

УДК 621.317

О. М. ВАСІЛЕВСЬКИЙ

## МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОСТІ ІОНІВ КАЛІЮ, ФОСФАТУ, ФТОРИДУ, АМОНІЙНОГО І НІТРАТНОГО АЗОТУ

*Вінницький національний технічний університет  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, Україна  
E-mail: O.vasilevskyi@gmail.com*

**Анотація.** Запропоновано методику калібрування засобу вимірювання активності іонів на базі еталонних розчинів, що дає змогу отримувати градувальні характеристики активності іонів калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту при використанні різних іон-селективних давачів. Отримані електродні функції дозволяють виконувати вимірювання активностей іонів з підвищеною точністю.

**Аннотация.** Предложена методика калибровки средства измерения активности ионов на базе эталонных растворов, которая позволяет получать градуировочные характеристики активности ионов калия, фосфата, аммонийного и нитратного азота при использовании различных ион-селективных датчиков. Полученные электродные функции позволяют выполнять измерения активностей ионов с повышенной точностью.

**Abstract.** The technique of calibration of measuring instruments ion activity on the basis of standard solutions, which allows to obtain the calibration characteristics of the activity of potassium, phosphate, ammonium and nitrate nitrogen by using different ion-selective sensors. The resulting electrode function allows you to measure the activity of the ions with high accuracy.

**Ключові слова:** активність іонів, електродна функція, нітратний азот, амонійний азот, колій, фосфати, калібрувальна характеристика.

### ВСТУП

Ґрунт, як будь-яке природне тіло біосфери, обов'язково вміщує в собі продукти життєдіяльності мікроорганізмів, які посилюють його родючість. Одним з таких найважливіших продуктів є гумус — специфічний органічний субстрат, який характеризує ґрунт в плані його потенційної родючості. Тому на сьогоднішній день актуальною є задача побудови калібрувальних характеристик засобу вимірювання (ЗВ) активності іонів основних складових елементів гумусу з підвищеною точністю. Від складових елементів гумусу залежать і хімічна активність ґрунту, оскільки гумус утримує своїми хімічними зв'язками цілу низку дуже корисних для рослин живлячих речовин (амонійний азот, калій, нітратний азот, фториду та фосфату), і фізичні властивості ґрунту, такі як водопроникність, щільність, вологемність, які напряду впливають на якість врожаю.

Існуючі ЗВ активності іонів складових елементів гумусу в ґрунті дозволяють визначити концентрацію із похибкою 5 — 10 % за досить тривалий проміжок часу. При цьому в більшості випадків такими ЗВ є або дуже просте лабораторне обладнання, що не забезпечує потрібної точності аналізу, або дуже складне обладнання (спектрофотометричне, рентгеноструктурне, хроматографічне), яке є дуже дорогим. Тому розробка ЗВ активності іонів та методики його калібрування з різними іон-селективними електродами, що дадуть змогу виконувати вимірювання активності іонів калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту з підвищеною точністю є *метою* даної статті.

### АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З літературних джерел [1—3] відомо, що найменшу методичну та інструментальну похибки має ЗВ активності іонів, побудований на основі перетворювача напруги в частоту (ПНЧ). Структурна схема такого ЗВ активності іонів представлена на рис. 1. До складу ЗВ активності іонів входять: іон-селективні перетворювачі ( $pX/U$ ) та електрод порівняння ( $pX_C/U_C$ ); операційні підсилювачі (A1 — A4) для забезпечення вимірювання як позитивно, так і негативно заряджених іонів (активність іонів  $pX_i = -\lg a_i$ ); мультиплексори (MX1 та MX2); ПНЧ ( $U_C/F_C$  і  $U/F$ ) для перетворення потенціалів електроду порівняння  $U_C/F_C$  та іон-селективних електродів  $U/F$  в частоту; мікроконтролер (MC); ридинокристалічний дисплей

(LCD); перетворювач рівнів напруги (RS232); вимірювальний канал (ВК) температури, який складається з терморезистивного перетворювача, масштабного перетворювача (МП) та ПНЧ (рис. 1) [1].

Процедура калібрування полягає у вимірюванні потенціалу іон-селективного електроду у стандартних розчинах з відомим вмістом іону, активність якого контролюється. Далі на основі отриманих результатів вимірювань будується градувальна характеристика. Концентрацію іонів у іонометрії прийнято виражати через величину  $pX$ , яка пов'язана з активністю іонів таким співвідношенням:

$$pX = -\lg a, \quad (1)$$

де  $a$  — активність вільних іонів, яка пов'язана з концентрацією виразом:

$$a = kC, \quad (2)$$

де  $C$  — молярна концентрація;  $k$  — коефіцієнт активності.

