

Ю.П. Мачехін, С.М. Кухтін, С.М. Башенко, А.М. Негрійко

## Принцип дистанційного контролю наявності розчинених газів у водному середовищі

Надається методика, яка дозволяє проводити дистанційну оцінку малих концентрацій газів, розчинених у воді на великих глибинах, в основі якої лежить використання методу модуляційної лазерної спектроскопії в комбінації з використанням волоконно-оптичної лінії зв'язку. Показані особливості та переваги використання методу модуляційної лазерної спектроскопії для спектрального аналізу у водних середовищах з великим згасанням. Розроблена структурна схема вимірювальної системи, основними частинами якої є одномодова волоконно-оптична лінія зв'язку, лазерний діод, який перебудовується за частотою, і датчик у вигляді порожнистого дзеркального еліпсоїдального відбивача. Розглянуто принцип самофокусування випромінювання в зазначеному датчику. Оцінена доцільність застосування модуляційної лазерної спектроскопії та вимірювальної системи для задач аналізу водних середовищ.

### Вступ

Однією з важливих складових частин технічного розвитку сучасних систем реєстрації та оцінки концентрації розчинених газів у воді є розробка нових методик та апаратних засобів, які б дозволили проводити виміри з високою точністю в природних умовах. Серед широкого кола відомих оптичних спектральних методів вимірювання концентрації газів лише незначна кількість може бути використана у реальних природних умовах, оскільки до останнього часу ці методи були лабораторними, використання яких було можливе тільки в умовах спеціально побудованих лабораторій. Методи оптичної поглинаючої спектроскопії безумовно забезпечують необхідний рівень якості вимірювань, однак їхня реалізація для реєстрації малих концентрацій газів [1] обмежена не тільки можливостями сучасної лазерної спектральної техніки, а також умовами їх використання. Наприклад, використання спектроскопічних методів для вимірювання концентрації розчинених газів у водному середовищі дуже проблематично, оскільки умови знаходження розчиненого газу при високому тиску та зниженій температурі можуть принципово впливати на спектральні лінії поглинання.

Впровадження методів лазерної поглинаючої спектроскопії для вимірювань у воді, також як і усіх оптичних методів, потребує вирішення низки фундаментальних та практичних завдань. По-перше, випромінювання у видимому та, особливо, ближньому інфрачервоному (ІЧ) діапазонах має великий рівень поглинання та розсіювання у водному середовищі, у зв'язку з чим необхідно забезпечити оптимальні умови взаємодії лазерного випромінювання з дослідним середовищем, при яких ефект спектроскопічного поглинання на окремих лініях буде перевищувати загальний рівень поглинання оптичного випромінювання. По-друге, спектроскопічні вимірювання у водному середовищі мають сенс у разі, коли чітко відомі довжини хвиль ліній поглинання дослідних газів, розчинених у воді. Значення частот ліній поглинання газів,

© Ю.П. Мачехін, С.М. Кухтін, С.М. Башенко, А.М. Негрійко, 2010

які наведені у багатьох спектроскопічних таблицях для нормальних значень температури та тиску, можуть відхилятися від стандартних значень, при цих умовах. По-третє, проблема практичного використання методів лазерної спектроскопії пов'язана з тим, яким чином лазерне випромінювання передається до місця вимірювання, з причини великого коефіцієнту ослаблення електромагнітного випромінювання у воді.

У зв'язку з необхідністю вирішення цих питань, метою даної роботи була розробка нового принципу контролю та вимірювання концентрації газів, розчинених у водному середовищі методом модуляційної лазерної спектроскопії для проведення вимірювань у воді шляхом використання волоконно-оптичних систем передавання лазерних інформаційних сигналів.

### **Принцип дистанційного контролю газів у водному середовищі**

Широко відомо, що дистанційна реєстрація та контроль газів у повітрі базується на використанні лазерних лідарів, які забезпечують вимірювання середнього рівня концентрації газів уздовж шляху розповсюдження лазерного випромінювання.

