

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Кухтіна Сергія Михайловича «Модуляційна лазерна спектроскопія метану в повітрі і воді», яка подана на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук» за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Актуальність теми дисертації

Газ метан – один з поширених газів в атмосфері Землі. Він часто зустрічається поблизу родовищ нафти і вугілля і є показником їх наявності. Це використовується геологами в їх роботі. З другого боку, його наявність в вугільних шахтах становить загрозу для працюючих людей із-за своєї вибухонебезпечності. Метан належить до основних парникових газів, і тому необхідні ефективні методи контролю його концентрації в атмосфері і других середовищах. Великий інтерес являють методи реєстрації метану у воді як індикатора наявності підводних запасів нафти і газу, а також протікання біологічних процесів в морях. Але на сьогоднішній день ефективних методів детектування розчиненого метану не впроваджено.

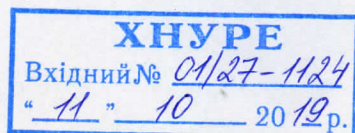
Одним з найбільш ефективних інструментів реєстрації метану є абсорбційна спектроскопія. Методи на її основі характеризуються високою чутливістю і точністю. В дисертаційній роботі досліджується метод модуляційної лазерної спектроскопії. Цей метод має суттєві переваги порівняно з іншими методами оптичної спектроскопії, а саме високу чутливість, можливість вимірювання зміни концентрації в реальному часі, побудову дистанційних вимірювальних систем. Тому дослідження методу модуляційної лазерної спектроскопії для вимірювання концентрації метану та дослідження можливості застосування у водному середовищі є актуальними.

Дисертаційна робота С.М. Кухтіна зроблена в межах виконання в Харківському національному університеті радіоелектроніки держбюджетної роботи Ф25.4/035 «Дослідження спектрів поглинання метангідратів при високому тиску методом модуляційної лазерної спектроскопії». Частина досліджень із застосуванням експериментального обладнання виконувалась згідно з договором №114 про науково-технічну співпрацю між інститутом сцинтиляційних матеріалів НАНУ та Харківським національним університетом радіоелектроніки в рамках проекту «Дослідження умов формування та оптимізації спектра випромінювання твердотілих чіп лазерів для практичного використання».

Аналіз змісту дисертаційної роботи

У **вступній частині** обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовані мета, об'єкт і предмет дослідження, визначені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію, дана характеристика публікацій.

В **першому розділі** зроблено огляд найбільш ефективних методів лазерної спектроскопії метану в повітрі. Проаналізовано недоліки і переваги методів абсорбційної спектроскопії і особливості реалізації вимірювальних схем на їх основі. На підставі аналізу встановлено, що, незважаючи на високі показники чутливості (до 1 частки на 10 мільярдів), ці методи лазерної спектроскопії мають досить вузьку область



застосування, причому деякі з них можуть застосовуватись лише в лабораторних умовах. Основні обмеження - вузький діапазон вимірювань, складність вимірювальних систем, довгий час відгуку, складність застосування в природних умовах.

Детально розглянуто метод модуляційної лазерної спектроскопії, сформульовано його переваги у порівнянні з методами довгих оптичних трас, оптичних резонаторів, акустооптичної спектроскопії, а також принципи його реалізації.

Розглянуто сучасний стан методів вимірювання концентрації метану в воді. Безпосередньо вимірювання у водному середовищі можливі із застосуванням спектроскопії комбінаційного розсіяння, причому мінімально вимірювальні концентрації на теперішньому етапі не дозволяють проводити ефективні вимірювання у водному середовищі. Використання оптичних методів у більшості опублікованих робіт зводиться до вимірювання концентрації метану у газовій фазі з використанням пристроїв для дифузії метану з води. Причому сам процес виділення метану неефективний, з суттєвим впливом зовнішніх факторів, що безпосередньо впливають на достовірність вимірювань.

На основі літературного огляду зроблено висновок, що метод модуляційної спектроскопії являється найбільш перспективним для побудови дистанційних вимірювальних систем для роботи в атмосфері і в водному середовищі.

У другому розділі розглянуто особливості спектру поглинання метану:

- детально розглянуто весь спектр метану, основні спектральні полоси поглинання та їх природу;
- проведено аналіз лазерних джерел, і на основі аналізу обрано діоди з розподіленим зворотнім зв'язком, як найбільш прийнятний тип для джерел випромінювання в вимірювальній апаратурі;
- визначено найбільш прийнятні полоси поглинання з урахуванням наявних лазерних джерел та особливостей застосування методу модуляційної лазерної спектроскопії.

У третьому розділі проведено аналіз форми ліній поглинання метану. Розглянуто основні причини розширення спектральних ліній. У більшості випадків атмосферні вимірювання ведуться по лініям, які мають лоренцовський контур. Вимірювання при низьких тисках (до 0,1 атм) потребують урахування гаусівського характеру лінії.

Проведене математичне моделювання процесу вимірювань методом модуляційної лазерної спектроскопії. Враховується і лоренцовський, і гаусівський контури лінії поглинання, широкий діапазон поглинань, а також вигляд амплітудно-частотної характеристики лазерних діодів. Запропоновано математичні формули для обчислення коефіцієнта поглинання газу, засновані на порівнянні інтенсивності різних гармонік сигналу з вимірювального перетворювача.