Постійність коефіцієнта активності  $k$  досягається при підтриманні однакової іонної сили в калібрувальних розчинах та розчинах, що аналізуються шляхом додавання фоновго електроліту. Кутовий коефіцієнт залишається постійним при умові, що температура не змінюється. Якщо дані умови не виконуються, то це призводить до збільшення похибки вимірювання [2].

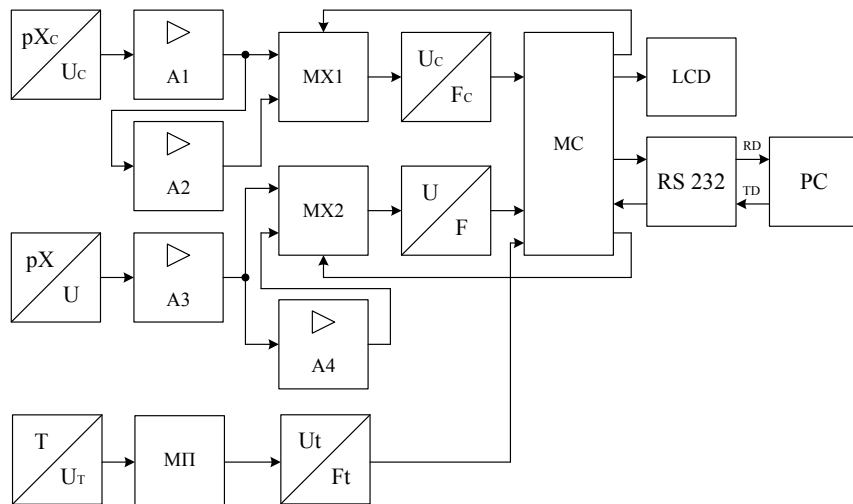


Рис. 1. Структурна схема ЗВ активності іонів на основі ПНЧ

### ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для вимірювання активності іонів фториду використовується фторид-селективний електрод. При цьому будується калібрувальна характеристика залежності різниці потенціалів  $\Delta U$  від активності чи концентрації еталонних (градувальних) розчинів з відомою концентрацією. Знаходження концентрації середовища, що аналізується, здійснюється за виміряними значенням різниці потенціалів.

При калібруванні ВК активності іонів із фторид-селективним електродом ЭФ-У1 в парі з хлорсрібним допоміжним електродом ЭВЛ-1М3.1 отримано наступні експериментальні дані. Значення різниці потенціалів між вимірювальним і допоміжним електродами складало  $\Delta U_1 = 142$  мВ при концентрації  $C_{ст} = 2,8 \cdot 10^{-3}$  М ( $pF = 2,55$ ) і температурі середовища, що аналізується  $19^\circ\text{C}$ . Оскільки фторид має заряд іону, що дорівнює мінус один, і температура відхиляється від  $25^\circ\text{C}$ , то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції фторидселективного електроду буде відрізнятись від загальноприйнятого стандартного значення і буде дорівнювати:

$$S = \frac{\alpha(273,16 + t)}{n} = \frac{198,4 \cdot 10^{-3} (273,16 + 19)}{-1} \approx -57,96 \text{ мВ/pF}. \quad (3)$$

Результати калібрування ВК активності іонів із фторид-селективним вимірювальним перетворювачем, що були отримані при використанні еталонних розчинів з концентраціями 2,55 pF, 2,86 pF ( $\Delta U_2 = 124$  мВ), 3,16 pF ( $\Delta U_3 = 106,6$  мВ) та 3,48 pF ( $\Delta U_4 = 88,1$  мВ), наведено на рис. 2.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів фториду складає  $\Delta_{\max} = -0,02$ . Тому зведену похибку вимірювання активності іонів фториду розрахуємо за формулою:

$$\gamma_F = \frac{|\Delta_{\max}|}{|pX_{\max} - pX_{\min}|} 100 \%, \quad (4)$$

де  $pX_{\max}$  — верхня межа вимірювання ВК активності іонів, яка дорівнює 0,3;  $pX_{\min}$  — нижня межа вимірювання ВК активності іонів, яка дорівнює 6.

Підставляючи значення абсолютної похибки вимірювання у рівняння (4) отримаємо зведену похибку ВК активності іонів фториду, яка складає 0,35 %.