Використання лазерних лідарів у воді неможливо у зв'язку з великим рівнем поглинання лазерного випромінювання. Альтернативою лідарам для проведення оцінки концентрації тих чи інших газів, розчинених у водному середовищі, можуть слугувати волоконно-оптичні системи з використанням волоконно-оптичних світловодів. Такі системи забезпечують передавання оптичних сигналів на відстань довжини волоконної лінії у водному середовищі з дуже малими втратами, зумовленими поглинанням у самому оптичному волокні. У той же час волоконна система дає можливість проводити виміри дистанційно, без присутності апаратури для реєстрації сигналів у місці проведення вимірів.

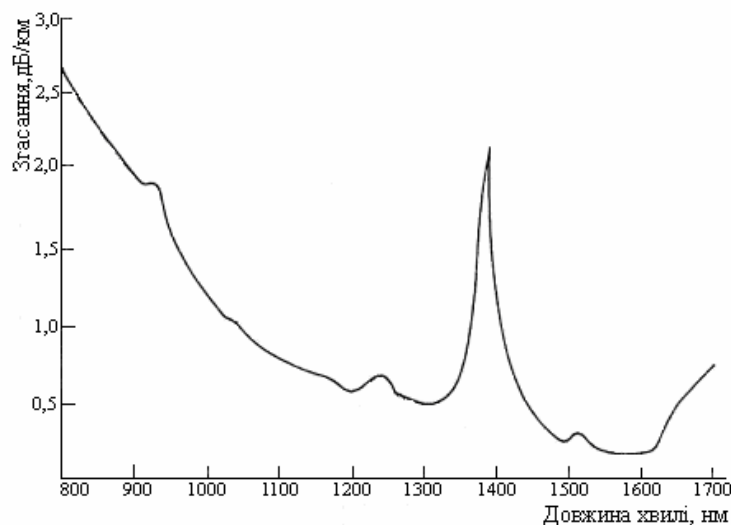
Слід відмітити, що використання оптичного волокна накладає певні обмеження на спектральний діапазон можливих вимірювань. Ці обмеження пов'язані з вікнами його прозорості. Спектральна залежність поглинання оптичного волокна, яке виготовлено промисловим способом, залежить, в свою чергу, від різноманітних типів використаного оптичного скла та плавленого кварцу. На мал. 1 показано, як поглинання одномодового оптичного волокна залежить від довжини хвилі випромінювання.

Одномодове оптичне волокно, яке використовується у сучасному одномодовому оптичному зв'язку, має мінімальне поглинання на рівні 0,19 – 0,21 дБ/км у спектральному діапазоні 1450 – 1650 нм та біля 1350 нм.

У таблиці наведені гази, для яких відомі довжини хвиль ліній поглинання у спектральному діапазоні одномодового оптичного волокна, у контролі за якими можуть бути зацікавлені екологічні, індустриальні або енергетичні організації.

Технічно усі гази, що мають лінії поглинання в діапазонах вікон прозорості оптичного волокна, можливо реєструвати з використанням волоконно-оптичної системи, до складу якої входять лазери з відповідними довжинами хвиль.

На мал. 2 наведена залежність коефіцієнта поглинання електромагнітного випромінювання оптичного, інфрачервоного та мікрохвильового діапазонів дистильованою водою в залежності від довжини хвилі.



