УДК 681.2.002:664 (075.8)

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНАХ

О. Ю. Синявський, А. В. Несвідомін, кандидати технічних наук

e-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. *Розроблено структурну схему автоматизованого вимірювального комплексу для визначення концентрації мінеральних елементів у живильних розчинах. На основі проведених досліджень іоноселективних електродів розроблено алгоритм роботи вимірювального комплексу.*

Ключові слова: ***автоматизований вимірювальний комплекс, живильний розчин, концентрація мінеральних елементів, іоноселективні електроди, алгоритм роботи***

Інтенсивні технології вирощування овочевих культур у спорудах захищеного грунту засновані на систематичному контролі складу живильних розчинів та рослинної продукції з метою створення збалансованого режиму мінерального живлення рослин за рахунок правильного внесення добрив.

Великий об'єм розрахунків та стислі строки при розробці рекомендацій з ефективного використання добрив обумовлюють застосування для цих цілей економіко-математичних методів та ЕОМ. Це дає можливість прискорити процес видачі рекомендацій та підвищити їх ефективність, скоротити затрати праці, враховувати кількість добрив, застосованих в господарстві, а також збирати та підсумовувати агрохімічну інформацію за ряд років та давати їй економічну оцінку.

Обов’язковою умовою ефективності проведення таких робіт є експресність, достатня продуктивність та точність масових агрохімічних аналізів. Нині в агрохімічних дослідженнях переважно використовуються фотометричні, потенціометричні, кондуктометричні, титрометричні та спектрофотометричні

методи аналізу. Загальними недоліками оптичних методів аналізу є низька продуктивність, обумовлена необхідністю спеціальної підготовки проби, складність градуювання приладів та обробки результатів вимірювання. Автоматизовані системи, які базуються на цьому принципі, характеризуються великою вартістю, конструктивною та експлуатаційною складністю.

Разом з тим в останні роки все ширше застосовується потенціометричний метод аналізу, який в значній мірі усував недоліки, властиві оптичним методам [1-3].

Нині розроблено ряд методик аналізу грунтів та рослинної продукції, освоєний серійний випуск іоноселективних електродів, одноканальних іономірів та титраторів [4].

Значний резерв в розширенні функціональних можливостей, підвищенні точності та продуктивності потенціометричного методу відкриває автоматизація градуювання та вимірювання концентрації мінеральних елементів з використанням засобів обчислювальної техніки [5].

Метою досліджень є розробка автоматизованого вимірювального комплексу для визначення концентрації мінеральних елементів у живильних розчинах, що дає можливість знизити затрати праці на виконання агрохімічного аналізу і розширити функціональні можливості аналізаторів за рахунок комплексного аналізу з автоматизацією градуювання, вимірювання і обробки результатів вимірювання.

Матеріали та методика досліджень. Автоматизований вимірювальний комплекс призначений для визначення концентрації мінеральних елементів (амонійного і нітратного азоту, калію, кальцію, магнію, натрію, хлору, міді, бору) і величини pH у живильних розчинах та рослинах потенціометричним методом.

На основі вивчення методик визначення концентрації мінеральних елементів в рослинах і живильних розчинах, аналізу досвіду створення іономірів, проведених досліджень іоноселективних електродів з урахуванням існуючої елементної бази сформульовані технічні вимоги до створення автоматизованого вимірювального комплексу:

1. Автоматизований вимірювальний комплекс повинен забезпечити автоматичне градуювання електродних систем, які складаються із вимірювального і допоміжного електродів, за двома розчинами з відомою концентрацією мінеральних елементів. Правильність градуювання перевіряється шляхом вимірювання е.р.с. електродної пари в третьому розчині. Розбіжність між виміряним і розрахунковим значенням е.р.с. не повинна перевищувати 1 мВ.

2. Вимірювальний комплекс повинен забезпечити визначення концентрації мінерального елемента шляхом вимірювання електрорушійної сили електродної пари при її внесенні в контрольований розчин з наступним розрахунком концентрації мінерального елемента за градуювальною характеристикою електродної системи з урахуванням розбавлення проби і вологості матеріалу.

3. Вимірювальний комплекс повинен забезпечити автоматичну температурну компенсацію шляхом вимірювання температури розчину і введення температурної поправки в значення е.р.с. електродної системи.

