

УДК 631.52:621.3.08

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ГАЗООБМІНУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Куценко Ю.М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-31-59

**Анотація** – робота присвячена аналізу методів дослідження функцій газообміну біологічних об'єктів.

**Ключові слова** – біологічні речовини, газообмін, діелектрична проникність газу.

*Постановка проблеми.* Методи дослідження газообміну біологічних об'єктів рослинного і тваринного походження розроблялися впродовж двох століть і ґрунтувалися на різних принципах вимірювання, таких як манометрія, амперметрія, маспектрометрія, радіометрія, оптико-акустичний і парамагнітний аналіз газів та ін.

Вимірювання в цій галузі пов'язані з визначенням кількості вуглекислого газообміну рослин і насіння, засновані на поглинанні  $\text{CO}_2$  лугом. Принцип вимірювання полягає у визначенні вуглекислоти шляхом кількісного поглинання її розчином лугу і подальшого виміру концентрації цього розчину відносно до контрольного [1,2].

*Аналіз останніх досліджень.* Для визначення концентрації розчину, що поглинає вуглекислоту, використовують способи титрування: об'ємне – розчином кислоти у присутності індикатора, електрометрія – за величиною омичного опору лугу та ін. Прилади на основі об'ємного титрування, не дивлячись на широке вживання, відрізняються громіздкістю, крихкістю із-за скляних частин, обмеженою точністю вимірювань [3].

Прилади електрометрії, маючи високу чутливість вимірювань ( $0,004 \text{ мг CO}_2/\text{л}$ ), не дають можливості отримати дуже важливу для дослідження процесу газообміну концентрацію  $\text{CO}_2$  в повітрі в момент вимірювань [4,5].

Методи, що засновані на вимірюванні рН розчину при його контакті з досліджуваним повітрям, з подальшим обчисленням за отриманими даними концентрації вуглекислоти в повітрі, є одними з кращих. Методи виміру рН, не дивлячись на високі показники якості, мають істотні недоліки, до яких слід віднести візуальне визначення вимірювальної величини і значні похибки вимірювань [6, 7].

Вимірювання вуглекислоти за поглинанням інфрачервоного випромінювання, на основі якого розроблені оптико-акустичні газоаналізатори, відрізняється високою чутливістю і точністю вимірів газообміну (до 0,001% CO<sub>2</sub>) [8]. Проте, інерційність вимірювань і необхідність очищення досліджуваного повітря від водяної пари, що має максимум поглинання в інфрачервоній області спектру, є істотними недоліками цього способу вимірювання [3].

Особливу групу визначення газообміну складають комплексні методи. За їх допомогою можна визначити, як кількість виділеної вуглекислоти, так і об'єм поглиненого кисню. Вуглекислота визначається шляхом поглинання її лугом, а кисень – шляхом виміру об'єму води, що заповнює об'єм судини киснем по мірі зміни його об'єму.

Позитивною стороною описуваних методів є можливість визначати як вуглекислоту, так і кисень, проте їх чутливість і точність невелика, і тому в більшості випадків при використанні цих методів потрібні тривалі експозиції [3].

При поглибленому аналізі газообміну слід проводити одночасний вимір газообміну біологічних речовин за кількістю виділеного або поглиненого кисню. Зазвичай при цьому проба газу доторкається до розчину пірогалолу, і весь кисень, що був в пробі, поглинається ним. За зміною об'єму газу роблять висновки про концентрацію кисню, але такі виміри не дають можливості достовірно судити про процеси газообміну [3,9].

Точні результати дає метод, що заснований на застосуванні маспектроскопічних вимірів вмісту компонентів в газовій суміші. Даний метод знайшов застосування для досліджень газообміну із стабільними і радіоактивними ізотопами. Не дивлячись на простоту принципу виміру, практичне його здійснення супроводжується багатьма труднощами і вимагає складної електронно-вакуумної апаратури [3,9,10].

З усіх методів дослідження газообміну щодо кисню найбільш широкого поширення здобув манометричний [3]. Перевагою манометрії є висока чутливість, реєстрація показників за короткий проміжок часу, можливість роботи при високому вмісті кисню і одночасне вивчення газообміну двох газів (CO<sub>2</sub> і O<sub>2</sub>). Через вказані переваги манометричний спосіб займає особливе положення навіть порівняно з таким методом, як оптико-акустичний [3,9].