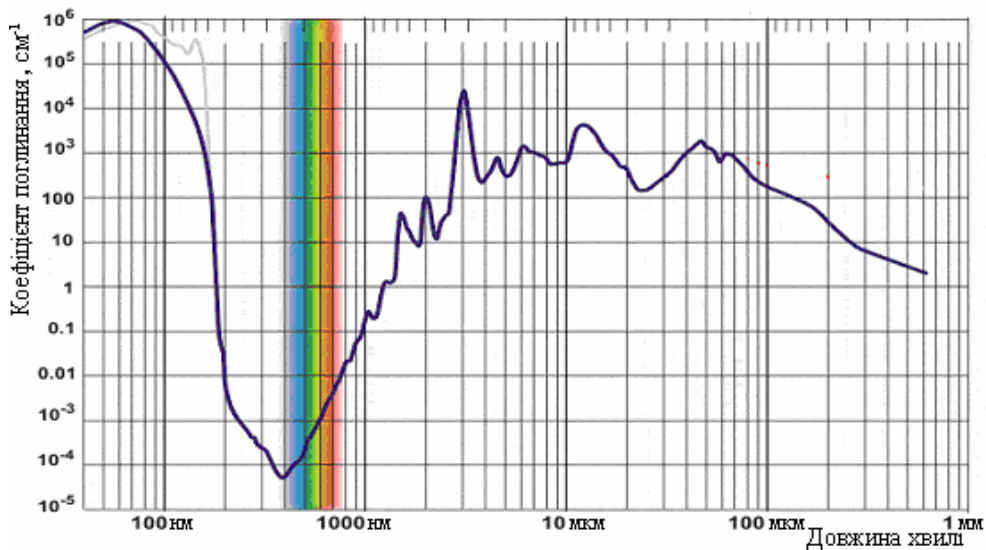
М а л. 1. Поглинання оптичного випромінювання волокном

Т а б л и ц я

Газ	Значення довжин хвиль ліній поглинання, мкм
HF	1,33
HBr	1,34
H <sub>2</sub> O	1,393
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,524
NH <sub>3</sub>	1,544
CO	1,567
CO <sub>2</sub>	1,573
H <sub>2</sub> S	1,578
CH <sub>4</sub>	1,650
O <sub>2</sub>	1,2683

З наведеного графіку слідує, що найбільш прозорою є ультрафіолетова та видима частини випромінювання з мінімальним коефіцієнтом поглинання (на мал. 2 ця область відзначена більш темними шарами). Але треба розуміти, що це поглинання зумовлене чистою дистильованою водою. Впровадження практичних вимірювань концентрації розчинених газів у водоймищах потре-

бує врахування особливостей спектру поглинання природної води, які, в свою чергу, залежать від її типу. У природної (морській або прісній) води, крім молекулярного, присутнє поглинання, зумовлене органічними сполуками, яке може значно перевищувати перше за величиною [2]. З огляду на ці обставини, найбільш прийнятною для проведення вимірів є ближня ІЧ-область, яка є прозорою для органічних сполук. Молекулярні гази, такі як метан, аміак, мають лінії поглинання саме у цій області (1500 – 1650 нм).

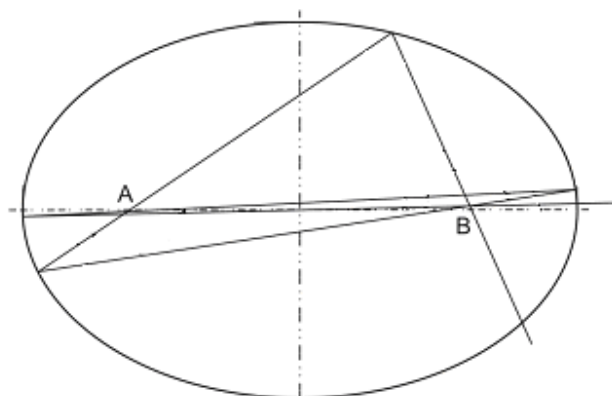


М а л. 2. Спектр поглинання води

На прикладі рішення завдання з пошуку, контролю та вимірювання концентрації метану у морській воді, в роботі проведені дослідження умов використання лазерної спектроскопії з волоконно-оптичною системою для вивчення стану водних середовищ.