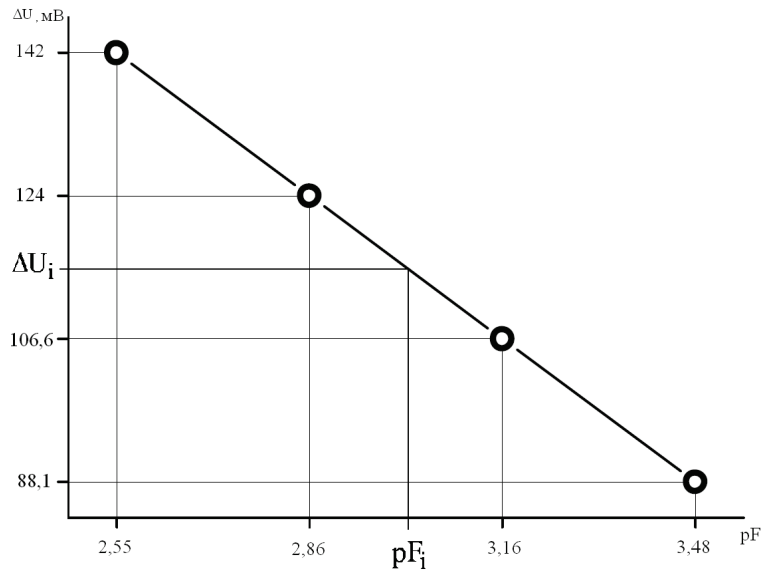


Рис. 2. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів із фторид-селективним вимірювальним перетворювачем

Для калібрування ВК активності іонів калію готується головний еталонний розчин з вмістом 1 мг/мл  $K_2O$ . При цьому зважується на аналітичних вагах 1,583 г  $KCl$ , який поміщують мірну колбу з 1 л дистильованої води і доводять до мітки [4]. З цього еталонного розчину готують серію робочих розчинів. Для цього відміряють бюреткою головний еталонний розчин в мірні колби по 250 мл такі об'єми: 1,0; 1,85; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25,0 мл. Потім доводять до мітки уксусно-кислим амонієм і перемішують. Ці значення відповідають таким концентраціям  $C_{ст1} = 0,21 \cdot 10^{-3}$  (3,68 рК);  $C_{ст2} = 0,39 \cdot 10^{-3}$  М (3,42 рК);  $C_{ст3} = 0,53 \cdot 10^{-3}$  М (3,28 рК);  $C_{ст4} = 1,05 \cdot 10^{-3}$  М (2,98 рК);  $C_{ст5} = 2,11 \cdot 10^{-3}$  М (2,68 рК);  $C_{ст6} = 3,16 \cdot 10^{-3}$  М (2,5 рК);  $C_{ст7} = 4,21 \cdot 10^{-3}$  М (2,38 рК);  $C_{ст8} = 5,26 \cdot 10^{-3}$  М (2,28 рК)  $K_2O$  на 1 л.

За серією робочих розчинів будемо градуувальну характеристику ВК активності іонів калію. В результаті калібрування ВК активності іонів калію отримано такі результати: для стандартної активності іонів калію 3,68 різниця потенціалів складає  $\Delta U_1 = 4,75$  мВ і температура досліджуваного середовища на момент проведення експерименту дорівнює 22 °С; при рК = 3,42 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_2 = 10,0$  мВ; при рК = 3,28 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_3 = 15,34$  мВ; при рК = 2,98 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_4 = 24,72$  мВ; при рК = 2,68 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_5 = 45,31$  мВ; при рК = 2,5 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_6 = 65,30$  мВ; при рК = 2,38 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_7 = 85,66$  мВ; при рК = 2,28 — різниця потенціалів складає  $\Delta U_8 = 104,72$  мВ. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів калію представлена на рис.3.

Оскільки калій має позитивний заряд іону, який дорівнює одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складає 22 °С, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції калій-селективного електрода буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3), буде дорівнювати 58,16 мВ/рК.

Відповідно до літературних джерел [5—7], забезпеченість ґрунтів обмінним калієм (в мг  $K_2O$  на 100 г ґрунту) має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Допуски активності іонів калію для найпоширеніших культур

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, Картопля	Овочеві культури
Дуже низька, рК	< 2,98	< 2,68	< 2,5
Низька, рК	< 2,68	< 2,5	< 2,38
Середня, рК	2,68—2,5	2,5—2,38	2,38—2,28
Висока, рК	> 2,5	> 2,38	> 2,28

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів калію складає  $\Delta_{\max} = +0,02$  рК, а зведена похибка вимірювання активності іонів калію, що розрахована за формулою (4) складає 0,35% в діапазоні від 6 до 0,3.