4. Вимірювальний комплекс повинен забезпечити роботу з електродною системою, яка має опір кола вимірювального електрода від 0 до 1000 МОм і опір кола допоміжного електрода від 0 до 20 кОм.

5. Діапазон вимірювання:

а) в режимі вимірювання е.р.с. – від -1999 мВ до 1999 мВ;

б) в режимі вимірювання концентрації – від 0 до 9999 мг/кг;

в) в режимі вимірювання температури – від 0 до 50°С.

6. Абсолютна похибка автоматизованого вимірювального комплексу при вимірюванні е.р.с. не повинна перевищувати ±0,5 мВ, температури - ±0,25 °С. Відносна похибка вимірювання концентрації не повинна перевищувати 3 %. Границі допустимих значень додаткових похибок перетворення вхідного сигналу повинні відповідати вказаним у таблиці [6].

7. Кількість вимірювальних каналів - десять. Вхідний опір приладу повинен бути не нижчим 10^{11}Ом [6], час встановлення робочого режиму - не більше 10 хвилин.

8. Живлення приладу повинно здійснюватися від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц, допустиме відхилення напруги від номінального -15…+10%.

Границі допустимих значень додаткових похибок перетворення вхідного сигналу

Впливаючі фактори	Значення впливаючих величин у межах робочої області застосування	Границі допустимих значень додаткових похибок (у долях основної похибки)
Опір кола вимірювального електрода	від 0 до 1000 МОм	0,25 на 500 МОм
Опір кола допоміжного електрода	від 0 до 20 кОм	0,25 на 10 кОм
Напруга джерела живлення	220±22 В	0,25
Напруга змінного струму частотою 50 Гц у колі допоміжного електрода	від 0 до 50 мВ	0,25
Температура оточуючого повітря	від +5 до +50 °С	0,75 на 10 °С

9. Вимірювальний комплекс повинен мати модульну конструкцію; забезпечити можливість оперативного керування процесом аналізу таким чином, щоб за необхідності оператор міг коригувати рішення керуючого блока; збір і зберігання інформації повинні бути розділені з метою зручності її обробки; система повинна бути гнучкою по відношенню до різних варіантів вимірювання тих чи інших елементів в різних пробах.

10. Вимірювальний комплекс повинен відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Результати досліджень. Структурна схема автоматизованого вимірювального комплексу для аналізу мінерального складу живильних розчинів наведена на рисунку.

Вимірювальний комплекс містить іоноселективні вимірювальні електроди 1, хлорсрібний допоміжний електрод 2, термометр опору 3, які розміщуються на штативі і кабелем з'єднуються з вимірювальним перетворювачем. Вимірювальний перетворювач складається з комутатора 5, блока керування 6, високоомного перетворювача 7, перетворювача опір-напруга 4, АЦП 8, системного блока ПЕОМ 9, дисплею 10 та блока живлення.