Зроблена оцінка похибок методу. Розроблено і проаналізовано методику забезпечення високої точності вимірювань, дано практичні рекомендації щодо вимірювань в широкому діапазоні концентрацій.

Таким чином, розроблена теоретична база для реалізації цього методу.

Четвертий розділ присвячено розгляду спектральних особливостей водного середовища (коефіцієнтів поглинання і розсіяння), як для хімічно чистої води, так і природних вод, де різні приміси суттєво впливають на процес і результати вимірювань. Проведено розрахунок оптимальних оптичних довжин вимірювальних трас. Проаналізовано особливості вимірювань в ближньому інфрачервоному діапазоні – найбільш підходящому для розв'язання поставленої задачі. Сформульовано переваги вимірювань на довжині хвилі 1,65 мкм. Запропоновано формули для розрахунку концентрації розчиненого у воді метану.

В п'ятому розділі описано експериментальні дослідження. Дисертантом розроблена вимірювальна експериментальна установка з використанням лазерного діода та оптичного волокна. Проведено вимірювання в полосі поглинання метану на довжині хвилі 1,65 мкм. Обрано найбільш прийнятну лінію поглинання, проведено вимірювання її характеристик. Експериментально досліджено метод модуляційної спектроскопії при вимірюванні великих поглинань у навколишньому середовищі, підтверджено положення, які сформульовані у розділі 3.

Проведені вимірювання коефіцієнту поглинання в воді на довжині хвилі 1,65 мкм. Ці дані важливі для застосування запропонованого методу.

Наукова новизна результатів

На підставі проведеного аналізу дисертації можна зробити висновок про наявність наукової новизни отриманих результатів, яка полягає в наступному:

1. Розроблено математичну модель методу модуляційної лазерної спектроскопії при довільній величині поглинання лазерного випромінювання аміаком та навколишнім середовищем і амплітудно-частотній характеристиці лазерних діодів.
2. Обґрунтовано метод встановлення частоти лазера на максимум поглинання для забезпечення високої точності вимірювань.
3. Запропоновано математичні формули для обчислення коефіцієнта поглинання метану.
4. Проведено аналіз методичних похибок модуляційної лазерної спектроскопії.
5. Розроблена методика, побудована експериментальна установка і проведено вимірювання коефіцієнта поглинання води на довжинах хвиль, які застосовуються при вимірюванні концентрації метану в воді.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи

Отримані результати дають змогу значно розширити область застосування методу модуляційної лазерної спектроскопії для вимірювань концентрації метану в повітрі, забезпечують можливість дистанційних вимірювань в широкому діапазоні значень поглинання. Це важливо для застосування методу в промисловості, екологічних дослідженнях тощо. Досліджено можливість застосування методу модуляційної лазерної спектроскопії в водному середовищі.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів визначається коректним використанням строгих методів математичної фізики, результатів експериментальних досліджень, порівнянням експериментальних результатів з результатами математичних розрахунків.

Зауваження до дисертаційної роботи:

Суттєвих зауважень до змісту дисертації і її положень нема. Але деякі формулювання такі, коли можна тільки догадуватись, про що йде мова.

1. «Встановлення частоти лазера на максимум поглинання середовища...». Якого середовища? Метану чи навколишнього середовища? Мабуть, метану. Але це треба конкретно вказати.

2. «Розраховано оптимальні довжини вимірювань розчиненого метану у воді». Мабуть, річ іде про довжину бази (довжину проходження випромінювання).

3. «Коефіцієнт поглинання води змінюється на $1,13 \text{ см}^{-1}$ ». Що це означає?


4. «Створено математичну модель методу...». Краще було б «математичну модель процесів...».

Але вищезазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертації С.М. Кухтіна і не стосуються її основних результатів і висновків. Подана до захисту робота є завершеним дослідженням і містить суттєві наукові результати. Вони мають самостійне значення для фізики, а також можуть бути використані на практиці.

Робота за змістом *відповідає спеціальності* 01.04.01 – «Фізика приладів, елементів і систем». Автореферат вірно відображає зміст дисертаційної роботи. Наукові та практичні результати роботи достань повно викладені у публікаціях автора та апробовні на конференціях.

Загальний висновок по роботі

Вважаю, що дисертаційна робота «Модуляційна лазерна спектроскопія метану в повітрі і воді» є завершеним науковим дослідженням, спрямованим на вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності реєстрації метану. За актуальністю обраної теми досліджень, науковою новизною і практичною значимістю результатів, робота задовольняє існуючим вимогам відповідає вимогам, зазначених у п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор Кухтін Сергій Михайлович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – Фізика приладів елементів і систем.

Доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри біофізики та інформаційних технологій
Харківського національного фармацевтичного університету  М. Г. Кокодій

Підпис Кокодія М.Г. засвідчую
Начальник відділу кадрів
Національного фармацевтичного університету



 Подстрелова З.Ф.