Принциповим елементом волоконно-оптичної системи є датчик, який забезпечує вихід випромінювання з оптичного волокна у водне середовище, взаємодію з ним та фокусування випромінювання у вихідне оптичне волокно для його повернення до апаратури для реєстрації сигналів. Використання лінзових оптичних елементів у складі датчика для формування лазерних пучків у водному середовищі при високому тиску дуже проблематично, у зв'язку з тим, що високий тиск води може деформувати чи вплинути на юстування лінзових елементів, що, в свою чергу, вплине на фокусуєчі можливості датчика і, як наслідок, на потужність сигналу, що приймається апаратурою. Як альтернатива датчику з лінзовими елементами в роботі було обрано рішення використати датчик на основі оптичного елемента з внутрішньою дзеркальною еліпсоїдальною поверхнею, з вхідним та вихідним оптичними волокнами. Принцип роботи датчика заснований на фундаментальній геометричній здатності еліпса як фігури до фокусування. Будь який еліпсоїд (як фігура обертання еліпсу), що має дзеркальну поверхню, може фокусувати оптичне випромінювання, за умовою, що воно виходить з одного з його фокусів. На

мал. 3 показано хід оптичного променя у межах еліпса з фокусами *A* і *B*, який демонструє, що кожний промінь, проходячи через фокус еліпса після декількох відбиттів від дзеркальної еліптичної внутрішньої поверхні, наближається до великої вісі еліпса [3].



Мал. 3. Хід оптичного проміння у еліпсі з фокусами *A* і *B*

Таким чином, випромінювання з великою розбіжністю (яким є випромінювання з відкритого кінця оптичного волокна) після декількох проходів у внутрішньому просторі еліпсоїда можна сфокусувати у точку на його поверхні, розмір якої буде залежати від ідеальності виготовлення еліпсоїдальної поверхні. Базуючись на цій властивості еліптичної поверхні, було досліджено, що у разі, коли вільний кінець волокна (з розміром центральної жили 10 мкм) розташований у фокусі еліпсоїда, усе випромінювання може бути сфокусовано у другий кінець оптичного волокна, по якому воно повертається до апаратури для реєстрації [4, 5].

У тому разі, якщо еліпсоїд розміщено у воді, то лазерне випромінювання має можливість взаємодіяти з газами у воді і в той же час формуватися у оптичний пучок, який буде спрямований у оптичне волокно. Конструктивно цей датчик може ефективно працювати при будь якому водному тиску.

Структура запропонованої волоконно-оптичної системи включає лазерний випромінювач з системами контролю, стабілізації і модуляції частоти (довжини хвилі) випромінювання і приймально-обробляючої апаратури, яка забезпечує розміщення на поверхні води або землі.

У разі використання волокна як засобу доставки лазерного випромінювання до місця вимірювання, відсутня можливість контролю потужності випромінювання на його кінці. Таким чином, неможливо використати класичну поглинаючу спектроскопію, орієнтуючись на зменшення відомого рівня потужності при взаємодії з середовищем поглинання. Методом, який може забезпечити дистанційний контроль та вимірювання концентрації газів, є метод модуляційної лазерної спектроскопії [6]. Цей метод дозволяє за допомогою модуляції довжини хвилі лазерного випромінювання налаштуватися на максимум лінії поглинання дослідного газу, тим самим виключити вплив згасання у волоконній лінії та у воді. Тому у роботі для вимірювання концентрації

газів пропонується використовувати лазери з шириною лінії випромінювання значно меншою, ніж ширина ліній поглинання дослідних газів, що дає можливість «прописати» лінію поглинання і, таким чином, оцінити рівень поглинання [1].

На прикладі метану в роботі досліджено умови реєстрації молекулярних газів з використанням модуляційного методу.

Поглинання оптичного випромінювання на частоті  $\nu$  у метані можна описати з використанням коефіцієнта поглинання  $\alpha(\nu)$ , обумовленого лоренцевою формою лінії поглинання [7]:

$$\alpha(\nu) = \alpha_0 \gamma^2 / ((\nu - \nu_0)^2 + \gamma^2), \quad (1)$$

де  $\nu$  – частота лазерного випромінювання;  $\nu_0$  – центральна частота лінії поглинання;  $\alpha_0$  – поглинання на центральній частоті;  $\gamma$  – півширина лінії на піввисоті.