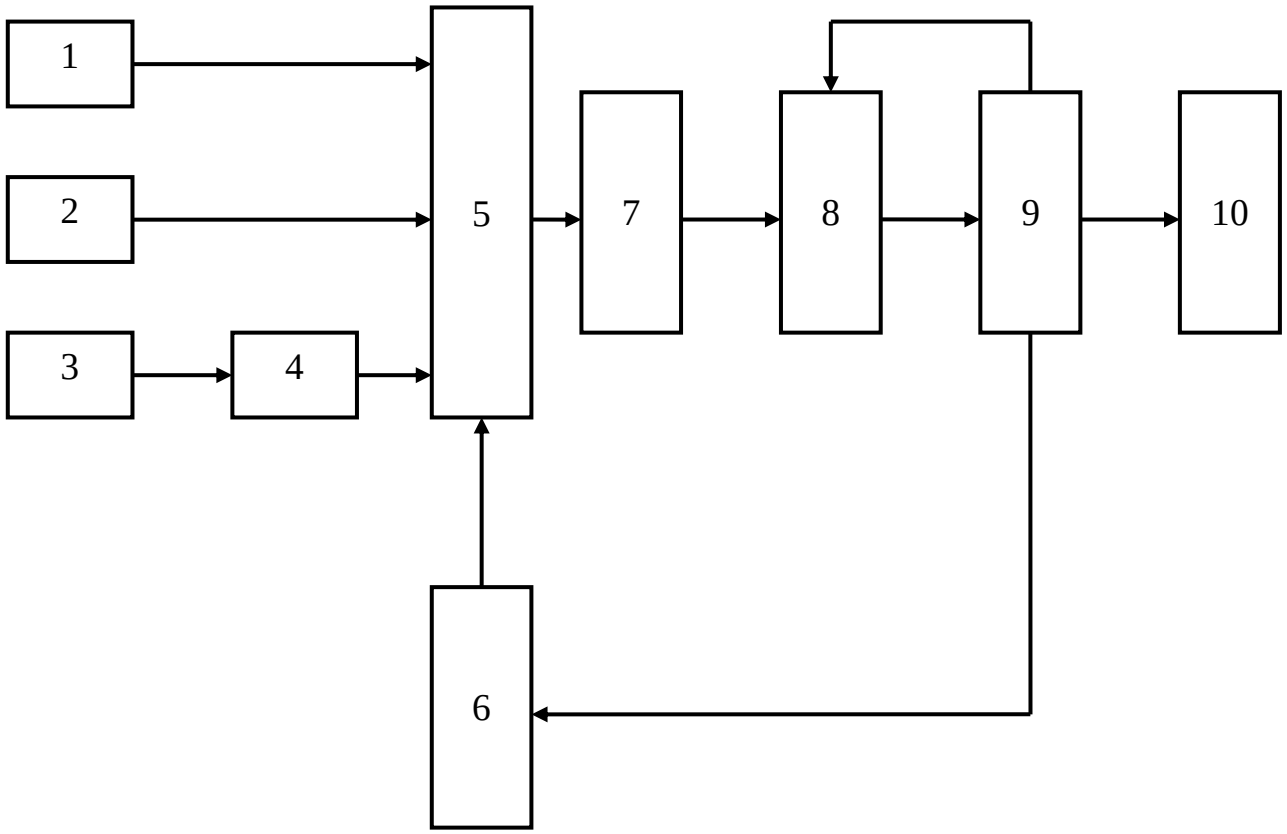

Рис. Структурна схема автоматизованого вимірювального комплексу:
1 – іоноселективні вимірювальні електроди; 2 – допоміжний хлорсрібний електрод; 3 – термометр опору; 4 – перетворювач опір-напруга; 5 – комутатор; 6 – блок керування; 7 – високоомний перетворювач; 8 – АЦП; 9 – системний блок ПЕОМ; 10 – дисплей

Перетворювач опір-напруга разом з термометром опору служить для перетворення температури розчину в уніфікований сигнал напруги постійного струму. Високоомний перетворювач призначений для перетворення е.р.с. електродної пари в уніфікований сигнал напруги постійного струму.

Комутатор призначений для послідовного підключення вимірювальних перетворювачів до аналого-цифрового перетворювача. АЦП перетворює аналоговий сигнал в цифровий код, який поступає в системний блок ПЕОМ.

Системний блок ПЕОМ проводить обробку результатів вимірювань, розраховує калібрувальну характеристику електродної системи в режимі калібрування та проводить розрахунки значення концентрації за величиною виміряної е.р.с.

Вимірювальний комплекс працює так. Температура розчину вимірюється термометром опору 3, сигнал з якого поступає на перетворювач опір-напруга. Напруга, пропорційна температурі розчину, поступає на вхід комутатора.

Е.р.с. електродної системи, внесеної в контрольовану пробу, також поступає на входи №1…9 комутатора 5, який по черзі підключає іоноселективні вимірювальні електроди і перетворювач опір-напруга до входу високоомного перетворювача 7, де здійснюється підсилення і нормування сигналу. З виходу високоомного перетворювача нормований аналоговий сигнал надходить в АЦП 8, в якому перетворюється в цифровий код і далі надходить на інформаційні шини системного блока ПЕОМ 9, де проходить його обробка за заданим алгоритмом. Системний блок здійснює також керування комутатором через узгоджувальний пристрій 6. Результати аналізу виводяться на дисплей 10.