Процедура калібрування ВК активності іонів нітратного азоту починається з приготування еталонних розчинів нітратного азоту. Для цього зважують 20 г повітряно-сухого ґрунту і поміщають в колбу на 250 мл, куди доливають 100 мл 0,05 % розчину  $K_2SO_4$ . Цей вміст колби збовтують 3 хв. і відразу фільтрують за допомогою складчастого фільтру.

В залежності від очікуваного вмісту нітратів 10—50 мл створеного і описаного вище розчину наливають у фарфорову чашку на 100 мл і випаровують насухо на водяній бані. Одночасно в таких же фарфорових чашках випаровують 1, 2, 5, 10, 15, 20 і 40 мл еталонного робочого розчину, а також визначену кількість (10—50 мл) 0,05 % розчину  $K_2SO_4$  для холостого досліду.

Після випаровування чашкам дають повністю простигнути. Потім в кожну чашку додають по 1мл дисульфобенної кислоти. Сухий залишок на дні і стінках чашки ретельно розтирають з цією кислотою скляним пестиком. Чашки залишають в покої біля 10 хв, а потім в них наливають 15 мл дистильованої води. Суміш ретельно перемішують і доводять до лужної реакції 20 %-ним NaOH. Лужний розчин перестають додавати, якщо розчин набуває стійкого жовтого забарвлення. Забарвлений розчин через лійку (із складчастим фільтром) переносять в мірну колбу на 50 мл. Об'єм рідини доводять дистильованою водою до відмітки і добре розмішують. Таким чином, значення еталонних робочих розчинів будуть відповідати таким концентраціям  $C_{ет1} = 0,01 \cdot 10^{-3}$  (5,0 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет2} = 0,02 \cdot 10^{-3}$  М (4,69 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет5} = 0,05 \cdot 10^{-3}$  М (4,3 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет10} = 0,1 \cdot 10^{-3}$  М (4,0 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет15} = 0,15 \cdot 10^{-3}$  М (3,82 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет20} = 0,2 \cdot 10^{-3}$  М (3,69 рNO<sub>3</sub>);  $C_{ет40} = 0,4 \cdot 10^{-3}$  М (3,39 рNO<sub>3</sub>).

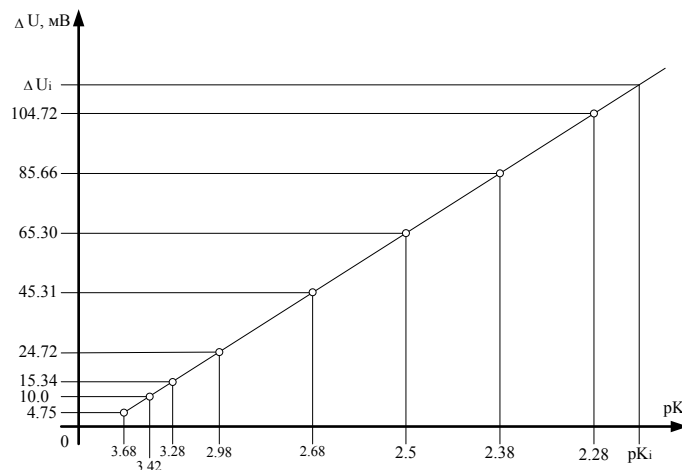


Рис. 3. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів калію

На основі створених еталонних розчинів проводять вимірювання активності іонів (концентрації) за допомогою розробленого ВК. Виміряні експериментальним шляхом потенціали еталонних розчинів нітратного азоту наведені в табл. 2.

Оскільки нітратний азот має негативно заряджений іон, валентність якого дорівнює мінус одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складала 20 °С, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і у відповідності з рівнянням (3), буде дорівнювати  $-58,16$  мВ/рNO<sub>3</sub>.

На основі створених еталонних розчинів та відповідних їм виміряних потенціалів побудовано калібрувальну характеристику ВК активності іонів нітратного азоту, яка зображена на рис. 4.

Таблиця 2.

**Шкала еталонних розчинів та відповідні їм потенціали**

№ колб	1	2	3	4	5	6	7
Еталонний розчин, мл	1	2	5	10	15	20	40
Еталонна активність іонів, рNO <sub>3</sub>	5	4,69	4,3	4	3,82	3,69	3,39
Виміряне значення різниці потенціалів, мВ	300,72	268,86	235,82	202,78	171,51	138,70	106,49

Калібрувальна характеристика (рис. 4), що побудована для ВК активності іонів нітратного азоту прошивається у мікроконтролер, який на основі значення вимірюваної температури і визначеної крутизни та побудованої лінійної залежності автоматично визначає вміст у тому чи іншому середовищі активність іонів нітратного азоту в діапазоні від 0,3 до 6 рNO<sub>3</sub>.