Частота лазерного випромінювання  $\nu$  з модуляцією може бути описана як

$$\nu = \nu_1 + \nu_m \cos(2\pi ft), \quad (2)$$

де  $\nu_1$  – не збуджена частота випромінювання лазера;  $\nu_m$  – амплітуда девіації частоти випромінювання лазера;  $f$  – частота модуляції.

Коефіцієнт поглинання (1) з урахуванням (2) можна записати так:

$$\alpha(\beta) = \alpha_0 / ((\beta + \delta \cos(2\pi ft))^2 + 1) = \alpha_0 \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(2\pi nft), \quad (3)$$

де  $\beta = (\nu_1 - \nu_0) / \gamma$ ;  $\delta = \nu_m / \gamma$ .

Коефіцієнти ряду Фур'є  $a_n$  обчислюються за формулами Ейлера – Фур'є. Потужність лазерного випромінювання  $W$ , що реєструється після поглинаючого середовища, містить гармоніки частоти модуляції. Для розв'язання питань придатності методу, що розробляється в роботі, у вираженні для  $W$  варто лишити не більше трьох гармонік у розкладанні Фур'є, оскільки подальші гармоніки дуже малі за значенням і їх можна не враховувати:

$$W(\beta) = \chi_0(\beta, \delta) + \chi_1(\beta, \delta) \cos(2\pi ft) + \chi_2(\beta, \delta) \cos(2\pi 2ft) + \chi_3(\beta, \delta) \cos(2\pi 3ft). \quad (4)$$

Величини  $\chi_0$ ,  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ ,  $\chi_3$  визначаються через коефіцієнти ряду Фур'є  $a_n$ . Метод визначення концентрації метану заснований на одночасній реєстрації двох величин –  $\chi_2$  і  $\chi_3$ . Оскільки максимальне поглинання відбувається в центрі лінії поглинання, тобто на частоті  $\nu_0$ , то забезпечити реєстрацію збігу частоти випромінювання  $\nu_1$  з частотою центру лінії поглинання  $\nu_0$  можна за коефіцієнтом  $\chi_3$ , що у цій точці перетворюється у нуль. При реєстрації  $\chi_2$  визначається необхідна для розрахунку концентрації величина.

Зареєструвати збіг частот  $\nu_1 = \nu_0$  можна за амплітудою будь якої з непарних гармонік розкладання, що стають рівними нулю, тільки тоді, коли  $\beta = 0$ , що відповідає умові  $\nu_1 = \nu_0$ . Тому інформативними є тільки амплітуди парних гармонік. Амплітуда другої гармоніки має максимальне значення у центрі лінії поглинання, тобто коли  $\beta = 0$ . Реєструючи амплітуду другої гармоніки, що несе інформацію про концентрацію газу у встановленій частотній точці центру лінії поглинання, можна знайти величину концентрації газу:

$$\chi_2(0, \delta) = 2W_0 S [2 + \delta^2 - 2(1 + \delta^2)^{1/2}] / \delta^2 (1 + \delta^2)^{1/2} \alpha_0 C_{\text{метан}} \quad (5)$$

де  $W_0$  – вихідна потужність лазера;  $S$  – площа взаємодії;  $C_{\text{метан}}$  – концентрація метану.

Щоб виключити вплив нестабільності потужності випромінювання, необхідно реєструвати амплітуду другої гармоніки, нормовану на загальну потужність реєстрованого випромінювання, тобто

$$\chi_2 / \chi_0 = 0,343 \alpha_0 C_{\text{метан}} \quad (6)$$

Таким чином, використання модуляційної лазерної спектроскопії дозволить не тільки контролювати, але й вимірювати концентрацію дослідного газу.

Спектри поглинання вуглеводнів вивчено дуже добре. Зокрема для головного представника – метану – складено детальні бази спектроскопічних даних.

