 541с.

161. Стенцель Й. І. Розробка моделі руху парамагнітного газу в неоднорідному термомагнітному полі: збірник наукових праць / Стенцель Й. І., Целіщев О. Б., Єлисеєв П. Й. // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ (Криворізький технічний університет), 2003.- Випуск №2. - С. 101-103.

162. Большаков Г. Ф. Таблицы частот инфракрасных спектров гетероорганических соединений / Г. Ф. Большаков, Е. А. Глебовская. – Л. : Химия, 1968.– 132 с.

163. Лоусон К. Инфракрасные спектры поглощения неорганических веществ / К. Лоусон; пер. с англ. – М. :Мир, 1964. – 298 с.

164. В. А. Іщенко. Високочутливі засоби контролю малих концентрацій газів: [монографія] / В. А. Іщенко, В. Г. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 138 с.

165. Combustion. Michael Biarnes in collaboration with: Bill Freed and Jason Esteves.E. Instruments International LLC.– 40 p.

166. Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем/ Растрингин Л.А. - Рига: Зинатне, 1981. - 375 с.

167. В. Приміський. Інструментальний контроль концентрації димових газів і технологічна оптимізація процесів горіння / В. Приміський // Метрологія та прилади. - №1. -2011 – с. 61-67.

168. Справочник компании RIELLO. Азбука горения. On-line учебник <http://rielo.ru/>.

169. Яворский Б. М. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования / Яворский Б. М., Селезнев Ю. А. - М.: Наука, 1989. - 576 с.

170. Стромберг А. Г. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов / Стромберг А. Г., Семченко Д. П. - М.: Высш. шк., 2009. — 527 с.

171. Матвеев Б.А. // Тез. докл. XX Междунар. науч.-технич. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения / Матвеев Б.А., Закгейм А.Л., Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Ременный М.А., Стусь Н.М., Черняков А.Е. - М. - 2008.

172. С.Е. Александров. Моделирование характеристик оптических газовых сенсоров на основе диодных оптопар среднего ИК-диапазона спектра/ С.Е. Александров, Г.А. Гаврилов, А.А. Капралов, Б.А. Матвеев, Г.Ю. Сотникова, М.А. Ременный // Журнал технической физики. Том 79. -№ 6. -2009. – с. 112-118.

173. Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М. // ФТП. 2008. Т. 42. Вып. 6. С. 641–656.

174. В.Ю. Кучерук. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки В.Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В.Гнесь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - № 3/9 (69). – Харків. – 2014. -С. 16-22. ISSN 1729-3774

175. М.Д. Аксененко. Микроэлектронные фотоприемные устройства/ М.Д. Аксененко, М.Л. Бараночников, О.В. Смолин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

176. Г.Г. Ишанин. Источники и приемники излучения: учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г.Г.Ишанин, Э.Д.Панков, А.Л.Андреев, Г.В.Польщиков.– СПб.: Политехника, 1991. – 240 с.

177. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Кузьмичев В.Е. – К.: Наук. Думка, 1989. – 864 с.

178. Вовна А.В. Алгоритм компенсации влияния пыли на точность измерения концентрации метана в угольной шахте / Вовна А.В., Хламов М.Г. //Наукові праці ДонНТУ. - Випуск 107. -С. 164-170.

179. А. Г. Лыков. Исследование влияния ширины спектра излучения источника на чувствительность измерительных каналов газоанализаторов выхлопных газов автомобильного транспорта / А.Г. Лыков, Н.П. Косарев // Наукові праці ДонНТУ. - №1(26). – 2014. -С.218-225. – ISSN 2075-4272

180. Lykov A.G. Analys is of gas analyzers of road transport exhaustand ways to improvetheir accuracy / Lykov, A.G., Vovna, A.V. // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogouniversitytetu: Serija “Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija”. – №. 2(25). – 2013. – p. 246-253.

181. Vovna A.V. Methods and means of the gas components concentration and dust analyticalmeasuring in the mine atmosphere of coal mines / Vovna A.V., Zori A.A., Korenev V.D. and Hlamov M.G. – Donetsk, DonNTU – №. 1. – 2013. – p. 47-54.