Відповідно до стандарту [8], забезпеченість ґрунтів нітратним азотом має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 3.

Таблиця 3.

**Допуски концентрації іонів нітратного азоту**

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька, мг/кг	< 15	< 20	< 40
Низька, мг/кг	< 20	< 40	< 60
Середня, мг/кг	20—40	40—60	60—100
Висока, мг/кг	> 40	> 60	> 100

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів нітратного азоту складає  $\Delta_{\max} = 0,02$  [рNO<sub>3</sub>], а зведена похибка вимірювання активності іонів нітратного азоту складає 0,35 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [рNO<sub>3</sub>].

Процедура калібрування ВК активності іонів амонійного азоту починається з відбору 10 г ґрунту, який кладуть в колбу на 250 мл і заливають його 100 мл 2 % розчину КСІ. Колби трусять на протязі однієї години. Після чого вміст колби фільтрується. Потім відфільтрований розчин в розмірі 4—5 мл наливають в мірну колбу на 50 мл, до якого додавають дистильовану воду приблизно 40 мл, після якої додавають 2 мл сегнетової солі і добре перемішують.

Еталонні розчини готуються шляхом розливу вище описаного розчину (робочого еталонного розчину) в мірні колби на 50 мл по: 0,1; 0,2; 1; 2; 5; 10; 15; і 20 мл. Далі в приготовлені зразкові розчини додають 40 мл дистильованої води і 2 мл сегнетової солі, після чого такий вміст добре перемішують.

Потім готується запасний еталонний розчин. Для цього зважують на аналітичних вагах 0,382 г хімічної частки NH<sub>4</sub>Cl, який кладуть в мірну колбу на 1 л, розчиняють дистильованою водою до мітки. Такий запасний зразковий розчин має 0,1 мг NH<sub>4</sub> на 1 мл.

Робочий еталонний розчин отримують шляхом розбавлення запасного зразкового розчину в 10 раз. Тобто робочий еталонний розчин вміщує 0,01 мг NH<sub>4</sub> в 1мл. Цей розчин використовується для приготування шкали еталонних розчинів, яку можна подати у вигляді табл. 4. Виміряні експериментальним шляхом потенціали еталонних розчинів амонійного азоту за допомогою розробленого ВК активності іонів амонійного азоту також наведені в табл. 4.

Оскільки амонійний азот має позитивно заряджений іон, який дорівнює одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складала 20 °С, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції відрізняється від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3) складає 58,16мВ/рNH<sub>4</sub>.

На основі створених еталонних розчинів та відповідних їм виміряних потенціалів побудовано калібрувальну характеристику ВК, яка зображена на рис. 5.

Відповідно до стандарту [8], забезпеченість ґрунтів амонійним азотом має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 5.

Перерахунок масової концентрації мг на 50 мл, що наведена в табл. 4, в активність іонів здійснюється автоматично мікроконтролером за формулою [9]

$$C_m = M \cdot 10^{-pX}, \quad (5)$$

де  $C_m$  — концентрація, г/дм<sup>3</sup>;  $M$  — молярна маса іона, г/моль.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що значення максимальної абсолютної похибки вимірювання активності іонів амонійного азоту складає  $\Delta_{\max} = 0,03$  [рNH<sub>4</sub>], а зведена похибка вимірювання активності іонів амонійного азоту складає 0,53 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [рNH<sub>4</sub>].

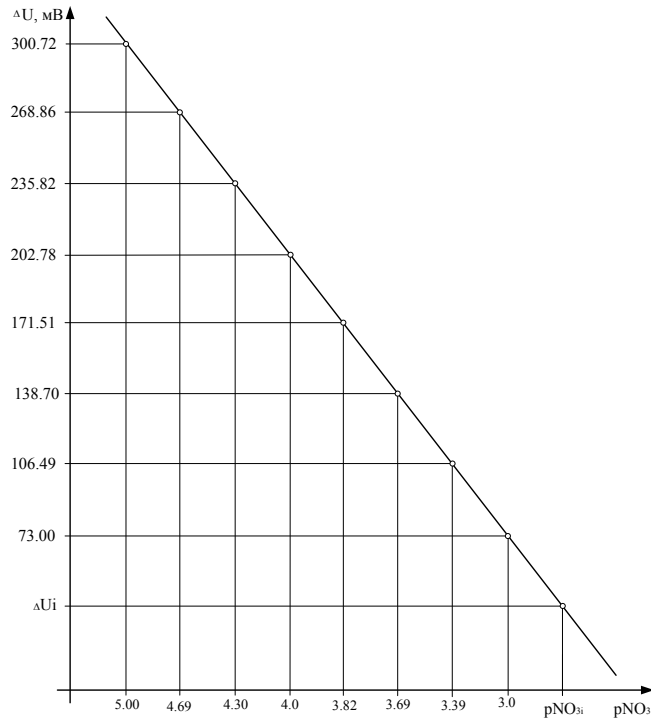


Рис. 4. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів нітратного азоту

Таблиця 4.