Відповідно до них основні полоси поглинання метану припадають на ІЧ-діапазон. Так, діад-смуга простягається від 855 до 2078  $\text{см}^{-1}$ , має структуру з 27 смуг та 65500 ліній і загальну інтенсивність  $5,25 \cdot 10^{-18} \text{ см}^{-1}/\text{мол} \cdot \text{см}^{-2}$ . Найпотужніша пентад-смуга простягається від 1929 до 3476  $\text{см}^{-1}$ , має структуру з 34 смуг та близько 77400 ліній і загальну інтенсивність  $1,14 \cdot 10^{-17} \text{ см}^{-1}/\text{мол} \cdot \text{см}^{-2}$ . Далі іде октад-смуга, яка простягається від 3370 до 4810  $\text{см}^{-1}$ , має структуру з 9 смуг та 57330 ліній і загальну інтенсивність  $9 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-1}/\text{мол} \cdot \text{см}^{-2}$ . Тетрадекад-смуга простягається від 4800 до 6185  $\text{см}^{-1}$ , має структуру з 4 смуг та 2632 ліній і загальну інтенсивність  $1,22 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-1}/\text{мол} \cdot \text{см}^{-2}$ .

Останнім часом досліджуються обертальні смуги поглинання метану в ближньому ІЧ-діапазоні, наприклад 7500, 9000  $\text{см}^{-1}$ , і впритул до видимого діапазону: смуги 890, 727 та 620 нм.

Слід відзначити, що переважна більшість досліджень спектрів поглинання метану проводиться при температурах 15 – 25°C і тисках від атмосферного, а найчастіше до десятих – сотих його часток (з метою вивчення тонкої структури). Об'єктом наших досліджень є метан, розчинений у морських та океанських глибинах. Оскільки характерні умови при цьому – це відносно низькі температури близько 4°C, та тиски 50 – 100 атм і більше, що відповідають глибинам, починаючи з 500 – 1000 м, то важливою стає інформація про вплив понижених температур та підвищеного тиску на спектри поглинання метану.

Дослідження впливу тиску на положення та ширину окремих ліній у смугах поглинання метану дають значення  $-0,01 \dots -0,015 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$  в залежності від конкретного переходу. Слід відзначити, що теоретичні дослідження дають

20 – 100% точність, а експериментальні – 5 – 3%, але експериментальні дослідження проведено для дуже незначної частини ліній – не більше 2%. Підрахунки показують, що навіть при максимально можливих тисках до 500 атм, що відповідають глибинам 5000 м, до яких ще можна гіпотетично добиратися, зсув ліній не перевищуватиме одиниць – десятків  $\text{см}^{-1}$ , що в діапазоні довжин хвиль, наприклад 1 мкм, становить величину порядку 30 ГГц, що, в свою чергу, на 2 порядки більше, ніж ширина лінії напівпровідникового лазера – 200 МГц. Ці оцінки підтверджують принципову придатність напівпровідникового лазера з вузькою лінією випромінювання для задач детектування ліній у спектрах поглинання метану з урахуванням зсуву, обумовленого тиском.

Що стосується впливу температури на спектри поглинання метану, то слід відзначити, що головним чином в літературі наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень, проведених як при великих температурах – сотні і тисячі градусів за Цельсієм, так і при низьких – 77К. Це пояснюється практичною спрямованістю цих досліджень: процеси горіння, атмосфери планет тощо.

Роботи, в яких були б наведені результати досліджень при такому незначному зниженні температури метану – від стандартної 18 – 20 до 4 – 5°C, – практично відсутні. Тому можна лише прийняти до уваги загальні висновки теоретичної роботи, які припускають, головним чином, зменшення інтенсивності ліній із незначними звуженням та зсуванням по частоті. Ці висновки в загальному вигляді можуть бути апроксимовані для молекул метану і згаданого діапазону зміни температури, для якого звуження та зсув ліній спектру метану будуть набагато менші ніж ті, що обумовлені збільшенням тиску.

