

Відзив офіційного опонента

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

Спектральні методи реєстрації речовин мають ряд унікальних особливостей, таких як висока точність вимірювань та відсутність впливу на вимірюване середовище. Серед оптичних спектральних методів широке розповсюдження отримали методи абсорбційної лазерної спектроскопії, що забезпечують вимірювання мінімальних порогових концентрацій реєстрованої речовини. Незважаючи на високу чутливість, деякі обмеження, що властиві цим методам, суттєво звужують область їх використання.

Слід зазначити важливість метану, враховуючи те, що він є основним компонентом природного газу, важливим індикатором біологічних процесів, вносить суттєвий вплив в глобальне потепління.

На теперішній час відсутні ефективні методи реєстрації розчиненого метану у водному середовищі, незважаючи на наявність методів абсорбційної спектроскопії, які є пристосованими до підводних вимірювань. Більшість представлених в літературі робіт пов'язана з вимірюваннями газоподібного метану, що виділяється з води шляхом адсорбції. Критичне значення в цьому випадку мають методики виділення метану, недоліки яких відображаються на достовірності результатів вимірювань.

Перспективним в цьому відношенні є метод модуляційної лазерної спектроскопії. Він має високу чутливість, сумісний з багатопрхідними кюветами, дозволяє реалізувати дистанційні вимірювання через оптичне волокно в режимі реального часу.

Слід зазначити, що основним застосуванням методу модуляційної спектроскопії є вимірювання надмалих поглинань. Застосування його при вимірах порівняно великих поглинань в газових середовищах вивчено недостатньо.

Дисертаційна робота Кухтіна С. М. присвячена вдосконаленню методу частотної модуляційної спектроскопії і його технічній реалізації

ХНУРЕ
Вхідний № 01/27-1125
" 11 " 10 2019 р.

для атмосферних і підводних вимірювань в широкому діапазоні поглинань.

Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, мета роботи, об'єкт і предмет дослідження, визначена наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію і публікації.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено порівняльному аналізу методів лазерної спектроскопії для вимірювання метану в повітрі і розчиненого у воді. Детально розглянуто метод модуляційної лазерної спектроскопії та шляхи реалізації вимірювальних схем з його застосуванням. На основі аналізу встановлено, що значна частина методів лазерної спектроскопії мають суттєві недоліки, до яких слід віднести вузький діапазон вимірювань, складність технічної реалізації, складність застосування у реальних природних умовах.

Впровадження методів оптичної спектроскопії до підводного застосування не дає суттєвих результатів. Спектроскопія комбінаційного розсіяння показує низьку чутливість для ефективного вимірювання метану, методи абсорбційної спектроскопії потребують виділення метану дифузійними елементами і його вимірювання у газовій фазі, що не є ефективним.

Суттєві переваги має метод модуляційної лазерної спектроскопії. Висока чутливість методу дозволяє проводити вимірювання при відносно невеликих шляхах поглинання, що принципово важливо при вимірюваннях у середовищах з високим поглинанням, як вода.

Другий розділ присвячено аналізу спектральних властивостей метану. На основі аналізу сформульовано умови застосування методу для дистанційних вимірювань в атмосфері і воді. Встановлено, що найбільш прийнятною з огляду на реалізацію дистанційних вимірювань метану у воді є смуга поглинання 1,65 мкм та використання лазерних діодів з розповсюдженим зворотнім зв'язком.

У третьому розділі представлена математична модель методу модуляційної лазерної спектроскопії. Розроблено і проаналізовано методику налаштування лазерного джерела для забезпечення малої похибки вимірів. Розраховано методичні похибки при вимірюваннях концентрації метану методом модуляційної лазерної спектроскопії.

Запропоновано практичні рекомендації щодо вимірювань в широкому діапазоні концентрацій.

У *четвертому розділі* розглянуто гідрооптичні особливості води. Проаналізовано особливості вимірювань в ближньому інфрачервоному діапазоні із застосуванням методу модуляційної лазерної спектроскопії. На основі досліджень сформульовано переваги вимірювань на 1,65 мкм з огляду на величини сигналів, що реєструються. Запропоновано вирази для розрахунку концентрації розчиненого метану.

У *п'ятому розділі* проведено вимірювання поглинання метану у ближньому інфрачервоному діапазоні. Проведено експериментальне дослідження методу модуляційної лазерної спектроскопії при вимірюваннях значних концентрацій метану у газових сумішах. Експериментальні дослідження добре корелюють з результатами математичного моделювання. Проведено експериментальні вимірювання коефіцієнту згасання води на довжині хвилі 1,65 мкм.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи.

Отримані результати дозволять впроваджувати ефективні дистанційні вимірювальні системи метану, що важливо для ряду наукових і практичних задач. Дослідження реєстрації розчиненого метану у воді відкривають перспективи запровадження методів, здатних до вимірювань концентрації у реальному часі, що на теперішній час не реалізовано.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів визначається коректним використанням строгих методів математичної фізики, експериментальними дослідженнями.

Робота за змістом відповідає спеціальності 01.04.01 – «Фізика приладів, елементів і систем». Автореферат відображає зміст дисертаційної роботи.

Публікації здобувача

Результати дисертаційної роботи викладено у 17 публікаціях, серед яких 4 патенти.

Наукові результати

До найбільш вагомих наукових результатів, одержаних автором, необхідно віднести теоретичний аналіз лазерної спектроскопії, на основі якої побудована математична модель модуляційної лазерної спектроскопії

з тією відмінністю, що при цьому не має обмежень на величину поглинання.

Достатньо ефективно дисертант застосував метод модуляційної лазерної спектроскопії до визначення концентрації метану у воді. Відмітимо результати метрологічного аналізу методу модуляційної лазерної спектроскопії, який дозволив виявити точні характеристики даного методу.

В цілому дисертаційна робота Кухтіна С. М. є вирішенням актуальної науково-технічної задачі, в якій одержаний ряд важливих наукових результатів, важливих для практичного застосування

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Оскільки розроблена в дисертації математична модель модуляційної лазерної спектроскопії за довільної величини поглинання то повинна була визначена межа інтенсивності, починаючи з якої лінійна модель не працює, тому що включаються нелінійні процеси.

2. Торкаючись точностних характеристик методу, необхідно вказати на те, що сучасний підхід полягає у встановленні невизначеностей замість похибок. Необхідно було б записати бюджет невизначеностей.

3. В дисертації не приділено уваги метрологічним характеристикам створеної вимірювальної системи, а в результатах досліджень визначені тільки методичні похибки.

4. В роботі досліджений коефіцієнт дистильованої води, проте варто б було провести більш реальний експеримент

5. В тексті дисертації присутні русизми, широко використовуються термін виміри (результат) замість вимірювання (процес).

Проте вищезазначені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота «Модуляційна лазерна спектроскопія метану в повітрі і воді» є завершеним науковим дослідженням, направленим на вирішення актуальної науково-прикладної задачі розширення області застосування методу модуляційної лазерної спектроскопії та підвищення його ефективності. За актуальністю обраної теми досліджень, науковою новизною і практичною значимістю їх результатів робота задовольняє існуючим вимогам 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 технічних наук, професор,
лауреат Державної премії

Л. А. Назаренко

Підпис професора Назаренка Л.А. засвідчую:

Вчений секретар
ХНУМІ ім. М.О. Бекетова
Д.Т.Н., доц.
(М.П.)



Д. В. Тугай