Застосування персонального комп’ютера (ПЕОМ) дозволяє реалізувати систему на серійних пристроях з доробкою окремих блоків.

Алгоритм роботи автоматизованого вимірювального комплексу розроблений на основі проведених досліджень іоноселективних електродів з урахуванням існуючих методик визначення концентрації мінеральних елементів у водних витяжках з рослинної продукції і живильних розчинах гідропонних теплиць.

Алгоритмічне та програмне забезпечення діалогового режиму ЕОМ з користувачем за прямих потенціометричних вимірювань передбачає роботу в таких режимах:

1. Початкова установка конфігурації системи.
2. Градуювання електродів.
3. Вимірювання концентрації мінеральних елементів.

Алгоритм при установці конфігурації системи такий:

1. Підключити іоноселективні електроди, допоміжний електрод та термометр опору до входів десятиканального комутатора. При цьому градуювання електродних систем для кожного каналу можна виконувати для будь-яких іоноселективних електродів.

2. Установити на екрані дисплею позначення мінеральних елементів для кожного із вимірювальних каналів залежно від типу підключеного електрода до відповідного каналу.

3. На екрані дисплею встановити концентрації мінеральних елементів в градуювальних розчинах.

4. Установити на дисплеї вид проби, що аналізується (рослини, живильні розчини). Ввести значення вологості і розбавлення проби.

5. За необхідності занести дані про конфігурацію системи на жорсткий диск ЕОМ.

Алгоритм функціонування вимірювального комплексу при градуюванні електродних систем такий:

1. На екрані дисплею встановити номери тих каналів, де проводиться градуювання електродних систем.
2. Залити у вимірювальну комірку градуювальний розчин №1.
3. Виміряти значення е.р.с. та температури розчину.
4. Залити у вимірювальну комірку градуювальний розчин №2.
5. Виміряти значення е.р.с. та температури розчину.
6. Повторити п.2-5 для кожного вимірювального каналу.

7. Визначити значення крутості та стандартного потенціалу для кожної електродної системи за результатами вимірювання е.р.с. у розчинах №1 і №2.

8. Розрахувати значення потенціалу електрода в розчині №3 та порівняти його з виміряним значенням. Якщо різниця між ними перевищує 1 мВ, необхідно градуювання цієї електродної системи повторити заново. Якщо різниця не перевищує 1 мВ, процес градуювання можна вважати закінченим.

9. За необхідності градуювальну характеристику електродних систем записати на жорсткий диск.

Алгоритм обробки сигналів первинних перетворювачів включає виконання таких операцій:

1. Встановити на дисплеї інформацію про пробу, що аналізується (рослинна продукція чи живильний розчин, а також номер проби) та ім'я оператора.

2. Установити на екрані дисплею номери тих каналів, де буде проводитися вимірювання проби та її вологість.

3. За готовності задіяних каналів до вимірювань подати сигнал "Залити контрольований розчин".

4. Залити у вимірювальну комірку контрольований розчин і внести в нього вимірювальні і допоміжні електроди та термометр опору.

5. Виміряти значення концентрації мінеральних елементів за допомогою ПЕОМ і результати вимірювань вивести на екран дисплею і друкарський пристрій.

Алгоритм обробки сигналів первинних перетворювачів в ЕОМ включає виконання таких дій:

1. Розрахувати значення коефіцієнта K_i за формулою:

$$k_i = \frac{V}{m} + \frac{\omega}{100}, \qquad (1)$$

де m – маса наважки, г; V – об'єм екстрагуючого розчину, см^3; ω - вологість матеріалу, %.

2. Підключити перетворювач температури до АЦП і виміряти температуру розчину.

3. Порівняти виміряну температуру з температурою градуювальних розчинів і визначити її відхилення:

$$\Delta T = T_B - T_K, \tag{2}$$

де T_B – температура розчину, що аналізується; T_K - температура градуювального розчину.

4. Переключити комутатор на 1-й працюючий канал.

5. Через проміжок часу t=1 хв виміряти значення е.р.с. і занести в пам'ять ПЕОМ.

6. У такій послідовності визначити значення е.р.с. для всіх працюючих каналів. Визначення значення е.р.с. необхідно проводити декілька раз.