#### **Структурна схема лазерної системи для пошуку метану у водному середовищі та принцип її дії**

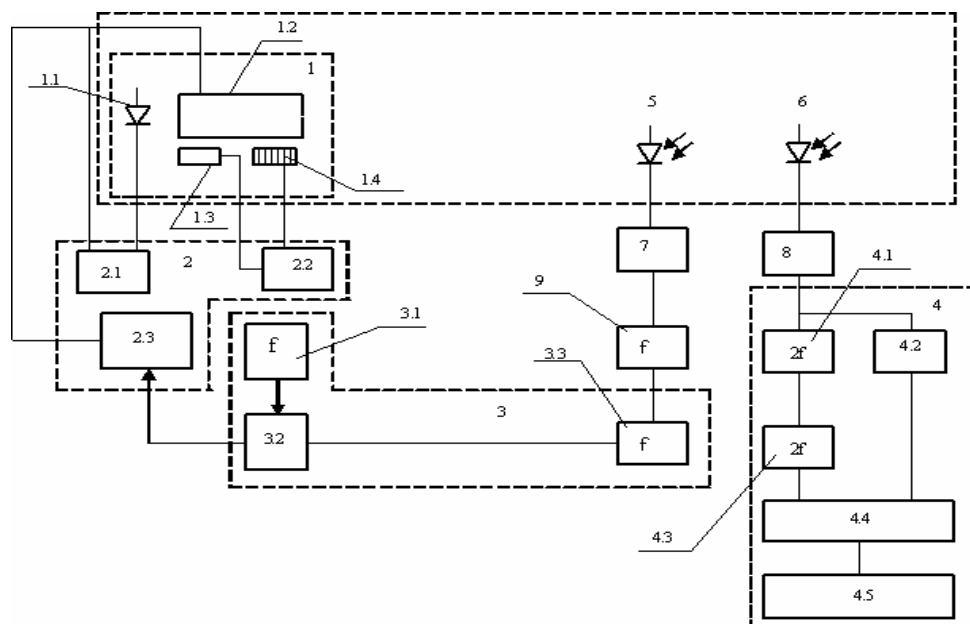
Розроблена лазерна система базується на використанні лазерів, частота випромінювання яких співпадає з частотою лінії поглинання дослідного газу. Тому в системі використовуються напівпровідникові лазери у ІЧ-діапазоні, які мають достатньо широкий діапазон температурної перебудови частоти. На мал. 4 наведена структурна схема розробленої приймально-випромінюючої системи, яка забезпечує реалізацію модуляційного лазерного методу реєстрації метану.

Принциповою особливістю цієї системи є стабілізація частоти та потужності лазера, що забезпечує збіг частоти випромінювання з центром лінії поглинання газу. Оскільки уся приймально-випромінююча частина знаходиться у нормальних умовах і на відстані від місця контролю, то процес вимірювання може бути перманентним. Універсальність цієї системи дозволяє проводити зміну лазера в залежності від дослідного газу. Принцип роботи системи дозволяє згрупувати декілька лазерів і використовувати усю систему для реєстрації декількох газів.

На практиці вся представлена апаратура розміщується у приміщенні підготовленому для роботи оптоелектронної апаратури. Випромінювання лазера *LD1650* вводиться в оптичне одномодове волокно, по якому надходять до місця реєстрації метану. Довжина оптичного волокна між лазерним джерелом *I* і



фотоприймачем *б* повинна бути понад 1000 м, щоб забезпечувати дослідження на різних глибинах. Після лазерного джерела *1* стоїть волоконний відгалужувач, який направляє частину випромінювання через референтну комірку на фотодіод *5*. Сигнал з фотодіода *5* використовується у процесорі *3* для стабілізації частоти лазера *1* по центру лінії поглинання метану.