Як основа манометричного методу широкого поширення набув метод Варбурга. Зазвичай манометричний прилад є ванною термостата, що забезпечена спеціальним механізмом для зміцнення і приведення в коливальний рух набору манометрів з приєднаними до них на шліфах посудинами [3,9].

*Формування цілей статті.* З розроблених останнім часом приладів манометричного типу заслуговує на увагу респірометр з підви-

щеною точністю і графічним записом процесу газообміну [10]. Поставлена мета досягається за допомогою вживання в мікрореспірометрах стандартних мікропіпеток ( $0,1 \text{ мм}^3$ ) з ціною поділки  $0,001 \text{ мм}^3$ . Тонкий внутрішній діаметр мікропіпетки дозволяє вловлювати незначні переміщення водяного стовпа манометричної рідини. Істотними недоліками розглянутих пристроїв є: необхідність калібрування вимірювальних судин, громіздка і крихка манометрична техніка, неможливість автоматизації процесу вимірів. У зв'язку з вищазазначеним матеріалом, необхідно розробити респірометри, що виключають вказані недоліки.

*Основна частина.* З аналізу літературних даних [3,11,12] маємо, що вимірювання функцій дихання біологічних речовин можна проводити за зміною діелектричної проникності (ДП) газу, що оточує біологічний об'єкт.

Поляризація газу атмосфери, що виникає під впливом поля НВЧ, визначається [12]:

$$P(\omega) = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \left[ \alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \cdot \frac{1}{1 + I\omega\tau} \right], \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність;

$M$  – молекулярна вага;

$\rho$  – щільність газу;

$N$  – число Авогадро;

$\alpha_0$  – середня поляризованість молекулярного газу;

$\mu$  – постійний дипольний момент;

$K$  – постійна Больцмана;

$T$  – абсолютна температура;

$\tau$  – час релаксації.

Для зовнішніх полів з частотою менше 100 ГГц  $\omega\tau \ll 1$  і вираз (1) записується:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \left[ \alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \right] \quad (2)$$

Для неполярних газів  $\mu=0$ , а вираз (2) має вигляд:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N\alpha_0}{3} \quad (3)$$

Вираз (3) для ідеального газу записується:

$$\varepsilon - 1 = K_1 \frac{P}{T} \quad (4)$$

Для полярних газів:

$$\varepsilon - 1 = \frac{\rho}{M} 4\pi N \left[ \alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \right] \quad (5)$$

і з обліком (4):

$$\varepsilon - 1 = K_2 \frac{P}{T} \left( A + \frac{B}{T} \right), \quad (6)$$

де  $K_2, A, B$  – постійні коефіцієнти.

Припускаючи виконання закону про парціальні тиски (закон Дальтона), діелектричну проникність суміші полярних і неполярних газів можна записати у вигляді суми:

$$\varepsilon - 1 = \sum_i K_{1i} \frac{P_i}{T} + \sum_q K_{2q} \frac{Pq}{T} \left( Aq + \frac{Bq}{T} \right). \quad (7)$$

З врахуванням наявності при газообміні вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), сухого повітря і водяної пари, вираз для “ $\varepsilon$ ” має вигляд:

$$\varepsilon - 1 = K_{11} \frac{P_d}{T} + K_{21} \frac{l}{T} \left( A + \frac{B}{T} \right) + K_{12} \frac{P_l}{T} \quad (8)$$

де  $P_d$  – тиск сухого повітря;

$l$  – парціальний тиск водяної пари;

$P_l$  – парціальний тиск  $\text{CO}_2$ .

З аналізу (8) маємо, що з використанням методу вимірів функції дихання біологічних об’єктів за величиною ДП газу відпадає необхідність у визначенні кількості  $\text{O}_2$  і  $\text{CO}_2$ : оскільки будь-які кількісні зміни  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$  будуть пропорційні зміні ДП газу, що оточує об’єкт.