**Шкала еталонних розчинів та відповідні їм потенціали**

№ колб	1	2	3	4	5	6	7	8
Еталонний розчин, мл	0,1	0,2	1	2	5	10	15	20
Концентрація еталонного розчину, $C_{\text{ет}} \text{ NH}_4$ в 50 мл	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20
Еталонна активність іонів NH <sub>4</sub>	6	5,69	5	4,69	4,3	4	3,82	3,69
Виміряне значення різниці потенціалів, мВ	15,93	35,10	54,75	74,15	93,21	111,56	131,39	149,57

Процедура калібрування ВК активності іонів фосфату починається з відбору 4 г повітряно-сухого ґрунту, який кладуть в колбу на 250 мл і заливають його 100 мл 0,5 н розчину CH<sub>3</sub>COOH. Перемішують ротатором дві години і фільтрують через складчастий фільтр. Перші порції відфільтрованого розчину (5 мл) відкидають, для того щоб звільнитися від домішок. Потім відфільтрований розчин в розмірі 5—20 мл наливають в мірну колбу на 100 мл, до якого добавляють дистильовану воду приблизно до 90 мл, після якої добавляють 4 мл 2,5 % розчину молібденово-кислого амонія в сірчаній кислоті і добре перемішують. Далі добавляють в колбу 6 капель свіжоприготовленого розчину двохлористого олова SnCl<sub>2</sub>, потім добавляють дистильовану воду до відмітки і ще раз добре перемішують 4-х кратним перевертанням колби.

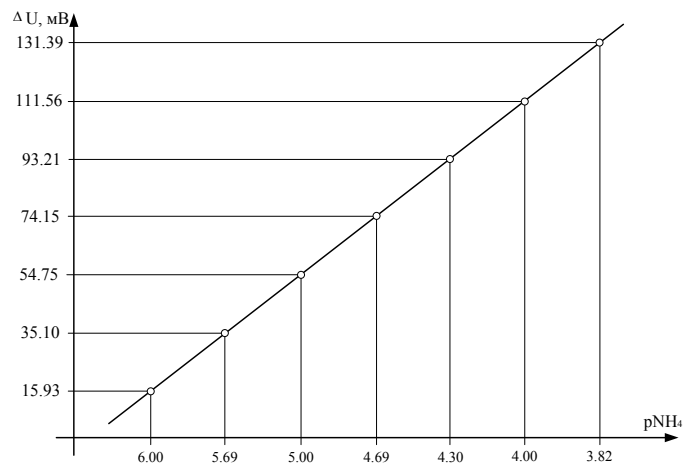


Рис. 5. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів амонійного азоту

Таблиця 5

**Допуски активності іонів амонійного азоту**

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька, $pNH_4$	< 4,69	< 4,3	< 4
Низька, $pNH_4$	< 4,3	< 4	< 3,82
Середня, $pNH_4$	4,3—4	4—3,82	3,82—3,69
Висока, $pNH_4$	> 4	> 3,82	> 3,69

Для приготування шкали еталонних розчинів спочатку готують головний еталонний розчин, для цього розчиняють 0,1917 г х. ч.  $KH_2PO_4$  в мірній літрової колбі і отримують розчин із вмістом 0,1 мг  $P_2O_5$  в 1 мл. З цього розчину готують робочий еталонний розчин, розбавивши дистильованою водою головний розчин в 50 раз. При цьому утворюється робочий розчин, який вміщує 0,002 мг  $P_2O_5$  в 1 мл.

Для приготування шкали еталонних розчинів беруть серію мірних колб на 100мл і бюреткою відмірюють в них 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 мл робочого еталонного розчину фосфору, в результаті чого отримують шкалу з концентраціями, відповідно: 0,004; 0,01; 0,02; 0,04; 0,05; 0,08; 0,1 мг в 100 мл. Всі наступні операції додавання реактивів такі ж самі, як і з досліджуваними розчинами, тобто додають дистильовану воду 90 мл, додають 4 мл, 2,5 % розчину молібденово-кислого амонія в сірчаній кислоті, перемішують, додають 6 крапель  $SnCl_2$ , доводять до відмітки і ще раз перемішують.