**М а л. 4.** Структурна схема приймально-випромінюючої частини експериментального пристрою: *1* – лазерне джерело LD1650 (з вбудованими елементами контролю і керування): *1.1* – контрольний фотодіод, *1.2* – кристал лазера, *1.3* – термістор системи контролю температури, *1.4* – термоперетворювач типу ТЕМО-3; *2* – система живлення і керування режимом роботи лазера: *2.1* – стабілізатор потужності випромінювання, *2.2* – блок контролю і стабілізації температури кристалів лазерів, *2.3* – блок живлення лазерів; *3* – сигнальний цифровий процесор керування роботою: *3.1* – генератор сигналу модуляції  $f$ , *3.2* – система стабілізації частоти лазера, *3.3* – синхронний детектор  $f$ ; *4* – блок реєстрації і обробки сигналів: *4.1* – селективний підсилювач  $2f$ , *4.2* – підсилювач зі сталим струмом, *4.3* – синхронний детектор  $2f$ , *4.4* – суматор сталих сигналів, *4.5* – комп’ютер; *5* – фотоприймач системи стабілізації частоти; *6* – фотоприймач системи вимірювання концентрації газу; *7* – широкосмуговий підсилювач (на базі операційного підсилювача); *8* – широкосмуговий підсилювач (на базі операційного підсилювача); *9* – селективний підсилювач  $f$

Треба відмітити, що найбільш складним з точки зору реалізації системи є оптичний датчик, працюючий у воді. З цієї причини наступним етапом розвитку робіт буде експериментальне дослідження роботи датчика у воді.

Робота виконана за підтримкою Державного фонду фундаментальних досліджень України, проект № Ф 25.4\_0.35.

## Посилання

1. *Летохов В.С., Чеботаев В.П.* Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. – М.: Наука, 1975. – 280 с.
2. *Иванов А.П.* Физические основы гидрооптики. – Минск: Наука и техника, 1975. – 498 с.
3. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1964. – 520 с.
4. *Литвиненко А.С., Мачехін Ю.П., Прусихін О.В.* Патент на винахід № 80894. Датчик газовий оптичний із змінною чутливістю. Зареєстрований в Державному реєстрі патентів України на виноходи 12.12.2007.
5. *Литвиненко А.С., Мачехін Ю.П.* Патент на корисну модель № 30232. Волоконно-оптичний суматор випромінювань. Зареєстрований в Державному реєстрі патентів України на виноходи 25.02.2008.
6. *Silver J.A.* Frequency modulation spectroscopy for trace species detection: theory and comparison among experimental methods // *Appl. Opt.* – 1992. – 31, № 5. – P. 707 – 731.
7. *Мачехин Ю.П.* Основные принципы построения волоконно-оптической системы регистрации метана в воздухе // *Прикладная электроника.* – 2005. – 4, № 3. – С. 326 – 331.

Інститут фізики НАН України,  
Київ  
E-mail: Yuri\_m49@mail.ru

Матеріал надійшов  
у редакцію 20.01.09  
Після дороблювання 17.12.09

Харківський національний університет радіоелектроніки  
E-mail: sergeikukhtin@hotmail.com

**АННОТАЦИЯ** Представлена методика, позволяющая проводить дистанционную оценку малых концентраций газов, растворенных в воде на больших глубинах. Показаны особенности и преимущества использования метода модуляционной лазерной спектроскопии для спектрального анализа в водных средах с большим затуханием. Разработана структурная схема измерительной системы, основными частями которой являются одномодовая волоконно-оптическая линия связи, перестраиваемый по частоте лазерный диод и датчик в виде полого зеркального эллипсоидального отражателя. Рассмотрен принцип самофокусировки излучения в указанном датчике. Оценена целесообразность применения модуляционной лазерной спектроскопии и измерительной системы для задач анализа водной среды.

**ABSTRACT** Method permitting to perform remote estimation of low concentrations of gas dissolved in water on great depths is presented. Features and advantages of application of the method of modulation laser spectroscopy for spectral analysis in water environment with high attenuation are shown. Developed is the structure scheme of a measuring system the main parts of which are a single mode fiber optic line, a tunable laser diode and an optical detector based on a reflective ellipsoidal chamber. The principle of self focusing in the stated sensor is considered. Expediency of application of the modulation laser spectroscopy method and the measuring system for water environment analysis is evaluated.