Дієлькометричні методи вимірювання дихання біологічних речовин вимагають високої чутливості вимірів: до  $10^{-8}$  для  $\Delta\varepsilon'$  і  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  для  $\Delta\varepsilon''$ .

З аналізу вимірів ДП газів маємо, що методи резонаторів виміру ДП газів можуть бути використані для виміру функції дихання біологічних об’єктів. Теорія всіх методів проста і справедлива для всіх типів резонаторів. Співвідношення для діелектричних параметрів газу має вигляд [11]:

$$\Delta\varepsilon' = \frac{2\Delta f}{f_0}; \quad \Delta\varepsilon'' = \left( \frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2} \right), \quad (9)$$

де  $\Delta f$  – зміна частоти резонатора при диханні біологічного об’єкта;  
 $Q_0$  і  $Q_1$  – добротності резонатора без газообміну і за наявності газообміну.

*Висновок.* Вимірювання функцій дихання біологічних речовин можна проводити за зміною діелектричної проникності газу, що оточує біологічний об’єкт.

Методи резонаторів виміру діелектричної проникності газів забезпечують достатню чутливість для вимірювання функції дихання біологічних об’єктів.

Література:

1 Бриллиант В.А. Методы изучения фотосинтеза / В.А. Бриллиант //Тр.Бот. ин-та АН СССР. Сер. VI. Эксперим. бот. - Вып.7. - 1950. - С. 358-385.

2 *Санадые Г.А.* Применение титрометрического газоанализатора для определения фотосинтеза и дыхания / Г.А.Санадые //Ботанический журнал, - 1963. - Т.48. - №12. - С. 1796-1799.

3 *Вознесенский В.Л.* Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений / В.Л. Вознесенский, О.В. Заленский, О.А. Семихатова. - М.: Наука, 1965. - 306 с.

4 *Вознесенский В.Л.* Измерение интенсивности фотосинтеза кондуктометрическим методом / В.Л.Вознесенский // Биофизика. - 1996. - Т. V. - №6. - С. 755-757.

5 *Беликов П.С.* Опыт применения инфракрасного газоанализатора (ГИП-5) для определения интенсивности фотосинтеза / П.С. Беликов [и др.] //Изв. Тимирязевск. с-х акад. – 1960. Вып.3 (34). - С. 30-39.

6 *Силева М.Н.* Колориметрический метод определения фотосинтеза и дыхания растений / М.Н. Силева // Бюлл. Гл. бот. сада. - Вып.20. - 1955. - С. 101-106.

7 *Зеленский О.В.* Обзор методов изучения фотосинтеза наземных растений / О.В. Зеленский // Полевая геоботаника. - АН СССР. - М. – Л. 1959. – Т.1.- С. 245 - 311.

8 *Зеленский О.В.* О взаимоотношениях между фотосинтезом и дыханием /О.В. Зеленский // Бот. журн. 1957: Т.42, №11. - С.1674-1690.

9 *А.с. 482652 СССР, МКИ G01N7/00, A01C1/00.* Респирометр для изучения дыхания биологических объектов / Н.С. Пушкарь [и др.] (СССР). №1975685/30-15; заявл. 12.12.73; опубл. 30.08.75, Бюл. №32. – С.104.

10 *Коган Н.А.* Сложные волноводные системы /Н.А. Коган, Б.М. Машковцев, К.Н. Нибизов. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 356 с.

11 *Ахадов Я.Ю.* Диэлектрические свойства чистых жидкостей /Я.Ю.Ахадов - М.: Изд. стандартов, 1972. - 412 с.

12 *Бензарь В.К.* Техника СВЧ влагометрии / В.К. Бензарь - Минск: Выш школа, 1974. - 349 с.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФУНКЦИИ ГАЗООБМЕНА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Куценко Ю.Н.

### ***Аннотация***

**Работа посвящена анализа методов исследования функций газообмена биологических объектов.**

## **ANALYSIS OF METHODS AND DEVICES FOR MEASURING OF BIOLOGICAL OBJECTS GAS EXCHANGE FUNCTION**

Yu. Kutsenko

### ***Summary***

**Analysis of methods of research of biological objects gas exchange functions is considered in the article.**