Виміряні експериментальним шляхом потенціали та відповідні їм концентрації робочих еталонних розчинів фосфору, за допомогою розробленого ВК активності іонів фосфату, наведені в табл. 6.

Таблиця 6.

**Шкала еталонних розчинів фосфату та відповідні їм потенціали**

№ колб	1	2	3	4	5	6	7
Еталонний розчин, мл	2	5	10	20	30	40	50
Концентрація еталонного розчину, $C_{ет}$ $P_2O_5$ , мг в 100 мл	0,004	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,1
Еталонна активність іонів фосфатів, $P_2O_5$	5,4	5,0	4,7	4,4	4,3	4,09	4,0
Виміряне значення різниці потенціалів, мВ	20,00	23,94	27,89	31,63	35,58	39,54	43,51

Визначення вмісту фосфору в мг/100 г ґрунту в досліджуваних розчинах здійснюється за калібрувальною характеристикою ВК активності іонів фосфатів, або перераховується за формулою (5).

Оскільки фосфор має позитивно заряджені іони, валентність якого дорівнює 5-ти, а виміряна температура при проведенні досліджень складала 20 °С, то кутовий коефіцієнт нахилу фосфат-селективної електродної функції буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3) буде дорівнювати + 11,63 мВ/ $pP_2O_5$ .

На основі створених робочих еталонних розчинів та відповідних їм вимірних потенціалів побудовано калібрувальну характеристику ВК активності іонів фосфату, що зображена на рис. 6.

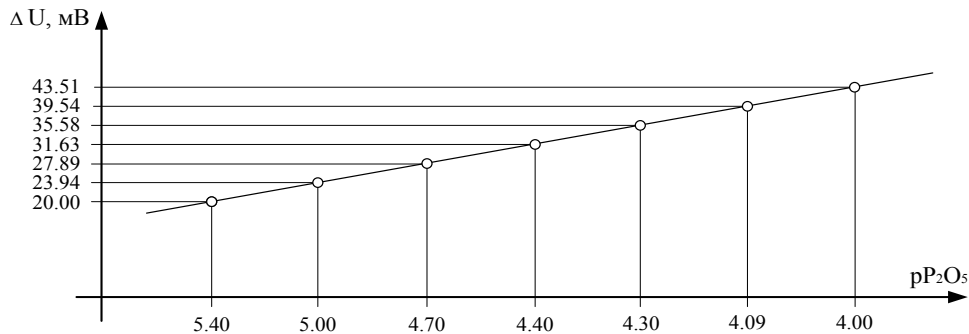


Рис. 6. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів фосфату

Відповідно до стандарту [10], забезпеченість ґрунтів фосфатами має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 7.

Таблиця 7.

**Допуски активності іонів фосфату в ґрунтах**

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька, рP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 5,4	< 5,0	< 4,7
Низька, рP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 5,0	< 4,7	< 4,4
Середня, рP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,0—4,7	4,7—4,4	4,3—4,09
Висока, рP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	> 4,4	> 4,3	> 4,0

На основі експериментальних досліджень астановлено, що значення максимальної абсолютної похибки вимірювання активності іонів фосфату складає  $\Delta_{\max} = -0,04$  [рP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>], а зведена похибка вимірювання активності іонів фосфату складає 0,7 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [рP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>].

### ВИСНОВКИ

Запропонована методика калібрування ЗВ активності іонів фториду, калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту, яка дозволяє отримувати електродні функції на основі еталонних розчинів активностей відповідних іонів, виконувати вимірювання різниці потенціалів цих розчинів та контролювати допустимі значення активностей іонів складових елементів гумусу в ґрунті. На основі запропонованої методики побудовано експериментальні калібрувальні характеристики ВК активностей іонів складових елементів гумусу в ґрунті, які дозволяють проводити вимірювання із максимальною зведеною похибкою, що не перевищує 0,7 % в діапазоні від 6 до 0,3 рХ.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дідич В. М. Потенціометричні засоби вимірювання активності іонів складових елементів гумусу в ґрунті / В. М. Дідич, О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — № 5. — 2008. — С. 5—10.
2. Васілевський О. М. Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю : [монографія] / О. М. Васілевський, В. М. Дідич. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 176 с.
3. Датчики измерительных систем / [Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.]; под ред. А. С. Обухова. — [Кн. 2]. — М. : Мир, 1992. — 424 с.
4. Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой: ГОСТ 26210-91. — [Действует от 1993-07-01]. — М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. — 4 с. — (Межгосударственный стандарт).
5. Христенко А. А. Оценка методов определения содержания подвижных соединений азота, фосфора и калия в почвах / А. А. Христенко, Л. Н. Бурлакова, Л. К. Корецкая // Почвоведение. — № 4. — 2008. — С. 96—104.
6. Канивец И. И. Относительная активность калия и калийная буферная способность почв / И. И. Канивец, Л. Я. Бергулева // Агрохимия. — 1975. — № 4. — С. 50—56.
7. Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і калію в модифікації ННЦ ІГА