182. Калниболотский Ю.М., Рысин В.С. Проектирование электронных схем. – К.: Техніка, 1976. – 144 с.

183. Кухарчук В. В. Оцінка статичних метрологічних характеристик опосередкованих вимірювань / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. О. Поджаренко // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія «Автоматика, вимірювання та керування». – 2001. – № 420. – С. 37–45.

184. N. H. Ngo, D. Lisak, H. Tran, J.-M. Hartmann, "An isolated line-shape model to go beyond the Voigt profile in spectroscopic databases and radiative transfer codes", J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 89-100 (2013).

185. H. Tran, N. H. Ngo, J.-M. Hartmann, "Efficient computation of some speed-dependent isolated line profiles", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 199-203 (2013).
186. H. Tran, N. H. Ngo, J.-M. Hartmann, Erratum to "Efficient computation of some speed-dependent isolated line profiles", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 104 (2014).
187. J. Tennyson, P. F. Bernath, A. Campargue et al., "Recommended isolated-line profile for representing high-resolution spectroscopic transitions (IUPAC Technical Report)", *Pure Appl. Chem.*, 1931-1943 (2014).
188. A. L. Laraia, R. R. Gamache, J. Lamouroux, I. E. Gordon, L. S. Rothman, "Total internal partition sums to support planetary remote sensing", *Icarus*, 391-400 (2011).
189. L. S. Rothman, et al., "The HITRAN 2012 Molecular Spectroscopic Database", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 4-50 (2013).
190. L. S. Rothman, I. E. Gordon, R. J. Barber, H. Dothe, R. R. Gamache, A. Goldman, V. Perevalov, S. A. Tashkun, J. Tennyson, "HITEMP, the high-temperature molecular spectroscopic database", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 111, 2139-2150 (2010).
191. L. S. Rothman, R. B. Wattson, R. R. Gamache, J. Schroeder, and A. McCann, "HITRAN, HAWKS and HITEMP High-Temperature Molecular Database", *Proc. Soc. Photo Optical Instrumentation Engineers* 2471, 105-111 (1995).
192. Roman V. Kochanov HITRAN Application Programming Interface (HAPI) USA 2015, - 52 p.
193. Бёккер Ю. Спектроскопия. Spektroskopie / БёккерЮ. - М.: Техносфера, 2009. — 528 с. — ISBN 978-5-94836-220-5.
194. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение / Смит А. — М.: Мир, 1982. — 328 с.
195. Bernath P. F. Infrared fourier transform emission spectroscopy (англ.) // *Chem. Soc. Rev.* — 1996. — Vol. 25. — P. 111—115. — DOI:10.1039/CS9962500111.

196. Bernath P. F. Infrared emission spectroscopy (АНГЛ.) // Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem. — 2000. — Vol. 96. — P. 177—224. — DOI:10.1039/B001200I.

197. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry / Lindon J. — 2nd Ed. — Academic Press, 2010. — 3312 p.

198. Larkin P. J. Infrared and raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. — Elsevier, 2011. — 230 p. — ISBN 978-0-12-386984-5.

199. Noda I. Two-Dimensional Infrared (2D IR) Spectroscopy: Theory and Applications (АНГЛ.) // Applied Spectroscopy. — 1990. — Т. 44. — № 4. — С. 550—561.

200. Stuart B. H. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. — Wiley, 2004. — 242 p.

201. J. Hildenbrand. Micromachined mid-infrared emitter for fast transient temperature operation for optical gas sensing system /J. Hildenbrand, A. Kurzinger, C. Peter, E. Moretton, J. Wollenstein, F. Numann, M. Ebert, and J. Korvic. - in Proc. 7-th IEEE SENSORS. - Lecce, Italy. - Oct. 2008. - p. 297–300.

202. G. S. Landsberg. Optics / G. S. Landsberg. - Moscow: Nauka Publishing House. — 1976. - p. 567.