7. Розрахувати значення концентрації мінерального елемента за значенням е.р.с. за такими формулами:

при визначенні концентрації нітратного азоту, кальцію, хлору, натрію, міді:

$$C_i = 10^{-\frac{E_i - E_{0i}}{S_{ki} + a_t \Delta T}} \cdot M_i \cdot K_i, \tag{3}$$

де M_i – молярна маса іона, мг; S_{ki} – крутість електродної функції в калібрувальному розчині; a_t – коефіцієнт температурної поправки; E_i – виміряне значення е.р.с.; E_{0i} – стандартний потенціал електродної системи.

при визначенні концентрації амонійного азоту:

$$C_{NH_4^+} = \left[10^{-\frac{E_{NH_4^+} - E_{0\,NH_4^+}}{S_{K\,NH_4^+} + a_t \Delta T}} - 0{,}1 \cdot 10^{-\frac{E_{K^+} - E_{0K^+}}{S_{K\,K^+} + a_t \Delta T}} \right] \times M_{NH_4^+} \cdot K_i, \tag{4}$$

при визначенні концентрації магнію:

$$C_{Mg^{2+}} = \left[10^{-\frac{E_{(Ca+Mg)} - E_{0(Ca+Mg)}}{S_{K(Ca+Mg)} + a_t \Delta T}} - 10^{-\frac{E_{Ca^{2+}} - E_{0Ca^{2+}}}{S_{K\,Ca^{2+}} + a_t \Delta T}} \right] \times M_{Mg^{2+}} \cdot K_i, \tag{5}$$

при визначенні кислотності розчину:

$$pH = \frac{E_{pH} - E_{0\,pH}}{S_{k\,pH} + a_t \Delta T}. \tag{6}$$

8. Вивести результати аналізу на монітор.

Висновки

Розроблений автоматизований вимірювальний комплекс, що забезпечує градуюванню електродних систем і вимірювання концентрації мінеральних елементів прямим потенціометричним методом. При обробці сигналів первинних вимірювальних перетворювачів враховуються коефіцієнти електродної селективності, вологість та розбавлення проби, температура розчину, що дає змогу підвищити точність результатів вимірювань.

Похибка вимірювання е.р.с. не перевищує 0,5 мВ, температури 0, 25 ^{o}C , а концентрації 3 %, що відповідає технічним вимогам, які ставляться до вимірювального комплексу.

Список літератури

1. Камман К. Работа с ионоселективными електродами / К. Камман; пер.с нем. –М.: Мир, 1980. - 284 с.

2. Мидгли Д. Потенциометрический анализ воды / Мидгли Д., Торренс К.; пер. с англ. – М.: Мир, 1980.

3. Хаваш Е. Ионо- и молекулярно-селективные электроды в биологических системах. / Е. Хаваш; пер. с венгерского. – М.: Мир, 1988. – 221 с.

4. Справочное руководство по применению ионоселективных электродов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.

5. Корыта И. Ионоселективные электроды / Корыта И., Штулик К.; пер. с чешского. – М.: Мир, 1989. – 272 с.

6. Измерения в промышленности: Справ.изд. в 3-х кн. Кн.3. Способы измерения и аппаратура / Под. ред. Профоса П.; пер. с нем. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ

А. Ю. Синявский, А. В. Несвидомин

Аннотация. *Разработана структурная схема автоматизированного измерительного комплекса для определения концентрации минеральных элементов в питательных растворах. На основе проведенных исследований ионоселективных электродов разработан алгоритм работы измерительного комплекса.*

Ключевые слова: ***автоматизированный измерительный комплекс, питательный раствор, концентрация минеральных элементов, ионселективные электроды, алгоритм работы***

AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR DETERMINING THE CONCENTRATION OF MINERAL ELEMENTS IN THE NUTRIENT SOLUTION

A. Sinyavsky, A. Nesvidomin

Annotation. *A block diagram of the automated measuring complex for determining the concentration of mineral elements in the nutrient solution are designed. Based on studies of ion-selective electrodes the algorithm of measuring complex are designed.*

Keywords: ***automated measuring complex, the nutrient solution, the concentration of mineral elements, ion-selective electrodes, the algorithm***