- ім. О. Н. Соколовського : ДСТУ 4290-2004. — [Чинний з 2005-10-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2005. — 14 с. — (Національний стандарт України).
8. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4727-2007. — [Чинний з 2008-03-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2007. — 17 с. — (Національний стандарт України).
  9. Дідич В. М. Калібрування фторидселективного електрода методом градуювального графіка : наукові праці конф., 14—16 жовтня 2008 р., Харків. Т. 1 / В. М. Дідич, В. О. Поджаренко, О. М. Васілевський. — Харків : Нац. науковий центр «Інститут метрології», 2008. — С. 92—94, VI, [1] с. — (Метрологія — 2008).
  10. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова: ДСТУ 4115-2002 — [Чинний з 2002-06-01]. — К. : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. — 6 с. — (Національний стандарт України).

#### SPISOK LITERATURI

1. Didich V. M. Potentsiometrični zasobi vimiryuvannya aktivnosti ioniv skladovih elementiv gumusu v grunti / V. M. Didich, O. M. Vasilevskiy, V. O. Podzharenko // Visnik Vinnitskogo politehnichnogo institutu. — № 5. — 2008. — S. 5—10.
2. Vasilevskiy O. M. Elementi teorii pobudovi potentsiometričnih zasobov vimiryuvalnogo kontrolyu aktivnosti ioniv z pidvischenoyu virogidnistyu : [monografiya] / O. M. Vasilevskiy, V. M. Didich. — Vinnitsya : VNTU, 2013. — 176 s.
3. Datchiki izmeritelnyh sistem / [Zh. Ash, P. Andre, Zh. Bofron i dr.]; pod red. A. S. Obuhova. — [Kn. 2]. — M. : Mir, 1992. — 424 s.
4. Pochvyi. Opredelenie obmennogo kaliya po metodu Maslovoy: GOST 26210-91. — [Deystvuet ot 1993-07-01]. — M. : Komitet standartizatsii i metrologii SSSR, 1991. — 4 s. — (Mezhgosudarstvennyiy standart).
5. Hristenko A. A. Otsenka metodov opredeleniya sodержaniya podvizhnyih soedineniy azota, fosfora i kaliya v pochvah / A. A. Hristenko, L. N. Burlakova, L. K. Koretskaya // Pochvovedenie. — № 4. — 2008. — S. 96—104.
6. Kanivets I. I. Otnositelnaya aktivnost kaliya i kaliynaya bufernaya sposobnost pochv / I. I. Kanivets, L. Ya. Berguleva // Agrohimiya. — 1975. — № 4. — S. 50—56.
7. Yakist Gruntu. Metodi viznachennya valovogo fosforu i kaliyu v modifikatsiyi NNTs IGA ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4290-2004. — [Чинний з 2005-10-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2005. — 14 с. — (Національний стандарт України).
8. Yakist Gruntu. Viznachennya nitratnogo i amoniynogo azotu v modifikatsiyi NNTs IGA ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4727-2007. — [Чинний з 2008-03-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2007. — 17 с. — (Національний стандарт України).
9. Didich V. M. Kalibruvannya ftoridselektivnogo elektroda metodom graduyuvalnogo grafika : naukovі pratsi konf., 14 — 16 zhovtnya 2008 r., Harkiv. T. 1 / V. M. Didich, V. O. Podzharenko, O. M. Vasilevskiy. — Harkiv : Nats. naukoviy tsentr «Institut metrologiyi», 2008. — S. 92—94, VI, [1] s. — (Metrologiya — 2008).
10. Grunti. Viznachennya ruhomih spoluk fosforu i kaliyu za modifikovanim metodom Chirikova: ДСТУ 4115-2002 — [Чинний з 2002-06-01]. — К. : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. — 6 с. — (Національний стандарт України).

Надійшла до редакції 27.12.2015 р.

**ВАСІЛЕВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ** — д.т.н., доцент, професор кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.